



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA”

Tesis para optar al título de Constructor Civil

Profesor Patrocinante : Sr. Carlos Vergara Muñoz.

Alumno : Sr. Jorge Quezada Quezada.

JORGE EDGARDO QUEZADA QUEZADA
VALDIVIA - CHILE
2005

RESUMEN

Esta tesis es un manual que describe los trabajos de construcción de líneas de alta tensión y la secuencia de ellos. Incluye también la normativa chilena relacionada a estos trabajos, las políticas aplicadas por las empresas involucradas especialmente en aseguramiento de calidad, prevención de riesgos y medio ambiente, y un ejemplo resumido de una aplicación específica.

SUMMARY

This thesis is a handbook that describes the principal works of a high voltage transmission lines and their installation steps. It also includes the Chilean rules about that, the policies applied by the related enterprises, specially on quality security, industrial safety and environmental issues, and an a summary of an application on a specific installation.

ÍNDICE

| | Contenido | Pág. |
|--------------------|---|----------|
| CAPÍTULO I | | 1 |
| 1.0 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. | 1 |
| 1.1 | Introducción. | 1 |
| 1.2 | Objetivo. | 3 |
| 1.3 | Metodología. | 4 |
| 1.4 | Estructura de la tesis. | 5 |
| CAPÍTULO II | | 6 |
| 2.0 | ORIGEN DE UN PROYECTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN. | 6 |
| 2.1 | Evolución de la electricidad en el mundo. | 6 |
| 2.2 | Antecedentes de los inicios de generación de electricidad en el mundo. | 8 |
| 2.3 | Antecedentes de los inicios de transmisión de electricidad en el mundo. | 8 |
| 2.4 | Inicios de la electricidad en Chile. | 9 |
| 2.5 | Los sistemas de transmisión en Chile. | 10 |
| 2.6 | Etapas de transformación de la electricidad. | 12 |
| 2.6.1 | Generación de energía eléctrica. | 12 |
| 2.6.2 | Transformación primaria de energía eléctrica. | 15 |
| 2.6.3 | Transmisión de energía eléctrica. | 16 |
| 2.6.4 | Distribución de energía eléctrica. | 17 |
| 2.7 | Definiciones de elementos componentes de un sistema de transmisión. | 18 |
| 2.7.1 | Generalidades. | 18 |
| 2.7.2 | Estructuras de acuerdo a cantidad de circuitos. | 19 |
| 2.7.3 | Estructuras de acuerdo a su uso. | 20 |
| 2.7.4 | Cuerpos componentes de una estructura de soporte de líneas. | 23 |
| 2.7.5 | Ferretería de líneas. | 25 |
| 2.7.6 | Conductores y cable de guardia. | 27 |
| 2.7.7 | Otros términos utilizados en el desarrollo del tema. | 28 |
| 2.8 | Como se origina un proyecto de líneas de transmisión eléctrica. | 30 |

| | |
|---|---------------|
| CAPÍTULO III | 33 |
| 3.0 NORMATIVA RELEVANTE EN LA CONSTRUCCIÓN. | 33 |
| 3.1 Aspectos generales. | 33 |
| 3.2 Revisión de la normativa vigente. | 35 |
| 3.2.1 Norma de instalaciones de corrientes fuertes NSEC 5 E.N. | 35 |
| 3.2.1.1 Generalidades. | 35 |
| 3.2.1.2 Clasificación de las instalaciones eléctricas. | 37 |
| 3.2.1.3 Clasificación de las condiciones de operación. | 37 |
| 3.2.1.4 Clasificación de las líneas aéreas. | 38 |
| 3.2.1.5 Protección de las instalaciones. | 38 |
| 3.2.1.6 Personal de operación de instalaciones de corrientes fuertes. | 39 |
| 3.2.1.7 Autorizaciones de Trabajo. | 41 |
| 3.2.1.8 Exigencias de Seguridad para trabajos en Instalaciones en Servicio. | 41 |
| 3.2.1.9 Condiciones de Diseño de una Línea Aérea. | 42 |
| 3.2.1.10 Otras consideraciones. | 45 |
| 3.2.2 Norma de cruces y paralelismos de líneas eléctricas NSEC 6 E.n. 71. | 46 |
| 3.2.2.1 Generalidades. | 46 |
| 3.2.2.2 Paralelismo entre líneas de corrientes fuertes y corrientes débiles. | 47 |
| 3.2.2.3 Cruce de líneas de corrientes fuertes y corrientes débiles. | 47 |
| 3.2.2.4 Paralelismo entre líneas de corrientes fuertes. | 48 |
| 3.2.2.5 Cruce de líneas aéreas de corrientes fuertes. | 49 |
| CAPITULO IV | 51 |
| 4.0 Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica. | 51 |
| 4.1 Convenios y relaciones con propietarios y terceros afectados durante trabajos de construcción de líneas de transmisión. | 51 |
| 4.2 Roce y despeje de franja de servidumbre. | 53 |
| 4.3 Medidas de protección contra incendios forestales. | 54 |
| 4.4 Construcción de cercos en franjas de servidumbre. | 56 |
| 4.5 Caminos de accesos a líneas de transmisión. | 57 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.6 | Replanteo topográfico. | 57 |
| 4.6.1 | Aspectos generales. | 57 |
| 4.6.2 | Trabajos propios de replanteo en líneas de transmisión. | 60 |
| 4.7 | Tolerancias en la ubicación de las estructuras. | 62 |
| 4.8 | Excavaciones para fundaciones. | 64 |
| 4.8.1 | Tipos de suelos según clasificación ENDESA. | 64 |
| 4.8.2 | Tipos de fundaciones. | 66 |
| 4.8.3 | Preparación de la superficie de fundación. | 66 |
| 4.8.4 | Consideraciones previas a las excavaciones. | 67 |
| 4.8.5 | Trabajos propios de excavación. | 68 |
| 4.8.6 | Condiciones específicas en excavaciones. | 69 |
| 4.9 | Emplantillado. | 70 |
| 4.10 | Enfierradura. | 71 |
| 4.11 | Instalación de stub. | 73 |
| 4.12 | Hormigonado de fundaciones. | 75 |
| 4.12.1 | Generalidades. | 75 |
| 4.12.2 | Elaboración de hormigón in situ. | 76 |
| 4.12.3 | Elaboración de hormigón en plantas. | 78 |
| 4.12.4 | Elaboración de moldajes. | 79 |
| 4.12.5 | Vaciado del hormigón. | 80 |
| 4.12.6 | Compactado de la masa. | 80 |
| 4.12.7 | Descimbre de los elementos. | 82 |
| 4.12.8 | Protección del hormigón. | 83 |
| 4.12.9 | Certificación del hormigón. | 84 |
| 4.13 | Montaje de estructuras. | 85 |
| 4.13.1 | Generalidades. | 85 |
| 4.13.2 | Clasificación, Revisión de materiales y equipos. | 85 |
| 4.13.3 | Tipos de izado. | 87 |
| 4.13.4 | Finalización de la torre. | 90 |
| 4.13.5 | Tolerancias de montaje de estructuras para líneas de transmisión. | 90 |
| 4.14 | Vestido de estructuras. | 91 |
| 4.15 | Tendido de conductores. | 93 |
| 4.15.1 | Estudio previo del tramo a tender. | 93 |
| 4.15.2 | Operación de tendido de conductores y cable de guardia. | 94 |
| 4.15.3 | Condiciones especiales. | 96 |

| | | |
|--------------------|---|------------|
| 4.16 | Templado y engrampado de conductores y cables de guardia. | 97 |
| 4.16.1 | Templado de conductores y cable de guardia. | 97 |
| 4.16.2 | Métodos de templados de conductores. | 98 |
| 4.16.3 | Tolerancias en el tendido. | 100 |
| 4.17 | Engrampado de conductores. | 101 |
| 4.17.1 | Engrampado de Anclaje. | 101 |
| 4.17.2 | Engrampado de Suspensión. | 103 |
| 4.18 | Instalación de puentes eléctricos. | 104 |
| 4.19 | Pruebas y puesta en servicio. | 105 |
| CAPÍTULO V | | 106 |
| 5.0 | ASEGURAMIENTO DE CALIDAD. | 106 |
| 5.1 | Concepto. | 106 |
| 5.2 | Protagonistas de la calidad. | 106 |
| 5.3 | Evolución de calidad. | 107 |
| 5.4 | Importancia de la calidad en una empresa. | 107 |
| 5.5 | Implementación de un plan de calidad. | 108 |
| 5.5.1 | Control de materiales. | 109 |
| 5.5.2 | Control de documentación y archivos. | 109 |
| 5.5.2.1 | Documentación del cliente o ingeniería. | 110 |
| 5.5.2.2 | Documentación interna. | 111 |
| 5.5.3 | Control de procesos. | 111 |
| 5.5.4 | Control de no conformidades. | 112 |
| 5.6 | Control de calidad de los trabajos en una línea de transmisión eléctrica. | 112 |
| CAPÍTULO VI | | 117 |
| 6.0 | PREVENCIÓN DE RIESGOS. | 117 |
| 6.1 | Conceptos básicos de prevención de riesgos. | 117 |
| 6.2 | Políticas de prevención de riesgos. | 117 |
| 6.3 | Principios de un plan de prevención de riesgos. | 118 |
| 6.4 | Factores involucrados en los accidentes. | 120 |
| 6.5 | Riesgos en la construcción. | 121 |
| 6.5.1 | Despeje de franja de servidumbre. | 121 |
| 6.5.2 | Excavaciones. | 122 |
| 6.5.3 | Montaje de estructuras. | 123 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO VII | 125 |
| 7.0 IMPACTO AMBIENTAL. | 125 |
| 7.1 Compromiso ambiental. | 125 |
| 7.2 Principios básicos de una política Ambiental. | 126 |
| 7.3 Impactos generados en la construcción de líneas de transmisión eléctrica. | 127 |
| 7.3.1 Transformación del medio físico. | 127 |
| 7.3.1.1 Recomendaciones. | 128 |
| 7.3.2 Generación de residuos. | 128 |
| 7.3.2.1 Manejo de residuos emanados en la construcción. | 128 |
| 7.3.2.2 Recomendaciones en el manejo de residuos. | 130 |
| 7.3.3 Aumento de emisión de material particulado. | 130 |
| 7.3.3.1 Recomendaciones. | 131 |
| 7.4 Desmovilización de las instalaciones. | 132 |
| CAPÍTULO VIII | 133 |
| 8.0 DESCRIPCIÓN PROYECTO INTERCONEXIÓN CELULOSA ARAUCO – SIC | 133 |
| 8.1 Generalidades | 133 |
| 8.2 Antecedentes técnicos | 134 |
| 8.3 Despeje de la franja de servidumbre | 135 |
| 8.4 Construcción de fundaciones | 136 |
| 8.5 Montaje de estructuras | 137 |
| 8.6 Tendido de conductores | 138 |
| 8.7 Prueba y puesta en servicio | 139 |
| 8.8 Presupuesto | 139 |
| CAPÍTULO IX | 141 |
| 9.0 Conclusiones. | 141 |
| BIBLIOGRAFÍA. | 143 |

CAPÍTULO I

1.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

Desde los tiempos que se descubre la electricidad como una alternativa para mejorar la calidad de vida de los pueblos, se ha generado una gran demanda de energía, dándosele no sólo un uso doméstico, sino que además, gran parte de la generación es utilizada por la industria.

Chile no es la excepción, en las últimas décadas el uso de la electricidad es una necesidad básica en todos los hogares, además han surgido grandes industrias a lo largo de nuestro territorio, lo que ha traído consigo un aumento de la demanda energética y asociado a esto la llegada de tecnologías de última generación.

Para satisfacer los requerimientos energéticos, nuestro país cuenta con cuatro sistemas eléctricos independientes entre sí, estos se interconectan con los centros de consumo ubicados en las ciudades o en las grandes industrias. Los sistemas de transmisión chileno recrean una suerte de columna vertebral eléctrica, debido a la configuración larga y angosta de nuestra geografía nacional.

En nuestro país, la empresa responsable de la transmisión de casi la totalidad del sistema eléctrico es Transelec, la que realiza estudios de planificación del sistema de transmisión, con el objeto de identificar las ampliaciones de capacidad del sistema de transporte y transformación que posibiliten un óptimo funcionamiento del mercado eléctrico, en concordancia con la entrada de nuevas centrales generadoras, el crecimiento de la demanda y los criterios de calidad y seguridad de suministro vigente.

Por las razones anteriormente expuestas, es que nace la idea de crear un manual de construcción de líneas de alta tensión, para que profesionales del área de la Construcción Civil, también se hagan parte de este proceso.

Es importante tener en cuenta que trabajar en esta área trae implícita una gran responsabilidad, debido a los riesgos a que están expuestas las personas que tienen la misión de construir este tipo de proyectos. Es por esto, que el manual que a continuación se presenta está dirigido principalmente a orientar en relación al control de pérdidas, tanto humanas como de equipos, y control de calidad total de los procesos productivos relacionados con la construcción de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, los que se llevarán a cabo siguiendo un irrestricto cumplimiento del plan de calidad y prevención de riesgos generado por cada empresa y la aplicación de la legislación relacionada a estos temas.

Además, debido a la preocupación que hoy en día existe con respecto a la protección del medio ambiente, es necesario que toda empresa que en sus procesos productivos le sea necesario intervenir o alterar el medio natural, deberá contar con una política medioambiental clara cumpliendo con la legislación correspondiente.

1.2 Objetivo

Desarrollar un manual de construcción de líneas de transmisión eléctrica en alta tensión, basado en la recopilación de información de las distintas entidades relacionadas con el tema y experiencia del Tesista en proyectos de esta naturaleza.

1.3 Metodología

Recopilar y procesar información relevante sobre antecedentes relativos a la evolución de los sistemas de transmisión eléctrica en Chile, y de cómo está configurada la Industria Eléctrica en el país, de los principales componentes de los sistemas de transmisión eléctrica, de la normativa aplicable y de las etapas relacionadas a la construcción de estos sistemas, considerando un sistema integral de calidad, control de pérdidas y medio ambiente. Para esto se aprovechará la experiencia del Tesista en este tipo de proyectos.

1.4 Estructura de la tesis

En primer lugar se describen las distintas actividades que dan origen a los estudios de proyectos de construcción de líneas de transmisión en alta tensión.

Se presenta un procedimiento ejecutivo general de los trabajos relacionados a la construcción de líneas de transmisión eléctrica en alta tensión.

Se ofrece información relevante a las políticas de calidad, prevención de riesgos y protección del medio ambiente, utilizadas por empresas del área en sus procesos productivos, efectuándose una compilación de textos de la legislación vigente en esta materia.

En el octavo capítulo, se presenta un ejemplo de aplicación en el cual participó el autor del presente trabajo.

CAPÍTULO II

2.0 ORIGEN DE UN PROYECTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Antes de comenzar, se revisará la evolución de la electricidad y de los sistemas de transmisión, para finalmente dar a conocer como se originan los proyectos de esta naturaleza.

2.1 Evolución de la electricidad en el mundo¹

La electricidad es un descubrimiento muy antiguo, ya en Grecia, cuna de nuestra civilización, se conocían las propiedades del ámbar amarillo, llamado "elektron". En el año 1600 el doctor William Gilbert, descubre que la atracción que ejercen el azufre, el vidrio y la resina sobre cuerpos metálicos es debida a una fuerza natural, a la que bautiza con el nombre de "electricidad", derivado del vocablo griego "elektron".

Hacia mediados del siglo XVIII se estableció la distinción entre materiales aislantes y conductores. Los aislantes eran aquellos que Gilbert había considerado "eléctricos", en tanto que los conductores eran los "aneléctricos".

Durante aquellos años, el científico francés Charles-Francois de Cisternay Du Fay fue el primero en distinguir claramente los dos tipos diferentes de carga eléctrica: positiva y negativa.

En 1800, Volta presentó la primera fuente electroquímica artificial de diferencia de potencial, cuyo principio básico consistió en que dos metales distintos, puestos en contacto por medio de un líquido acidulado, desarrollan electricidad. Sin saberlo, Volta inventaba lo que hoy conocemos como las pilas y baterías.

¹ La información relativa a la evolución de la electricidad en el mundo, ha sido extraída principalmente de: Elektra (2004) y Acenor (2004).

A fines del año 1821, Michael Faraday descubre en Inglaterra el principio de toda la física del siglo XIX, el Campo electromagnético, basado en ese descubrimiento Faraday logró producir una máquina de circulación continua de corriente, lo que consistió en colocar un alambre en forma de espira, bajo el efecto de un campo electromagnético donde se induce corriente, a medida que la espira gira, el flujo magnético a través de ella cambia con el tiempo, induciéndose una fuerza electromotriz, y si existe un circuito externo, circulará una corriente eléctrica a través de este. Así, el investigador construyó el primer generador del mundo, abriéndose de par en par las puertas de la Era Eléctrica.

De estos descubrimientos tomó nota el francés Andrés Ampere, quien trabajando la idea del magnetismo eléctrico logro inventar el electroimán y es precisamente en este momento que comienza la historia de la aplicación práctica de la electricidad.

En 1881, Tomás Alva Edison presenta una lámpara eléctrica de cadencia verdaderamente práctica, que luego con algunas modificaciones va a llegar hasta nosotros como la actual ampolleta eléctrica, con el invento de la lámpara eléctrica se genera la universalización de la electricidad.

A fines del siglo XIX, otro científicos entregaron más antecedentes sobre la electricidad y mostraron al mundo sus inventos, que hoy en día usamos con mucha normalidad.

2.2 Antecedentes de los inicios de la generación de electricidad en el mundo²

A partir del año 1875 aparecen las primeras fábricas dedicadas a generar electricidad, eran pequeñas Centrales Térmicas a vapor ubicadas dentro de las ciudades, cuyo objetivo principal era la iluminación de las calles más importantes y proporcionar luz eléctrica, durante algunas horas al día, a algunas casas pudientes de la ciudad.

La primera Central Hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El principal impulso de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las Centrales Hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

Esta forma de generar energía eléctrica tuvo gran presencia en el mercado hasta la década del 70, cuando fue superada por la generación de energía térmica.

2.3 Antecedentes de los inicio de transmisión de electricidad en el mundo³

La primera experiencia en transmisión de energía eléctrica a distancia, en lo que respecta a corriente alterna trifásica, fue la transmisión de energía desde una central hidroeléctrica de 200 KW. de potencia, el año 1891 en Alemania, recorriendo una distancia de 170 Km. La experiencia consistió en elevar la tensión de un generador desde 95 Volts a 15000 volts, que correspondió a la tensión de transmisión y luego reducirla nuevamente a 113 volts, para alimentar un motor asincrónico

² La información relativa a los antecedentes de los inicios de la generación de electricidad en el mundo, ha sido extraída principalmente de: UNESA (2004) y Arroyo, Mercedes (1997).

³ La información relativa a los antecedentes de los inicios de transmisión de electricidad en el mundo, ha sido extraída principalmente de: Arroyo, Mercedes (1997).

trifásico de 75 KW. destinado a accionar una unidad de bombeo. Pero recién en 1930 se experimentó la transmisión de energía eléctrica a gran distancia.

2.4 Inicios de la electricidad en Chile⁴

En febrero de 1883, se constituyó el primer equipamiento eléctrico en la ciudad de Santiago, fueron los primeros y tímidos ensayos de introducción de la electricidad en esta ciudad y en el país. No siempre fueron afortunados ni sus efectos permanentes hasta 1897, en que las esporádicas experiencias de los cuatro años previos persuadieron a algunos ingenieros y empresarios, de visión clara, de que había que organizar las cosas, de tal modo, que el invento de Thomas Alva Edison se convirtiera en un elemento permanente para mejorar la calidad de vida de los chilenos. De esta manera, se sustituiría a los viejos mecheros de gas y parafina y al ferrocarril de tracción animal por luminarias y tranvías impulsados por energía eléctrica.

En nuestro país la explotación eléctrica se remonta a la historia de dos grandes compañías "Chilean Electric Tramway and Light Co". que se crea en 1889 y la "Compañía Nacional de Fuerza Eléctrica" de 1919, la cuales se fusionan en 1921, dando origen a la "Compañía Chilena de Electricidad Limitada", la cual toma el control de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en nuestro país, esta compañía es la que hoy conocemos como Chilectra.

Entre 1921 y 1924 se construyó la primera línea de transmisión de 110.000 volts, desde la subestación San Cristóbal en operaciones desde 1923 hasta las subestaciones Las Vegas y Miraflores. El tendido de la Compañía penetraba al litoral y daba la partida, a lo que posteriormente se denominaría el Sistema Interconectado, que permitiría el uso de la energía en puntos distantes del de su generación. Por su

⁴ La información relativa a los antecedentes de los inicios de la electricidad en Chile, ha sido extraída principalmente de: Memoria Chilena (2004) y Chilectra (2004).

parte, el 13 de febrero de 1925, la autoridad dictaba por primera vez una Ley General de Servicios Eléctricos, a través del Decreto Ley N° 252, uniformando parte importante de las condiciones necesarias para el establecimiento del servicio eléctrico.

La innovación ya no se limitaba al simple suministro de energía para la iluminación, hacían su aparición los primeros aparatos eléctricos que aumentaban el consumo. A siete años de su constitución, la evolución de la Compañía Chilena de Electricidad con 4.300 empleados y obreros se traducía en una infraestructura de cuatro plantas generadoras de energía; 2.300 kilómetros de líneas de distribución aéreas y subterráneas, urbanas y rurales; 9.000 kilómetros de vías para 430 tranvías y 380 kilómetros de red eléctrica ferroviaria entre Santiago, Valparaíso y Los Andes.

2.5 Los sistemas de transmisión en Chile⁵

El desarrollo del actual sistema de transmisión Transelec, se inicia en el año 1943 con la creación de la Empresa Nacional de Electricidad S.A. como filial de la Corporación de Fomento a la Producción, CORFO.

Estas entidades estatales llevaron a cabo el Plan de Electrificación en todo el territorio nacional, construyendo centrales generadoras y líneas de transmisión inicialmente en regiones. Con el tiempo, estas líneas se entrelazaron hasta conformar el actual Sistema Interconectado Central de Chile como asimismo otros sistemas aislados.

Con la privatización y reestructuración del sector eléctrico chileno en la década de los ochenta, la diferente naturaleza de los negocios de generación, transmisión y distribución se hizo evidente. En 1993, la Empresa Nacional de

⁵ La información relativa a los sistemas de transmisión en Chile, ha sido extraída principalmente de: TRANSELEC (2004).

Electricidad S.A. creó como filial la Compañía Nacional de Transmisión Eléctrica S.A., dedicada exclusivamente al transporte de energía eléctrica.

En el año 2000, se formó HQI Transelec Chile S.A., filial del grupo Hydro-Québec, con el propósito de comprar el capital accionario de Compañía Nacional de Transmisión Eléctrica S.A. Una vez adquirido el cien por ciento de las acciones, HQI Transelec Chile S.A. absorbió la Compañía Nacional de Transmisión Eléctrica S.A. y se transformó en su continuadora para todos los efectos legales.

Asimismo, en mayo de 2003, HQI Transelec Chile S.A. forma su filial HQI Transelec Norte S.A. conocida como Transelec Norte con el objeto de adquirir instalaciones de transmisión de electricidad en el Sistema Interconectado del Norte Grande, SING.

Hoy en día, Chile satisface sus requerimientos de energía eléctrica mediante cuatro sistemas eléctricos independientes entre sí que interconectan los centros de producción de energía eléctrica con los consumos ubicados ya sea en las ciudades o grandes industrias. Estos son el Sistema Interconectado Central (SIC), el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), el Sistema Eléctrico de Aysén y el Sistema Eléctrico de Magallanes. El primero es el más importante, puesto que abarca un área geográfica que se extiende desde la localidad de Paposo, por el norte, hasta Chiloé, por el sur.

Transelec es dueña del 100% de las líneas de 500 kV, del 72,5% de las líneas de 220 kV y porcentajes significativos de líneas de 154 kV y 110 kV del SIC. El sistema interconectado de Transelec en el SIC comprende 7.485 kilómetros-circuito de líneas de alta tensión y un total de 48 subestaciones de alta tensión, con una capacidad de transformación de 8.096 MVA, distribuidas a lo largo de aproximadamente 2.200 kilómetros de territorio.

Además, Transelec, a través de su filial Transelec Norte, es propietaria del 10,65% de las líneas de 220 kV en el SING. Las instalaciones de Transelec en la Región de Tarapacá incluyen 285 kilómetros-circuito de líneas de alta tensión y 2 subestaciones de alta tensión con una capacidad de transformación de 24 MVA.

2.6 Etapas de transformación de la electricidad⁶

Para familiarizar al lector con el tema es necesario explicar en forma breve las transformaciones que sufre la energía eléctrica, desde su generación hasta el momento en que ésta es consumida en nuestros hogares y las industrias.

2.6.1 Generación de energía eléctrica

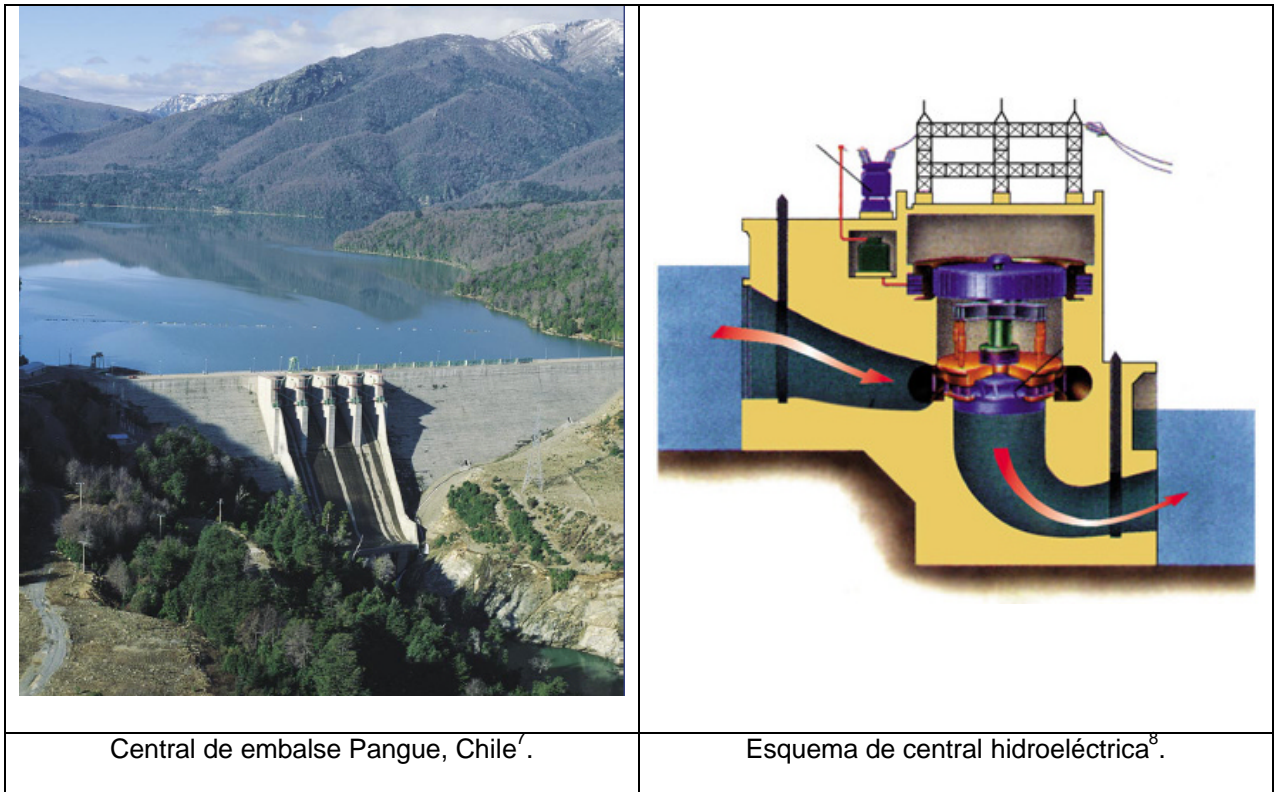
La electricidad que nosotros consumimos, y que se transporta a través de una red de cables, se produce básicamente al transformar la energía cinética en energía eléctrica, para ello se utilizan turbinas y generadores. Las turbinas son enormes engranajes que rotan sobre sí mismos una y otra vez impulsados por una energía externa. Los generadores son aparatos que transforman la energía cinética de movimiento de una turbina en energía eléctrica.

En Chile, existen dos tipos de centrales generadoras de electricidad: hidroeléctricas y termoeléctricas (térmicas a vapor, térmicas a gas y de ciclo combinado).

- ✓ **Centrales hidroeléctricas:** utilizan la fuerza y velocidad del agua corriente para hacer girar las turbinas. Las hay de dos tipos: de pasada, que aprovechan la energía cinética natural del agua corriente de los ríos; y de embalse, el agua se acumula mediante represas y luego se libera con mayor presión hacia la central hidroeléctrica. Ambas tienen por objetivo utilizar su

⁶ La información relativa a los antecedentes de las etapas de transformación de la electricidad, ha sido extraída principalmente de: Explora (2004a).

energía potencial para así poder mover las hélices de la turbina que está conectada a un generador, que por último transformará la energía mecánica de movimiento en energía eléctrica, estos dos tipos de centrales son típicas en nuestro país.



- ✓ **Centrales termoeléctricas:** usan el calor para producir electricidad. Calientan una sustancia, que puede ser agua o gas, los cuales al calentarse salen a altas presiones con el fin de mover una turbina que a su vez está conectada a un generador y entonces el movimiento se transforma en energía eléctrica. Para alimentar una central termoeléctrica se pueden usar muchas fuentes energéticas como carbón, petróleo, gas natural, energía solar, geotérmica, nuclear, biomasa, etc.

⁷ Fuente: ENDESA (2005).

⁸ Fuente: Explora (2004a).

La transformación de energía se efectúa básicamente en cuatro etapas:

- 1.- Transformación de energía latente del combustible en calor.
- 2.- Transformación de calor en energía potencial de vapor.
- 3.- Transformación de energía potencial de vapor en energía mecánica.
- 4.- Transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

En nuestro país los tipos de centrales termoeléctricas más utilizadas son las que a continuación se definen:

- **Centrales térmicas a vapor:** en este caso, se utiliza agua en un ciclo cerrado (siempre es la misma agua). El agua se calienta en grandes calderas elevando su temperatura hasta generar vapor a alta presión, el cual es llevado a una turbina que está conectada a un generador, usando como combustible carbón, gas, biomasa, etc., la turbina se mueve debido a la presión del vapor de agua, y su energía cinética es transformada en electricidad por un generador. Después de que el vapor pasa a través de la turbina, es llevado a una torre de enfriamiento, donde es condensado y convertido nuevamente en agua para ser utilizado nuevamente en la caldera y repetir el proceso indefinidamente.
- **Centrales térmicas a gas:** en vez de agua, estas centrales utilizan gas, el cual se calienta utilizando diversos combustibles (gas, petróleo o diesel). El resultado de esta combustión es que gases a altas temperaturas movilizan a la turbina, y su energía cinética es transformada en electricidad por un generador.

Centrales de ciclo combinado: Utilizan dos turbinas, una a gas y otra a vapor. En este caso, los gases calientes de la combustión del gas natural que pasan por la turbina pueden volver a ser utilizados introduciéndolos a una caldera para la generación de vapor para así poder mover otra turbina y un segundo generador.

2.6.2 Transformación primaria de energía eléctrica⁹

Uno de los grandes problemas que presenta la energía eléctrica es que no se puede almacenar, sino que debe ser transmitida al mismo tiempo que se genera, cabe destacar que la transmisión debe hacerse en tensiones muy altas, esto debido a un problema de costos, eficiencia de transmisión y distancia desde los puntos de generación a los puntos de consumo, esto se debe a que se requiere cubrir necesidades de potencia de consumo y si se transmitiera en tensiones menores se requeriría de múltiples líneas de transmisión que elevaría los costos de construcción y mantenimiento de éstas, por otro lado, la tensión de generación por lo general alcanza unos 13.8 kV, que corresponde a una tensión considerada baja para ser transmitida, es por esto, que en la misma planta de generación se deberá instalar una estación transformadora para elevar la tensión a valores convenientes.

Estas subestaciones transformadoras cuentan con todo el equipamiento necesario, tanto de monitoreo como de protección de las instalaciones, y lo más importante un transformador de potencia para elevar el voltaje y entregarlo a la línea de transmisión.

⁹ La información relativa a la transformación primaria de la energía eléctrica, fue extractada principalmente de: Enciclopedia Microsoft® Encarta® Online (2005).



Transformador de poder en subestación de transformación Celulosa Arauco.



Estación de transformación Celulosa Arauco.

2.6.3 Transmisión de energía eléctrica¹⁰

La energía producida por los generadores es llevada a un patio de alta tensión, donde el voltaje original es elevado a valores por sobre los 66 kV. Una vez transformada la potencia original a los voltajes antes mencionados, esta energía es transportada por medio de líneas de transmisión que están configuradas básicamente por torres y redes de conductores de grueso calibre, capaces de transportar estos elevados flujos de corrientes, también denominadas corrientes fuertes.

Existen dos tipos de líneas de transmisión eléctrica unas son aquellas que van desde el punto de generación hasta una línea de transmisión troncal y la troncal propiamente tal, que tiene la misión de acercar la energía generada en las centrales a los centros de consumo, ya sea domiciliarios o industriales.

El acoplamiento de las líneas de transporte de energía desde el punto de generación a los sistemas interconectados o troncales se podrá hacer en forma directa, método conocido como Tap - Off, o en su defecto a través de una subestación eléctrica de maniobra, esta última alternativa es la más adecuada debido a que se asegura un acoplamiento sincronizado de frecuencia de fases, y por otro

¹⁰ La información relativa a la transmisión de energía eléctrica, fue extractada principalmente de: Enciclopedia Microsoft® Encarta® Online (2005).

lado estas subestaciones de maniobra también sirven de enlace para aquellas empresas de distribución que demanden de energía en este modo o servir de arranque de una nueva línea de transmisión.



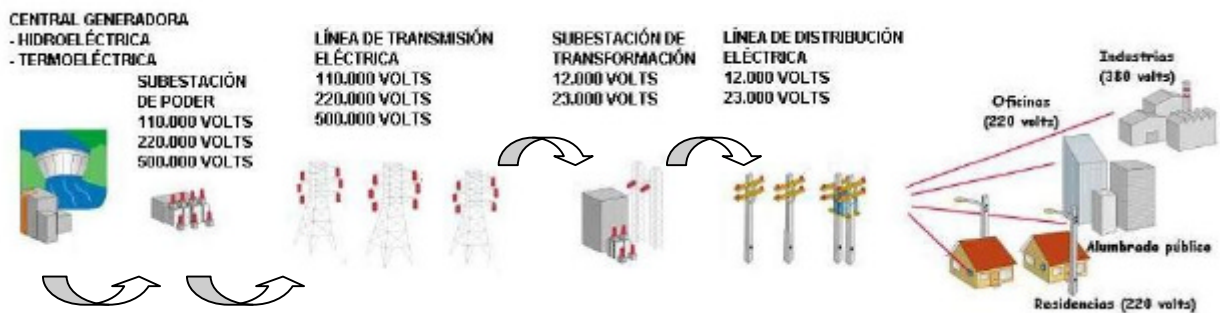
Subestación de maniobra Ciruelos, línea 220 kV. (Celulosa Arauco a S.I.C.).

2.6.4 Distribución de energía eléctrica¹¹

Esta corresponde a la última etapa que recorre la energía eléctrica antes de llegar a los centros de consumo, tanto ciudades como industrias. La energía transportada en tensiones de 110 kV., 220 kV. y 500 kV. son llevadas a patios o subestaciones de transformación, donde es bajado el voltaje a 13.2, 23 ó 35 kV., según sea la conveniencia, para luego acercarla a las ciudades e industrias, donde en puntos estratégicos será transformada nuevamente a tensiones de 220 Volts y 380 Volts u otra tensión contratada, según sean las necesidades.

¹¹ La información relativa a la distribución de energía eléctrica, fue extractada principalmente de: Enciclopedia Microsoft® Encarta® Online (2005).

Ruta de la Electricidad¹²



2.7 Definiciones de elementos componentes de un sistema de transmisión¹³

2.7.1 Generalidades

Como ya se tiene la idea general de cuales son las etapas por las cuales pasa la electricidad antes de llegar a nuestros hogares e industrias, se comenzará a explicar en más detalle en que consiste un sistema de transmisión eléctrica de alta tensión y la terminología utilizada en el desarrollo del tema.

Un sistema de transmisión eléctrica está compuesto básicamente por torres en base a enrejados, con características mecánicas adecuadas a las solicitaciones establecidas en las memorias de cálculo, de acuerdo a la topografía del terreno y de las condiciones climáticas del sector y conductores del material que cumpla con las características mecánicas y eléctricas de acuerdo a las necesidades del proyecto. Pero además de esto, hay una serie de elementos que son los responsables de mantener unidos los conductores a las estructuras, que se denomina ferretería de la línea.

¹² Fuente: Explora (2004b).

¹³ La información expuesta en este punto fue extractada principalmente del texto Líneas de Transporte de Energía Eléctrica de: Checa, Luis María. (1988).

2.7.2 Estructuras de acuerdo a cantidad de circuitos

La energía eléctrica se transmite en uno o dos circuitos, esto depende de la demanda de consumo de energía que exista en el punto de entrega, la diferencia entre las estructuras usadas en estos casos corresponde a la cantidad de crucetas que contiene la torre, las de doble circuito están configuradas con tres crucetas a cada lado de la torre, las cuales portarán una fase cada una para la configuración de cada circuito en forma independiente.

Las estructuras de simple circuito, están conformadas por dos crucetas a un lado de la torre y una al otro, las cuales en su conjunto forman un circuito eléctrico. La diferencia entre un tipo de configuración y otro, además de la cantidad de crucetas, se refleja en la robustez de la estructura.



Estructura doble circuito 220 kV. (Sistema interconectado central S.I.C.).



Estructura circuito simple 220 kV. (Celulosa Arauco).

2.7.3 Estructuras de acuerdo a su uso

Estructura de suspensión: Este tipo de estructura corresponde al tipo auto-soportante, esto quiere decir que esta estructura sólo trasmite a las fundaciones su peso y el peso de los conductores en el sentido vertical de la estructura, también se le denomina de alineamiento.



Estructura de suspensión línea 2x220 kV. S.I.C.



Estructura de suspensión línea 2x23kV. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

Estructura de anclaje: Este tipo de estructura, además de soportar su peso, está expuesta a tensiones adicionales por giro, esto se debe a que este tipo de torre es construida en las deflexiones o ángulos sufridos por el trazado, pero también cuando los tramos rectos de la línea se extienden demasiado se instala una torre de anclaje para evitar sobre-tensiones en la línea por efectos externos como viento o sobrepeso debido a hielo, también permite proporcionar puntos firmes en la línea que impidan la destrucción total de la misma, en caso de ruptura de un conductor o colapso de alguna estructura contenida en tramo.



Estructura de anclaje línea 2x220 kV. S.I.C.



Estructura de anclaje línea 2x23kV. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

Estructura de remate: Estas son del mismo tipo que las mencionadas anteriormente, la diferencia se debe a que se encuentra al final de la línea, ya sea para su acometida a una subestación o simplemente el término de ésta, 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.



Estructura de remate línea 1x220 kV. Celulosa Arauco.



Estructura de remate línea 2x23kV. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

Estructuras especiales: Este tipo de estructuras serán diseñadas en aquellos puntos de la línea que por razones técnicas sea necesaria su instalación, por ejemplo una de la necesidades puede ser de carácter eléctrico, esto quiere decir que cuando la energía eléctrica viaja distancias considerables se produce una autoinducción entre las fases componentes de los circuitos, que trae un desequilibrio eléctrico en el circuito, por lo que es necesario cambiar la disposición de los conductores, en este caso se debe estudiar una estructura especial para realizar esta maniobra, a este tipo de estructura se le denomina de transposición de conductores, otro caso sería que por razones topográficas se desee ganar altura desde conductores al suelo, por lo que se deberán emparejar las fases a un mismo nivel, en este caso a esta estructura se le denomina de abatimiento.



Estructuras de abatimiento de conductores, proyecto Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

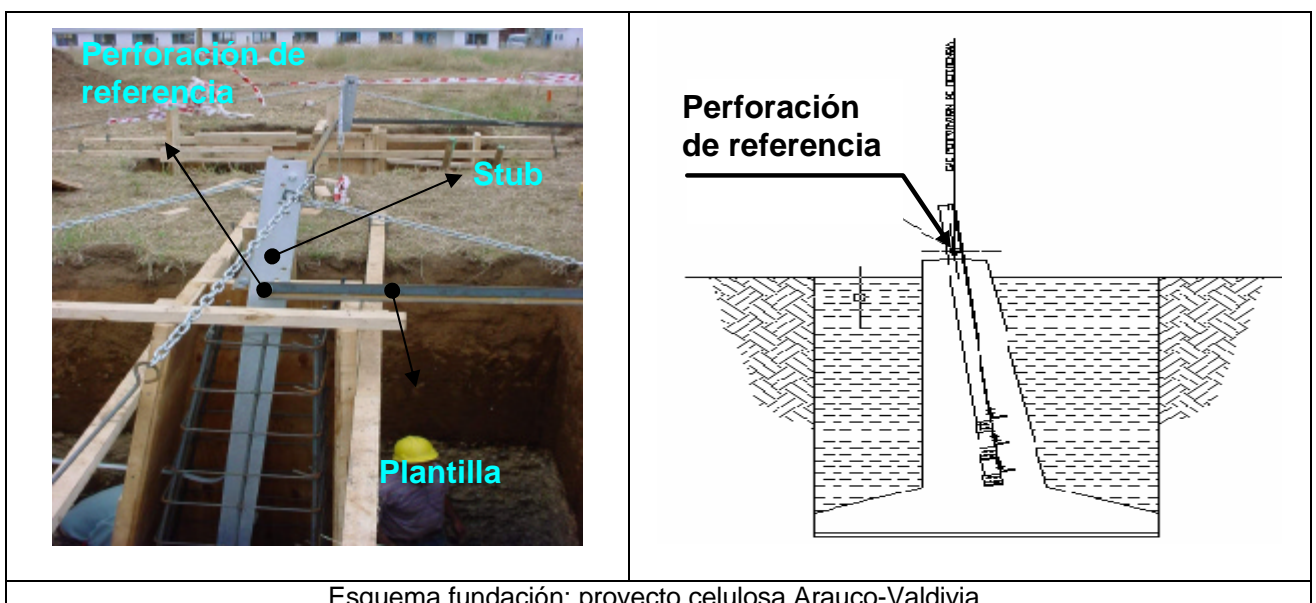
2.7.4 Cuerpos componentes de una estructura de soporte de líneas

Las estructuras utilizadas en este tipo de proyectos, están compuestas por diferentes cuerpos o elementos, básicamente se distinguen los siguientes:

Stub: Cantonera o perfil tipo “L” de acero galvanizado, de dimensiones variable de acuerdo al proyecto, 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 son variables de acuerdo al cálculo de cada proyecto.

Perforación de referencia: Corresponde 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: Estructura de amarre rígida que soporta los stub y posee dispositivos de fijación y chequeo de nivelación, estas plantillas están conformadas por perfiles tipo “L” que se perforarán con las medidas de proyecto, que corresponden a las perforaciones de referencia indicadas en los planos, cabe señalar 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 de éstos.



Base: Se refiere a la parte correspondiente a cuatro estructuras denominadas también como patas, las que son unidas por medio de otros elementos formando los soportes sustentables de cada torre. Existen, de acuerdo a la topografía de terreno donde se ubica cada estructura, diversos tipos y combinaciones de ellas cambiando sus dimensiones (alturas), los tipos más comunes son -3, -2,-1, ± 0 , +1, +2, +3 (en metros) o una combinación de estas medidas. En casos especiales se diseñan otras combinaciones de alturas de patas, también a este tipo de estructuras se les denomina como patas en ladera.

Cuadro de la base: Corresponde a todos los elementos (piezas metálicas galvanizadas) que unen la parte superior de la base, y es donde se realiza el primer chequeo para verificar la correcta instalación e inclinación de los stub, también se le denomina cinturón.

Estructura central: Esta está constituida por diferentes cuerpos que van a permitir poder ganar altura en la estructura en sí, estos cuerpos están conformados en base a enrejados de perfiles tipo "L" de acero galvanizado en caliente, con dimensiones de acuerdo al proyecto estudiado por ingeniería. Esta estructura se montará sobre el cuadro base para así dar la forma a la torre requerida.

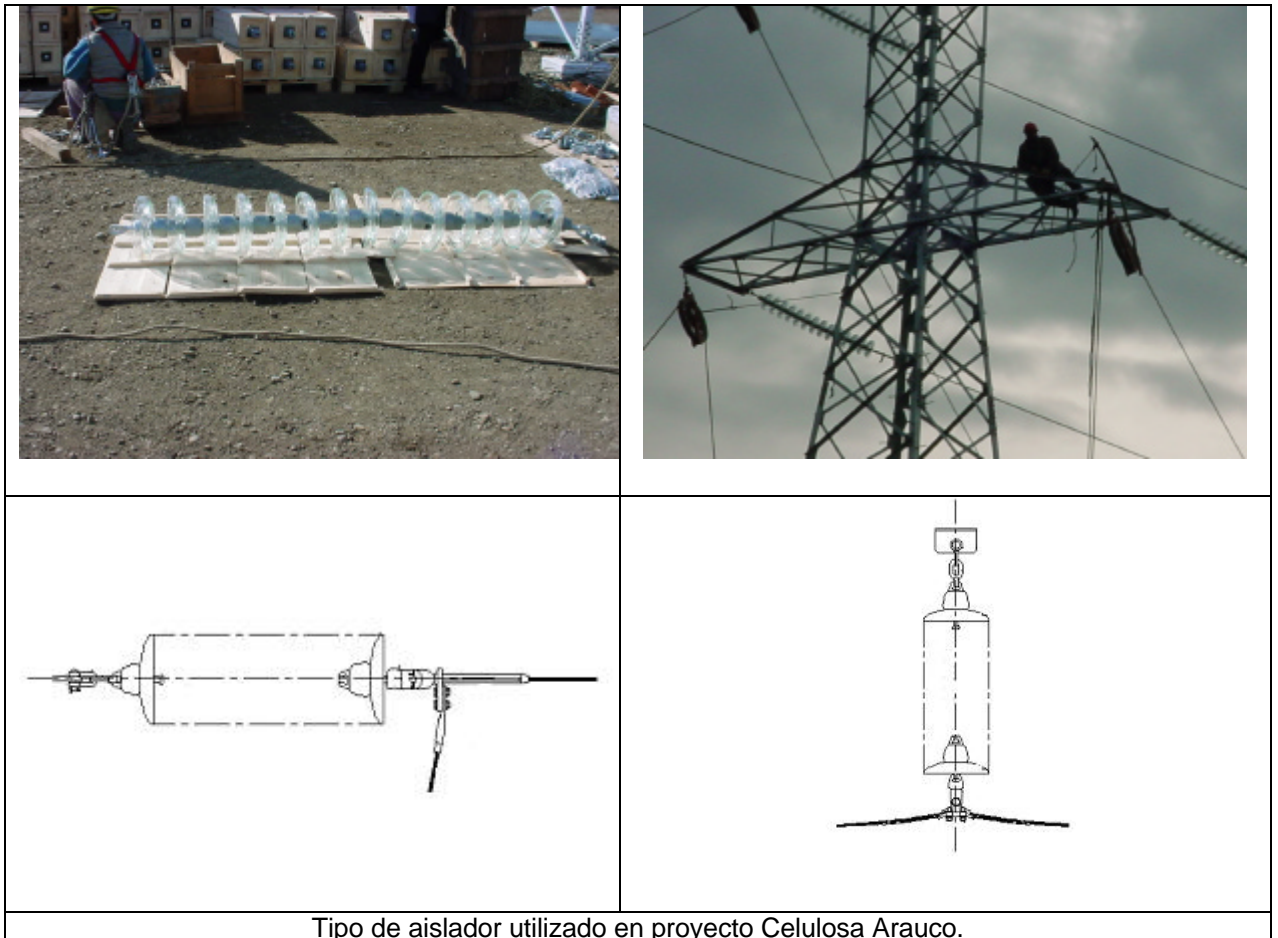
Crucetas: Esta parte de la estructura es necesaria para alejar los conductores de la estructura en cuestión, para evitar arcos eléctricos y fallas en el funcionamiento normal del sistema de transmisión, la longitud de este tipo de estructuras dependerá de la potencia eléctrica a transmitir.

Canastillo de cable de guardia: Este cuerpo sólo se contempla en aquellos casos donde el proyecto lo requiera, ya que todas las líneas de transmisión eléctrica no requieren de este tipo de protección, esto dependerá de los riesgos de la zona por donde está proyectado el trazado de eventuales descargas eléctricas naturales (rayos), que puedan afectar el funcionamiento de las instalaciones, por lo general, en

zonas altas sobre 3000 mts. s.n.m., todas las líneas contemplan cable de guardia, por otro lado a las llegadas y salida de cualquier sub-estación estas deberán ser protegidas con sistemas de pararrayos, y por último cuando se desee comunicar dos sub-estaciones con información se utilizará cable de guardia con fibra óptica incluida.



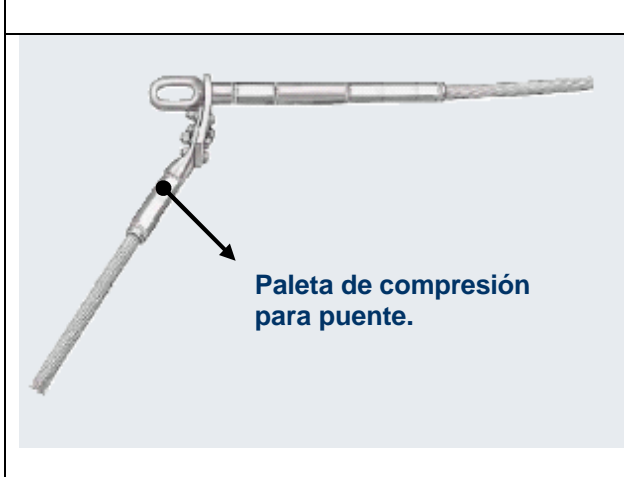
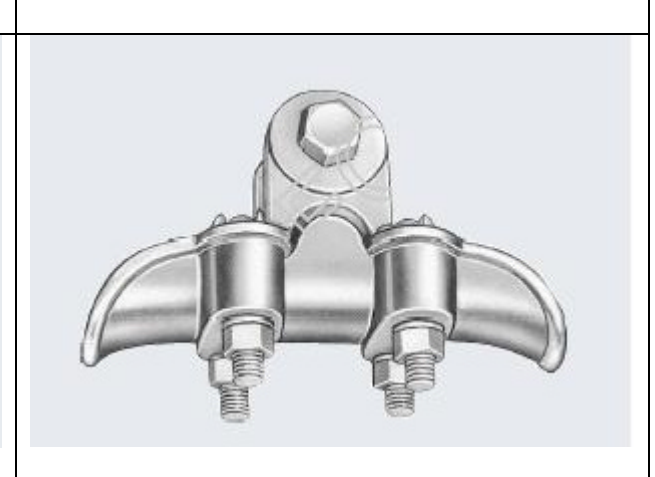
2.7.5 Ferretería de líneas

Cadena de aisladores: Estos elementos tienen la finalidad de aislar el conductor de los apoyos de soporte, su principal características es de ser un buen dieléctrico, ya que su misión fundamental es evitar el paso de la corriente del conductor al apoyo. Las cadenas están compuestas por varios discos aislantes, que pueden ser de vidrio, loza, porcelana, plásticos, caucho, etc., estos materiales son considerados buenos aislantes eléctricos, esto no significa que se evite el paso total de la corriente, sino que se logra que la corriente de fuga sea despreciable en todos los puntos de apoyo de la línea, la cantidad de discos por la que deberá estar compuesta la cadena dependerá de la potencia eléctrica transmitida. En las líneas de transmisión de alta tensión se utilizan 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, sólo las diferenciará la cantidad de discos aislantes componentes de la cadena, esto quiere decir que la cadena de aisladores para estructuras de anclaje contará con mayor número de discos debido a los esfuerzos adicionales que deberá soportar. Con respecto a la posición, las cadenas de aisladores de suspensión quedarán en posición vertical, la cual será chequeada por topografía, en cambio las cadenas de anclaje quedarán en la línea de curva del conductor.



Grampas: Estos elementos de ferretería son utilizados 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 grampas y cadena de aisladores, tales como pernos, tuercas, golillas, chavetas, etc., son de material de acero galvanizado, para evitar la corrosión de éstos. Los tipos de grampas utilizados en proyectos de transmisión son dos: para suspensión y para anclaje, la primera sólo transmitirá los esfuerzos propios del conductor más sobrecargas eventuales en el sentido vertical al respectivo punto de apoyo; en cambio la grampa de anclaje deberá soportar los esfuerzos resultantes de la fase comprometida.

Paleta: Corresponde al accesorio que trae la grampa de anclaje para conectar los puentes que darán la continuidad eléctrica en cada fase, en las distintas estructuras de anclaje proyectadas en la línea.

| | |
|--|---|
|  |  |
|  <p>Paleta de compresión para puente.</p> |  |
| <p>Grampa tipo de anclaje con accesorios, utilizada en proyecto Collahuasi.</p> | <p>Grampa tipo de suspensión con accesorios utilizada en proyecto Collahuasi.</p> |

2.7.6 Conductores y cable de guardia

Conductor: Este elemento es el responsable de transmitir la energía eléctrica desde los distintos puntos de un sistema, en las líneas de alta tensión se utilizan casi exclusivamente conductores metálicos desnudos, que se obtienen mediante cableado de hilos metálicos (alambre) alrededor de un hilo central, esta configuración debe tener características eléctricas y mecánicas adecuadas para el fin que van a destinarse, siendo estas inalterables con el tiempo y además de presentar una resistencia elevada a la corrosión atmosférica.

Las características que deben tomarse en cuenta al momento de elegir un conductor son básicamente tres:

En primer lugar, se ha de tener en cuenta la resistencia eléctrica, ya que cuanto menor sea esta, menores serán las pérdidas por calentamiento.

El segundo factor es la resistencia mecánica, puesto que en las líneas aéreas se generan grandes esfuerzos, tanto al momento de ser montadas como a través del tiempo debido a las condiciones extremas que deberán soportar los conductores (frío, calor, viento, nieve, etc.).

En tercer lugar el aspecto económico, procurando el mínimo coste de la línea, lo que redundará en un menor coste en la construcción, y por lo tanto nos entregará mayores utilidades.

Los materiales que satisfacen estas condiciones son el cobre, aluminio, aleación de aluminio y combinación de aluminio acero.

Hoy en día el material utilizado por excelencia en las líneas de alta tensión es el aluminio ó aleaciones de este material con acero, esto se debe a que tiene un coste levemente menor que el cobre y por las ventajas del menor peso para igual capacidad de transporte.

Cable de Guardia: Cable 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, el uso de cable de guardia con fibra óptica será necesario cuando se requiera transmitir información en una sub-estación y otra.

2.7.7 Otros términos utilizados en el desarrollo del tema

Fase: Corresponde a cada uno de los conductores y se designan como fase 1, 2 y 3, las que su vez configuraran un circuito eléctrico.

Circuito trifásico: Es el conjunto de tres fases de un sistema de transmisión, las líneas pueden contar con uno o dos circuitos, dependiendo de las necesidades de transmitir energía.

Medias: Es el elemento o accesorio utilizado para unir el cable piloto con los conductores o con el cable de guardia. Consiste en una red de cables de acero fino que envuelve el cable, ajustándose cuando es tensada. Su ventaja es pasar fácilmente por las poleas.

Engrampado: Corresponde al proceso de instalación del sistema de sujeción (grampas), que tienen por objeto retener el conductor o el cable de guardia a los puntos de apoyo, ya sea en las estructuras de suspensión o las de anclaje, este proceso se clasificará en dos grupos: apernadas que corresponden a las grampas de suspensión y comprimidas a las de anclaje.

Templado o tensado de Cables: consiste en dejar los conductores o cables de guardia con la flecha establecida en el proyecto, para cada vano comprendido entre las estructuras, esto se controla por medio de las tablas de temple y los vanos de control definidos a priori por ingeniería de acuerdo a la topografía del terreno y las condiciones climáticas del sector.

Offset: Es el proceso de engrampado en pendiente. Permite el engrampado de cables en un tramo de regulación con puntos previamente definidos que garantiza la posterior verticalidad de las cadenas de suspensión.

Puentes Eléctricos: Corresponde a la conexión eléctrica entre los conductores de cada fase a cada lado de las estructuras de anclajes. El conductor componente del puente eléctrico debe ser de similares características al utilizado en la línea, con longitud definida en terreno de modo de mantener las distancias eléctricas normalizadas entre los conductores y las estructuras.

Poleas: Estos elementos son usados para el tendido previo a engrampar 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 su montaje y permitir además el acomodamiento de las hebras que lo componen.

Preformadas: Corresponde a alambre de acero galvanizado, que son instalados formando un malla protectora alrededor del conductor en los puntos donde existan grampas de suspensión, esto con el fin de evitar daños en este al momento de ser apernada la grampa.

2.8 Como se origina un proyecto de líneas de transmisión eléctrica

Debido a que la gestión de negocios de las compañías a cargo de transmisión se inserta en el mercado del abastecimiento de energía eléctrica, en particular, en materias de explotación y desarrollo de los sistemas de transmisión de energía eléctrica. Este negocio se origina en la necesidad de las empresas generadoras de transmitir potencia y energía a sus clientes, principalmente compañías distribuidoras y grandes consumidores industriales en un escenario de abastecimiento seguro y económico.

En el sector eléctrico, las empresas que participan en el rubro no sólo lo hacen en materia de transmisión sino que también se dedican a las actividades relacionadas con la ingeniería, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones de transmisión. Además se deben prestar los servicios de transformación de tensión para que los consumidores dispongan, en cualquier punto de los sistemas, de energía eléctrica proveniente de las distintas centrales que actúan en forma coordinada.

El propósito de las compañías dedicadas a la transmisión de energía eléctrica es el libre acceso al sistema eléctrico de los distintos actores del sector, incluyendo los consumidores que hacen uso compartido de las instalaciones, de manera que el sistema se constituya efectivamente en un mercado competitivo de compra venta de energía y que además opere de manera eficiente.

En Chile Transelec es la empresa transmisora de energía eléctrica más importante, ya que posee el liderazgo absoluto en tensiones iguales o superiores a 154 kV a nivel nacional.

La demanda de electricidad del Sistema Interconectado Central (SIC) ha crecido durante la última década a un ritmo del orden del 8% anual. Esto significa que la demanda se ha duplicado en 9 años. Este crecimiento va acompañado de la construcción y puesta en servicio de nuevas centrales generadoras que se conectan al sistema de transmisión en distintas subestaciones a lo largo del SIC.

Debido a lo anterior, es que nace la necesidad de cubrir las necesidades tanto de las empresas que se dedican a generar energía eléctrica, como aquellas que se dedican a la distribución hasta llegar tanto a los hogares como a las industrias de nuestro país.

Existen varias alternativas de demanda de proyectos de líneas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión, necesidad de empresas generadoras que requieren inyectar energía al sistema para poder comercializarla, industrias que generan energía para sus procesos productivos y el excedente lo ofrecen al sistema de transmisión, grandes industrias que requieren de energía eléctrica para desarrollar su actividad económica y debido a las grandes distancias que las separan de los sistemas troncales de transmisión, se ven en la necesidad de construir líneas de transmisión de alta tensión hasta una sub-estación transformadora, para luego reducir la tensión a potencias domiciliarias e industriales (220 Volt. y 380 Volt.).

También existe la demanda de las empresas dedicadas a la distribución en media tensión para llegar hasta los centros urbanos y alimentar de electricidad los hogares, alumbrado público y la industria, esta energía se distribuye a partir de una sub-estación transformadora, en tensiones de 23.000 Volt y 12.000 Volt, esta transformación va a depender de la distancia que recorrerá la electricidad hasta los puntos de demanda, y por último tenemos la mantención y rediseño de los sistemas interconectados existentes en nuestro país.

Es por todo lo anterior, que tanto Transelec, que es el dueño de la mayoría de las líneas de transmisión eléctrica en Chile, como las industrias y empresas dedicadas a la generación y distribución dedican tiempo en el estudio de nuevos proyectos, tanto de construcción como de transformación de las redes existentes para poder mejorar, tanto su actividad económica como el servicio a los clientes y su vez mejorar la calidad de vida de todos los chilenos.

Esto se logra a través de estudios de planificación del sistema de transmisión con el objeto de identificar las posibles ampliaciones de capacidad del sistema de transporte y transformación que posibiliten un óptimo funcionamiento del mercado eléctrico, en concordancia con la entrada de nuevas centrales generadoras, el crecimiento de la demanda y los criterios de calidad y seguridad de suministro vigentes.

De esta forma, a través de un proceso coordinado con los interesados en efectuar la conexión de nuevas centrales o nuevos consumos al sistema como también con los usuarios actuales, se estudian soluciones técnicas de transmisión que aprovechen al máximo la infraestructura existente y que signifiquen un menor costo para el sistema eléctrico en su conjunto.

CAPÍTULO III

3.0 NORMATIVA RELEVANTE EN LA CONSTRUCCIÓN¹⁴

3.1 Aspectos generales

Este capítulo tiene por objetivo dar a conocer al lector información, en forma resumida, de la normativa vigente en nuestro país en relación a exigencias tanto de diseño como de construcción de líneas de transmisión eléctricas, el tener conocimiento de la normativa en la ejecución de un proyecto ayudará a darse cuenta de posibles errores en el diseño de éste y poder proponer una solución.

En nuestro país la entidad encargada de regular todas las materias relacionadas a la explotación de energía eléctrica es la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), que corresponde a un servicio descentralizado, el cual se relaciona con el Gobierno a través del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles tiene por objeto fiscalizar y supervigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias y normas técnicas sobre generación, producción, almacenamiento, transporte y distribución de combustibles líquidos, gas y electricidad, con el fin de verificar que la calidad de los servicios que se presten a los usuarios sea la señalada en dichas disposiciones y normas técnicas, y que las antes citadas operaciones y el uso de los recursos energéticos no constituyan peligro para las personas o cosas.

Cabe señalar que durante muchos años el abandono o desarrollo precario del quehacer normativo en nuestro medio, en lo que respecta al sistema eléctrico nacional, a inducido a error de creer que la autoridad normativa SEC se reduce

¹⁴ La información contenida en este capítulo ha sido extraída principalmente de: Superintendencia de Electricidad y Combustible (1971a) y (1971b) y complementada con ENDESA (1977).

exclusivamente al ámbito de las llamadas instalaciones de consumo o interiores, en circunstancias que le compete a dicho organismo regular desde los centros de generación hasta los puntos de consumo, pasando por todos los puntos intermedios de los sistemas eléctricos.

Es por esta razón que la autoridad consiente de esta problemática, ha decidido crear un marco regulatorio íntegro y unificado que abarque todos los aspectos relacionados al desarrollo normal del sistema eléctrico nacional, esto con el fin de tomar el control en materias, que en forma tácita, se había supuesto de competencia exclusiva de la empresas concesionarias del servicio público.

En lo que se refiere a normativa de corrientes fuertes, nuestro país se regula por el antiguo reglamento de corrientes fuertes de 1954, actual NSEC 5 del 71, que en dicha ocasión sólo cambió de nombre sin variar en lo más mínimo su contenido, con lo que se puede asegurar que en el tiempo transcurrido cualquier avance tecnológico deja obsoleto cualquier cuerpo normativo.

Esta particular situación de prolongado abandono de la temática normativa, dificulta en extremo el análisis de una norma que salte desde un pasado remoto, hasta las condiciones de desarrollo de la actual tecnología de materiales y equipos disponibles, así como la adopción de nuevos métodos de construcción de instalaciones. Es por esta razón que se ha pretendido, en una primera etapa, reunir todo el material disperso en Normas Internas de las Empresas Concesionarias, tratando de unificar y racionalizar sus contenidos, para dar origen a la NCh Elec 5/2001, la cual se encuentra en revisión, pero para efectos de exigencias es aplicada a todos los proyectos en media y alta tensión, por lo que la información entregada a continuación está complementada con este proyecto de norma.

3.2 Revisión de la normativa vigente

3.2.1 Norma de instalaciones de corrientes fuertes NSEC 5 E.N. 71

3.2.1.1 Generalidades

Esta Norma tiene por objeto fijar las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de corrientes fuertes, tanto en el caso de instalaciones interiores como en el caso de redes o sistemas de servicio público, con el fin de salvaguardar a las personas que las operan o hacen uso de ellas y preservar el medio ambiente en que han sido construidas.

Contiene esencialmente exigencias de seguridad, su cumplimiento, junto a un adecuado mantenimiento, garantiza una instalación básicamente libre de riesgos; sin embargo, no garantiza necesariamente la eficiencia, buen servicio, flexibilidad y facilidad de ampliación de las instalaciones, condiciones estas inherentes a un estudio acabado de cada proceso o ambiente particular y a un adecuado proyecto.

Las disposiciones de esta Norma se aplicarán al proyecto, ejecución y mantenimiento de las instalaciones de servicio público en baja, media, alta y extra alta tensión y que estén destinadas a generar, transportar, convertir y/o distribuir energía eléctrica, y a aquellas instalaciones de consumo que operen a tensiones superiores a 1000 V, o aún operando por bajo este nivel de tensión, no estén comprendidas en el alcance de la Norma NCh Elec. 4.

Toda instalación de corrientes fuertes deberá ser proyectada, ejecutada y mantenida dando estricto cumplimiento a las disposiciones de esta Norma.

Toda instalación de corrientes fuertes deberá ejecutarse de acuerdo a un proyecto desarrollado previamente, el cual deberá ser técnicamente concebido de modo de asegurar que en su operación y explotación no se presenten riesgos para

operadores y/o usuarios; que haga un uso eficiente de la energía de modo de minimizar sus consumos, que proporcione un buen servicio, que permita un fácil y adecuado mantenimiento, que tenga la flexibilidad necesaria como para permitir modificaciones y ampliaciones y no provoque alteraciones perniciosas en el medio ambiente.

Toda instalación de corrientes fuertes deberá ser proyectada y ejecutada bajo la supervisión de un Instalador Electricista Autorizado de Categoría A, según la clasificación establecida en el Reglamento de Instaladores Eléctricos y de Electricistas de Espectáculos Públicos.

En uso de sus atribuciones, la Superintendencia controlará la ejecución de una instalación de corrientes fuertes en sus etapas de proyecto, montaje y explotación, en forma directa o delegando sus atribuciones según lo establecido en la Ley N° 19.613 y los Reglamentos de aplicación de ésta.

Los materiales, equipos, aparatos y accesorios que se empleen en las instalaciones eléctricas de corrientes fuertes, deberán cumplir con las normas que establezca o apruebe la Superintendencia y deberán ser aprobados o certificados a través del medio que establezca ésta.

En las instalaciones de corrientes fuertes accesibles a cualquier persona, se deberá evitar que éstas puedan entrar en contacto con las partes con tensión, ni directamente ni por intermedio de herramientas o instrumentos de uso común.

El proyecto de una línea aérea deberá considerar entre sus exigencias de diseño el minimizar el impacto ambiental y la contaminación visual del entorno. Cuando existan varias soluciones equivalentes desde el doble punto de vista técnico y económico, se dará preferencia a aquella que produzca el mínimo impacto ambiental.

Se evitará, en cuanto sea posible, establecer líneas aéreas de alta tensión en las plazas públicas.

Las Empresas Concesionarias de Servicio Público deberán mantener en buen estado de conservación las líneas aéreas, para lo cual desarrollarán programas periódicos de mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo cuando sea necesario.

3.2.1.2 Clasificación de las instalaciones eléctricas

- **Instalaciones en Baja Tensión:** son aquellas Instalaciones cuya tensión nominal de servicio no es superior a 1000 V.
- **Instalaciones en Media Tensión:** son aquellas Instalaciones cuya tensión nominal de servicio está comprendida entre 1.001 y 35.000 V.
- **Instalaciones en Alta Tensión:** son aquellas Instalaciones cuya tensión nominal de servicio está comprendida entre 35.001 y 300.000 V.
- **Instalaciones en Extra Alta Tensión:** son aquellas Instalaciones cuya tensión nominal de servicio está comprendida entre 300.001 y 750.000 V.

3.2.1.3 Clasificación de las condiciones de operación

Las tensiones normales de operación de las distintas zonas del sistema eléctrico nacional serán:

| | |
|-----------------------------|---|
| Generación | : 13.8 kV. |
| Transmisión | : 154 KV, 220 KV, 400 KV, 500KV. |
| Subtransmisión | : 66 KV, 110KV. |
| Distribución pública | : 13,2 KV, 23 KV, 35 KV. |
| Distribución privada | : 3 KV, 4,16 KV, 5 KV, 6 KV, 8 KV, 13,2 KV, 23 KV y 35 KV. |

3.2.1.4 Clasificación de las líneas aéreas

Para los efectos de la aplicación de la norma las líneas aéreas se agruparán en las categorías que se detallan a continuación:

Categoría A: Las líneas aéreas de baja tensión; aquellas cuyo voltaje nominal entre conductores no excede de 1.000 V.

Categoría B: Las líneas aéreas de alta tensión cuyo voltaje nominal entre conductores no exceda de 25.000 V.

Categoría C: Las líneas aéreas de alta tensión cuyo voltaje nominal entre conductores sea superior a 25.000 V.

3.2.1.5 Protección de las instalaciones

Toda instalación de corrientes fuertes deberá contar con dispositivos de protección que aseguren:

- El mínimo nivel de riesgos compatibles con la tecnología disponible para usuarios y operadores de estas instalaciones.
- La estabilidad de los sistemas o instalaciones de modo de garantizar la continuidad del servicio a los usuarios, exigida por el reglamento eléctrico, en el caso de instalaciones de servicio público o un funcionamiento eficiente en el caso de instalaciones de servicio privado.
- Una adecuada protección a los equipos y canalizaciones constituyentes de estas instalaciones.
- Para garantizar la protección a personas las instalaciones de corrientes fuertes deberán contar con protecciones de sobrecorriente que reaccionen frente a sobrecargas y/o cortocircuitos.
- Cuando la presencia de estos dispositivos no sea garantía suficiente de seguridad, su acción deberá complementarse con disposiciones constructivas

como la instalación de barreras separadoras, rejas de protección o disposiciones equivalentes, compatibles con el entorno en que la situación de riesgo se produzca.

- Para garantizar la estabilidad de los sistemas, las instalaciones de corrientes fuertes deberán contar con protecciones de sobrecorriente que reaccionen frente a sobrecargas y/o cortocircuitos, protecciones residuales, protecciones direccionales, protecciones de distancia que permitan una adecuada separación en zonas de protección y todo otro tipo de protección que indique una correcta aplicación de las reglas del arte.

Hay que dejar claro que todas las medidas de protecciones a la línea antes señaladas, se encuentran en las subestaciones de operación y transformación. Luego, para complementar estas protecciones se deberán instalar sistemas de puesta a tierra locales en cada una de las estructuras.

A este tipo de protecciones la norma las señala como **tierras de protección**, que están destinadas a evitar la aparición de tensiones peligrosas entre las partes de la instalación que normalmente están sin tensión, como por ejemplo las partes metálicas no activas de una línea que opere en alta tensión, que sin pertenecer a un circuito eléctrico, puedan quedar energizadas por fallas que produzcan a través de: un contacto directo, arcos eléctricos, descargas atmosféricas, etc., deberán conectarse a una puesta a tierra de protección.

3.2.1.6 Personal de operación de instalaciones de corrientes fuertes

El personal de terreno que ejecute en forma directa trabajos sobre líneas de corrientes fuertes deberá estar calificado y deberá contar con el entrenamiento adecuado.

Los trabajos en instalaciones de corrientes fuertes, aun cuando no estén con tensión, deberán ser ejecutados por personal calificado y premunido del equipo de seguridad apropiado. El personal no calificado que eventualmente sea empleado para desarrollar labores de apoyo, deberá ser instruido convenientemente por un experto en prevención de riesgos, acerca de los riesgos inherentes al trabajo y al medio en que éste se desarrolle y su labor deberá ser supervisada directamente por dicho profesional.

Los trabajos que sea necesario efectuar sobre líneas vivas, en instalaciones de servicio público, en cualquier nivel de tensión, sólo podrán ser ejecutados por personal propio de la Empresa Concesionaria de Servicio Público; este trabajo no podrá ser delegado en Empresas Contratistas externas.

El personal que desarrolle este tipo de trabajos deberá ser especializado, adiestrado especialmente para estas tareas y deberá estar provisto del equipo adecuado; este equipamiento deberá contar con la aprobación de la Superintendencia. Los responsables de la explotación deberán poner en práctica un programa regular de inspección, pruebas y mantenimiento de dichos equipos para constatar su funcionamiento eficiente y seguro a lo largo del tiempo.

Las Empresas Concesionarias de Servicio Público deberán desarrollar periódicamente programas de calificación y entrenamiento del personal destinado a trabajar tanto en líneas vivas como desenergizadas; dichos programas serán sometidos a la consideración de una comisión compuesta por representantes de la Superintendencia, las Mutuales de Seguridad y Empresas Eléctricas, pudiendo esta comisión modificar los programas, si a su juicio no garantizan su objetivo.

Las Empresas Concesionarias de Servicio Público deberán entrenar tanto a su personal propio como al de sus Contratistas.

Los programas de entrenamiento de personal que actúe en líneas vivas serán diferenciados de los correspondientes al personal que trabaje sobre líneas desenergizadas y ambas funciones serán incompatibles.

Las Mutuales de Seguridad supervisarán el desarrollo de los programas de entrenamiento certificando la calificación del personal que los ha recibido.

3.2.1.7 Autorizaciones de Trabajo

Todo trabajo que se ejecute sobre una línea de corrientes fuertes, sean estas de transmisión, distribución o consumo, de servicio público o servicio privado, deberá ser planificado y ejecutado cumpliendo todos los procedimientos de seguridad que garanticen la ausencia de riesgos para las personas que lleven a cabo estos trabajos, las que puedan ser afectados por el desarrollo de ellos y para el entorno en que dichos trabajos se realicen.

Todo trabajo que se desarrolle sobre una línea de corrientes fuertes deberá ser autorizado por escrito por el profesional de mayor jerarquía a cargo de la operación de la instalación y será supervisado por un profesional con calidad de Instalador Autorizado por la Superintendencia de categoría A.

3.2.1.8 Exigencias de Seguridad para trabajos en Instalaciones en Servicio

En todo trabajo que se realice en instalaciones en servicio de cualquier nivel de tensión, desenergizadas temporalmente, las líneas de alimentación de estas instalaciones se cortocircuitarán, uniendo sólida y seguramente sus conductores activos; además, el punto de cortocircuito se deberá unir a la puesta a tierra de

protección de la instalación o bien a una puesta a tierra temporal, si aquella no es accesible.

En líneas que puedan, bajo cualquier circunstancia, ser reenergizadas por uno o ambos extremos, el cortocircuito y la puesta a tierra mencionados en el párrafo anterior se efectuarán tanto aguas arriba como aguas debajo de la zona de trabajo, de modo que el personal encargado de la faena se encuentre en todo momento entre ambos dispositivos de protección.

La ejecución de la conexión de cortocircuito y la puesta a tierra de las líneas desenergizadas, así como el posterior retiro de ellas, deberán ser autorizadas por el profesional de mayor jerarquía a cargo de la operación de las instalaciones, quien tendrá la responsabilidad de velar por el cumplimiento de las normas de seguridad en el desarrollo del trabajo; en esta función podrá ser apoyado por un experto de seguridad o usará como guía procedimientos de trabajo seguro desarrollados por uno de estos profesionales.

3.2.1.9 Condiciones de Diseño de una Línea Aérea

a) Distancias entre conductores y estructuras

Las distancias mínimas entre un conductor y su estructura de soporte serán las siguientes:

| Tensión de la Línea | Distancia en cm. |
|--|--|
| Más de 1.000 V. y hasta 10.000 V. entre conductores. | 8 |
| Para tensiones más elevadas. | 8 + 0,6 por cada 1.000 V sobre 10.000 V. |

En el caso de conductores suspendidos en cadena de aisladores, las distancias anteriores deberán mantenerse para la desviación máxima que se le pueda esperar para la cadena. La desviación que se considere no será en ningún caso inferior a 30° de la vertical.

b) Separación mínima entre conductores

En las líneas aéreas la separación mínima que se admitirá entre dos conductores desnudos, medida en el centro del vano, será la determinada por las expresiones de cálculo siguientes:

| Separación mínima entre dos conductores desnudos | |
|---|--|
| Separación en metros | Condición |
| $0,36 \times v(F) + kV / 130 + 0,5 \times C$ | Para conductores de sección igual o superior a 33 mm ² , con sobrecarga de hielo. |
| $0,60 \times v(F - 0,6) + kV / 130 + 0,5 \times C$ | Para conductores de sección inferior a 33 mm ² , con sobrecarga de hielo. |
| $0,20 \times v(F) + kV / 130 + 0,5 \times C$ | Para conductores de sección igual o superior a 33 mm ² , sin sobrecarga de hielo. |
| $0,36 \times v(F - 0,6) + kV / 130 + 0,5 \times C$ | Para conductores de sección inferior a 33 mm ² , sin sobrecarga de hielo. |

Los términos utilizados en las expresiones de cálculo tienen el significado que se indica a continuación:

- F = Flecha aparente en metros, del conductor a 30°C, de temperatura y sin sobrecarga. Se tomará a lo menos igual a un metro. Por flecha aparente se entiende la distancia entre la línea de los apoyos y la tangente al conductor paralela a ella.
- KV = Tensión nominal entre los conductores considerados en Kilovolts.

- C = Longitud en metros de la cadena de aisladores de suspensión. En el caso de usar aisladores rígidos o cuando se trata de cadenas de anclaje, se tomará $C = 0$.

c) Distancias mínimas de conductores al suelo

La altura mínima de los conductores sobre el suelo, a una temperatura de 30°C, y con el conductor sin sobre carga, será la indicada en la siguiente tabla:

| Lugar | Distancia medida verticalmente (m). | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------|-------------|---------------|---------------------|
| | Categoría A | | Categoría B | | Categoría C |
| | Entre fases | Fase - Neutro | Entre fases | Fase - Neutro | Entre fases |
| Regiones poco transitadas (montañas, praderas, curso de agua no navegable). | 5 | 4,6 | 5,5 | 4,6 | 5,0 + 0,006 por kV. |
| Regiones transitables (localidades, caminos principales, calles y plazas públicas). | 5 | 5 | 6 | 5,5 | 6,5 + 0,006 por kV. |
| En cruce de caminos y calles. | 5,5 | 5,5 | 6 | 5,5 | 6,5 + 0,006 por kV. |

En el caso de canales o cursos de aguas navegables, la altura de los conductores deberá ser tal que permita el libre paso de las embarcaciones que puedan circular por aquellos.

d) Distancias a edificaciones existentes

La separación entre un edificio o construcción y el conductor más próximo de una línea aérea, de cualquier categoría, deberá ser tal que no exista peligro para las personas de entrar en contacto con dicho conductor. Por lo tanto, las separaciones mínimas permisibles son las siguientes:

| | |
|-------------------------------|--|
| Líneas de categoría A: | 1,30 m, hasta 1 kV. |
| Líneas de categoría B: | 2,00 m, hasta 25 kV. |
| Líneas de categoría C: | 2,50 m. + 1 cm. por cada kV. de tensión nominal en exceso sobre 26 kV. |

Si en toda la extensión de la zona expuesta no existieran vanos o disposiciones de arquitectura normalmente accesibles, las distancias especificadas anteriormente podrán reducirse en 50 cm.

Para todo efecto de las distancias mínimas consideradas en los párrafos anteriores, para aquellas líneas que estén sostenidas sobre aisladores del tipo flexible, se debe considerar una desviación, por efecto del viento, respecto a la vertical del aislador y por ende del conductor en un ángulo no inferior a 30 ° centesimales.

Además no podrán construirse líneas aéreas de cualquier categoría sobre edificios existentes, ni proyectar construcciones bajo líneas aéreas.

3.2.1.10 Otras consideraciones

El trazado de las líneas de corriente fuerte será de preferencia rectilíneo, en zonas libres de obstáculos y se preocupará que la vigilancia y mantenimiento de ellas quede asegurada por la facilidad de acceso a sus distintos puntos. En caso de que a través del trazado se encuentre la presencia de árboles se adoptarán las medidas siguientes:

- Los árboles que están en la proximidad de líneas aéreas en conductor desnudo, deben ser o derribados o bien podados periódicamente para evitar el contacto entre las líneas y el ramaje de éstos.
- En las líneas de categoría B, la distancia entre los conductores y los árboles vecinos deberá ser tal que no haya peligro de contacto entre dichos árboles y los conductores. En todo caso las personas que eventualmente puedan subir

a ellos no deberán correr peligro de tener contacto accidental con los conductores.

- En las líneas rurales de categoría B la distancia entre los conductores y los árboles vecinos será por lo menos de 5 m, salvo que la altura de los árboles exija una distancia mayor. En casos de divergencias resolverá la Superintendencia.
- En las líneas de categoría C, la distancia entre los conductores y los árboles vecinos será igual a la altura de los árboles, pero no inferior a 5 m.
- Se permite la existencia de árboles frutales debajo de las líneas de las categorías B o C, siempre que las características de crecimiento y su manejo por parte del propietario garanticen que su altura no sobrepase 4 m sobre el suelo.

3.2.2 Norma de cruces y paralelismos de líneas eléctricas NSEC 6 E.n. 71

3.2.2.1 Generalidades

Este reglamento tiene por objeto fijar las normas para la ejecución de cruces y paralelismo que se establezcan en el futuro, y para el mejoramiento o modificación de los existentes.

Se entiende por paralelismo, el de líneas vecinas que siguen más o menos la misma dirección, aún cuando sus trazados no sean rigurosamente paralelos.

Se entiende por cruce el punto donde los trazados de líneas diferentes se cortan. La línea que pasa por encima de la otra se designa por línea superior, y sus soportes más cercanos al punto del cruce por soportes de la línea superior.

Cuando un concesionario quiere ejecutar o modificar líneas que se encuentran con otras existentes o con vías férreas, debe advertir previamente por escrito a los propietarios de estas últimas, para así fijar de común acuerdo las medidas pertinentes

para prevenir las posibles perturbaciones y peligros. Los costos inherentes a las modificaciones que deban hacerse en las líneas existentes serán de exclusiva responsabilidad de la empresa que ejecute los nuevos trabajos.

3.2.2.2 Paralelismo entre líneas de corrientes fuertes y corrientes débiles

En general, las líneas de corriente débil y las líneas corrientes fuertes de trazados paralelos se instalarán sobre soportes distintos. La distancia lateral debe ser tan grande como lo permitan las condiciones locales y el diseño racional de las líneas a construir.

En el caso de paralelismo de líneas de corriente fuertes con pequeño efecto perturbador, se adoptará como regla general, una distancia horizontal de por lo menos 20 m. entre los conductores más cercanos de ambas líneas. En caso de que se produzcan paralelismos cortos esta distancia puede ser reducida, siempre y cuando se asegure total estabilidad a la línea de corriente débil.

En caso de que el paralelismo ocurra a lo largo de una vía pública, se tratará en lo posible colocar una línea a cada lado esta.

3.2.2.3 Cruce de líneas de corrientes fuertes y corrientes débiles

Cuando sea necesario realizar cruce de líneas corrientes fuertes y líneas de corrientes débiles, se debe en lo posible pasar los conductores de corriente fuerte por encima de los de corriente débil, dichos cruces deben efectuarse en un ángulo de corte nunca inferior a 15° y este debe proyectarse lo más cercano a la estructura de soporte de la línea superior, teniendo la precaución de que los conductores de la línea inferior no se acerque más de 1,5 m. en la horizontal a la estructura de soporte de la línea superior.

La distancia vertical entre conductores de corrientes fuertes y corrientes débiles, no debe ser inferior a la indicada en la siguiente tabla:

| Distancia vertical entre conductores (m) | Condición de la línea |
|---|--|
| 0,8 | Para líneas de baja tensión, con conductor y neutro. |
| 1,2 | Para líneas de baja tensión trifásicas. |
| 1,8 + 1 cm./kV. (sobre los 10 kV). | Para líneas superiores a los 10.000 V. |

En el caso que la distancia horizontal entre el punto de cruzamiento y la estructura de soporte más cercana de la línea superior, supere los 50 m., las distancias indicadas en tabla anterior deberán ser incrementadas en 3 mm. por cada metro en exceso por sobre los 50 m.

3.2.2.4 Paralelismo entre líneas de corrientes fuertes

En caso de paralelismo sobre soportes comunes de líneas de corrientes fuertes de tensiones diferentes los conductores de mayor tensión deberán, como regla general, colocarse por encima de los otros. Cuando esta disposición presente dificultades técnicas se podrá como excepción proceder en forma inversa siempre y cuando se trate de líneas de alta tensión.

Cuando dos líneas de corrientes fuertes de empresas distintas, tiendan a ser paralelas en un tramo no superior a 60 m., la distancia horizontal entre los conductores más cercanos de ambas líneas debe ser como mínimo de 2 m. En el caso de que el paralelismo supere los 60 m. la separación horizontal deberá ser aumentada en 2 cm. por cada metro en exceso por sobre los 60 m. Estas distancias pueden reducirse si los conductores de una de las líneas están proyectados a una altura tal que para condiciones de flecha máxima, se encuentren más elevados que los de la línea vecina, eso si considerando siempre las distancias mínimas indicadas en la norma de corrientes fuertes.

3.2.2.5 Cruce de líneas aéreas de corrientes fuertes

Se recomienda evitar en lo posible el cruzamiento de líneas aéreas de distintas empresas. Cuando se trate de cruces de líneas aéreas de alta tensión con baja tensión, se deberá proyectar la línea de alta tensión por sobre la de baja tensión.

El paso de líneas de baja tensión por sobre las de alta tensión, sólo se admite, si por razones técnicas o gastos exagerados, se imposibilita utilizar la alternativa indicada anteriormente. Cuando se tome esta alternativa los conductores de la línea de baja tensión en el tramo en cuestión deberán responder a exigencias mecánicas superiores a las requeridas en condiciones normales, además se prohíbe usar uniones en este vano para la línea de baja tensión.

En los cruces de líneas aéreas de corrientes fuertes, la distancia horizontal que debe mantenerse entre los conductores de la línea inferior y las partes más cercanas de los soportes de la línea superior debe ser por lo menos de:

$(1,5 + F / v(2))$ en metros, si la línea inferior es una línea de baja tensión.

$(1,5 + F / v(2) + kVi / 170)$ en metros, si la línea inferior es una línea de alta tensión.

Donde:

F: representa la flecha aparente del conductor más cercano al soporte de la línea superior, medida en el punto de cruzamiento de los conductores.

KVi: representa el voltaje de la línea inferior en kilovoltios.

Los cruces de líneas aéreas deben, como regla general, establecerse en la proximidad de uno de los soportes de la línea superior.

La distancia vertical entre los conductores más cercanos de la línea de corrientes fuertes que se cruzan en tramo libre no debe ser inferior a los valores siguientes:

| Distancia vertical entre conductores (m) | Condición del cruce |
|---|---|
| 1 | Para líneas con tensión hasta 1 kV. |
| $1,5 + (kVs + kVi) / 170$ | En caso de que una de las líneas supere los 1.000 voltios de tensión. |

Kvs: Kilo voltios entre fases de la línea superior.

Kvi: Kilo voltios entre fases de la línea inferior.

Si la distancia entre el punto de cruzamiento y la estructura más cercana de la línea superior es mayor a 50 m., las distancias indicadas en el párrafo anterior se deben aumentar en 3 cm. por cada metro en exceso sobre los 50 m.

CAPITULO IV

4.0 Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica¹⁵

En este capítulo se entregará información al lector, en forma general, de cómo debe enfrentarse a trabajos de construcción de líneas de transmisión eléctrica, esto se refiere a las obras civiles, montaje y tendido de conductores. Es necesario complementar este manual con las actividades anexas a la construcción propia de la línea, tales como, construcción de caminos de acceso a la faena y la franja de servidumbre que ocupará el trazado de la línea, lo anteriormente expuesto se llevará a cabo por medio de una metodología basado en procedimientos utilizados en faenas de esta naturaleza.

4.1 Convenios y relaciones con propietarios y terceros afectados durante trabajos de construcción de líneas de transmisión

El alcance que se busca al incluir este tema en esta memoria, es informar sobre las relaciones que debe mantener el contratista con los propietarios de los predios afectados por la ejecución de las obras del contrato y el uso de los derechos y servidumbres adquiridos por la empresa dueña de línea u otorgada a ella por la legislación vigente.

El contratista deberá organizar los trabajos de tal forma que se minimicen los daños en los predios afectados con la construcción de las obras.

Los costos de la franja servidumbre, definida en los planos del proyecto, serán responsabilidad de la empresa mandante y no del contratista, a menos que se

¹⁵ La información contenida en este capítulo ha sido extraída principalmente de la experiencia del Tesista en el proyecto: línea de interconexión 1x220 kV. entre la subestación transformadora Arauco - Sistema Interconectado Central y el proyecto de Transición Ujina-Rosario, en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, complementada con las especificaciones técnicas generales de ENDESA y TRANSELEC.

trate de una línea a concesión. En caso, de que el mandante no llegase a acuerdos con los propietarios, se deberá tomar las acciones permitidas por la Ley General de Servicios eléctricos, para obtener el acceso a los predios en cuestión y el libre ejercicio de sus derechos.

La inspección deberá entregar al contratista una lista de todos los predios afectados y sus correspondientes propietarios, como también los alcances de los convenios derivados en el contrato suscrito con ellos. El alcance de los convenios suscritos entre la empresa mandante y los propietarios de los predios, afectados por la franja de servidumbre, cubrirá en general los derechos que otorga la Ley General de Servicios Eléctricos al concesionario, para establecer, operar y explotar líneas de transporte de energía eléctrica; en algunos casos, estos contendrán limitaciones fijadas por el propietario, las cuales deberán ser respetadas por el contratista. En caso de que el contratista no acate estos convenios, los daños y perjuicios serán de su exclusiva responsabilidad.

Para estos efectos, tales convenios abarcarán solamente la franja de servidumbre definida en los planos del contrato, por lo que el contratista sólo podrá efectuar trabajos indispensables para la ejecución propia de las obras del contrato, y no está autorizado a hacer uso de la franja de servidumbre para asentamiento de campamentos u otras instalaciones accesorias, excepto que por su cuenta convenga con el propietario la ocupación de terrenos para estos efectos.

Cuando la franja de servidumbre quede lejos de los caminos de uso público, será responsabilidad del contratista llegar a acuerdos con los propietarios para construir dichos accesos y los costos de estos serán absorbidos por éste.

Durante la ejecución de los trabajos de construcción de la línea y cuando se deban intervenir otras líneas de propiedad de terceros, cruces de caminos públicos o particulares, vías férreas, líneas de tensiones menores, líneas telefónicas, el

contratista deberá solicitar permiso para intervenir en ellas y acordar las fechas y horarios en que podrán realizarse los trabajos, para de esta manera, minimizar perjuicios a los propietarios o usuarios de estos servicios. Se deberá dejar claramente establecido que los costos ocasionados por los daños en las instalaciones intervenidas serán de exclusiva responsabilidad del contratista. Además, cuando se trate de intervenir instalaciones energizadas, como es el caso de sub-estaciones, se deberá solicitar autorización mediante una carta a los responsables del área, confeccionar un permiso de trabajo seguro (PTS), detallando los responsables de las maniobras, los trabajos que se realizarán y los riesgos asociados a éstos.

4.2 Roce y despeje de franja de servidumbre

Para todos los trabajos relacionados con el roce y despeje de la franja de servidumbre, el contratista deberá respetar estrictamente todas las normas vigentes tanto ambientales, forestales, sanitarias y de seguridad.

El contratista deberá previo a los trabajos, demarcar esta franja de roce, basándose en las indicaciones dadas en los planos del contrato y la aprobación de la inspección. También se deberán marcar aquellos árboles, que aún estando fuera de la zona del roce, representen peligro para los conductores de la línea.

Dentro de esta franja está autorizada la tala de árboles y arbustos cuyas alturas superen los 4 m., en caso de quebradas donde la distancia de la copa de los árboles al conductor, considerando su flecha máxima, supere los 15 m. se deberá evitar el roce de éstos. En sectores donde serán montadas las estructuras se despejará la vegetación tanto alta como baja, las dimensiones mínimas exigidas son 30 m. x 34 m., en las estructuras de anclaje y 15 m. x 15 m., en las estructuras de suspensión. Para los efectos de respetar las normas forestales, la vegetación a cortar, se clasificará en dos grupos:

a) Plantaciones

Las plantaciones están constituidas por pino insigne, álamo, eucalipto, etc., y serán cortados a nivel de sus troncos y tomando en cuenta su rápido crecimiento, por lo que se les aplicará productos químicos para producir la muerte del tocón y raíces.

b) Vegetación nativa

Los árboles y arbustos clasificados dentro de la categoría de nativos, sólo se cortarán cuando superen los 4 m. de altura, pero se tendrá la precaución de que su corte sea tal que deje un tocón de entre 30 y 40 cm. de altura, y no se aplicarán productos químicos para facilitar su nuevo crecimiento, por considerarse especies que tardan muchos años en crecer.

El propósito de dejar los troncos y raíces, es para evitar procesos de erosión que puedan comprometer la estabilidad tanto del terreno como de las estructuras que se montarán.

4.3 Medidas de protección contra incendios forestales

A continuación se entregarán en forma general algunas pautas a seguir para evitar percances en faenas de roce:

- Se deberá instruir al personal a cargo de las faenas, sobre los riesgos que implican éstas y las nociones básicas respecto al comportamiento del fuego y los métodos de combate de incendios forestales.
- Considerando que en faenas de roce es necesario utilizar motosierras, las que usan para su funcionamiento combustibles altamente inflamables, se deberá instruir la personal sobre su traslado, manipulación y adecuado almacenamiento, esto implica que deberán ser trasladados a los puntos de faena en recipientes de volumen pequeño y seguro, y las recargas de las

motosierras deberán hacerse en lugares desprovistos de vegetación en un radio no menor a 10 m. y cuidando de producir derrames de combustible.

- Los trabajadores involucrados en las tareas de roce, tienen prohibido fumar durante la ejecución de los trabajos en sectores con vegetación cercana y por ningún motivo podrán encender fogatas en el área comprometida.
- El personal responsable de la supervisión deberá tener consigo equipos de comunicación, con el propósito de informar de inmediato cualquier emergencia que se pudiese producir durante las faenas.
- Dentro de las organización del contratista, se deberá contar con un experto en prevención de riesgos, este profesional tendrá por misión recibir información de las cuadrillas de los distintos frentes, instruirlos, coordinar con personal de CONAF, para solicitar la participación de brigadas profesionales de combate de incendios, con el fin de proceder de una forma efectiva en caso de producirse una emergencia.
- El personal que trabaje en la franja de servidumbre, deberá estar equipado con las herramientas propias para efectuar las tareas encomendadas y con herramientas básicas para un combate inicial de un incendio. Estas deberán encontrarse en los vehículos, en cajas seguras, de modo que puedan ser usadas de inmediato ante cualquier emergencia.
- Todos los desechos del tipo vegetal, deberán ser apilados ordenadamente para luego ser retirados a lugares provistos por el propietario, queda prohibido la quema de éstos en los lugares de la faena.
- En caso de producirse un siniestro, el personal más cercano dará aviso de inmediato a sus supervisores, entregando los antecedentes que sean necesarios, tales como el tipo de combustible que se está quemando, la cantidad y los recursos amenazados, disponibilidad de agua en la zona para el combate del fuego, vías de acceso y evacuación y estimación de la

superficie afectada hasta el momento, y en especial si se requiere de más personal para el combate.

- El personal que se encuentre fuera del radio de peligro deberá acudir de inmediato construyendo una línea de control del fuego. La persona encargada de coordinar este tipo de emergencias deberá dar aviso de inmediato a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), para que esta institución tome conocimiento de lo que sucede y haga las evaluaciones necesarias, una vez que se haga presente personal de CONAF en el área, todo el personal del contratista se pondrá bajo las ordenes de ellos.

Todas las recomendaciones anteriores deberán estar plasmadas en los documentos generados, previo a la ejecución de cualquier trabajo (procedimientos de trabajo seguro, análisis de riesgo de trabajo, permisos de trabajo).

4.4 Construcción de cercos en franjas de servidumbre

En caso de que los árboles o arbustos rozados constituyan cercos naturales de separación de potreros o predios, o en cualquier lugar que se hayan eliminado cercos existentes, el contratista deberá reponerlos por cercos de estacas y alambre de púas.

Las estacas tendrán una escuadría no menor a 3" x 3" y 2.2 m. de altura, las cuales serán enterradas 80 cm., y a una separación no mayor a 2.5 m., con cuatro corridas de alambres de púas. En caso de ocurrir daños por la no oportuna reposición de estos cercos, éstos serán de responsabilidad del contratista.

4.5 Caminos de accesos a líneas de transmisión

Todos los caminos de acceso, tanto a la línea como a las torres, serán de responsabilidad del contratista, por lo que deberá tener todos los permisos necesarios para la ejecución de ellos y la aprobación de la Inspección. Estos caminos podrán derivar tanto de la carretera, caminos de interiores de uso público o privado.

Los caminos de acceso, deberán contar con todas las obras necesarias, puentes, alcantarillas, badenes, drenajes y además portones de acceso, para asegurar la calidad mínima para el transporte sin riesgo del personal, equipos y materiales, a los frentes de trabajo. También se debe tener la precaución de que la construcción de estos caminos no signifiquen un riesgo a la estabilidad de la torres, producto de la erosión del suelo por el escurrimiento de las aguas superficiales, sobre todo si éstas están ubicadas en laderas.

El contratista deberá hacer los trámites correspondientes con los dueños de caminos interiores, respecto al uso de éstos durante el período de faenas, y al terminarlas deberá entregarlo en las mismas condiciones o mejores que como los encontró al comienzo de ésta.

4.6 Replanteo topográfico

4.6.1 Aspectos generales¹⁶

La topografía abarca un conjunto de técnicas de las cuales sólo algunas son utilizadas para el replanteo en una obra de ingeniería, en mucho de los casos estas técnicas son generalmente sencillas, pero no quita que se apliquen con el máximo rigor científico, puesto que el resultado incidirá en gran medida en el posicionamiento final de los diversos elementos geométricos proyectados. La experiencia profesional

¹⁶ La información contenida en este punto ha sido extraída principalmente de: De Corral, Ignacio, Manuel de Villena (1994).

ha enseñado que un replanteo mal ejecutado y erróneo puede afectar tanto en el costo económico, como retrasar la ejecución normal y menguar la calidad final de las obras.

Con respecto a las técnicas propuestas, con el correr de la historia de la topografía, existen muchas que al paso de los años se han vuelto obsoletas, pero es de vital importancia su estudio, ya que pueden ser utilizadas en casos concretos. Por otra parte, un profesional debe manejar todos los recursos que estén a su alcance para resolver cualquier problema que se le presente con soluciones rápidas y eficaces, ya sea con los modernos equipos o con los clásicos y modestos utilizados en el pasado.

Con respecto al concepto de replanteo, este es la materialización en el terreno, en forma adecuada e inequívoca de los puntos básicos que van a definir un proyecto, se entenderá por proyecto como el conjunto de documentos escritos, numéricos y gráficos (planos), que se utilizan para construir una obra de ingeniería.

Los puntos básicos a los cuales se hace mención, son aquellos puntos mínimos necesarios para definir los elementos que conforman el proyecto y que se desean replantear, en otras palabras son puntos de apoyo o de referencia (P.R.), los cuales en algunos casos se encuentran físicamente en terreno, ya sea materializados con estacas de madera o monolitos de hormigón, donde se indican sus coordenadas y cota, estos datos también aparecerán en los planos básicos de ingeniería, por lo cual antes de comenzar un replanteo y apoyarse en estos puntos básicos, se debe realizar un chequeo de éstos, para comparar los datos de los planos vs los reales u obtenidos en terreno.

Para finalizar con el concepto de replanteo, podemos decir que este es la operación inversa del levantamiento, ya que en este último tomamos datos del terreno para confeccionar un plano, en el replanteo tomamos datos de un plano para situarlos

sobre el terreno, por lo que podemos concluir que el replanteo tiene por finalidad emplazar sobre el terreno aquellos elementos distribuidos en un plano y controlar su ejecución hasta que éstos estén terminados.

Para realizar un trabajo de replanteo es necesario utilizar varios tipos de instrumentos, dependiendo de los trabajos a realizar y de la precisión que estos demanden, variará la tecnología que se utilice, entre los instrumentos más conocidos para la medición angular se encuentra el taquímetro; para las medidas lineales los más conocidos son las huinchas métricas y los distanciómetros, aunque parece anticuado hablar de cintas métricas hoy en día existiendo métodos más sofisticados para realizar medidas lineales, aun se utilizan y muchas veces con mayores garantías que los aparatos electrónicos que existen en el mercado, además el costo es una razón de peso para que sigan vigentes a pesar de los avances tecnológicos.

También los hay combinados como las estaciones o sub-estaciones totales, éstas van en función de que el teodolito y el distanciómetro estén integrados en un sólo aparato o no, el uso de un tipo de instrumento u otro va a depender directamente de los recursos económicos disponibles por parte de la empresa y de la precisión que se desee.

Los equipos del tipo electrónico como lo son las estaciones y sub-estaciones totales, tienen una ventaja comparativa con respecto a los convencionales, debido a su tratamiento informático, esto se debe que estos aparatos vienen con software incorporados, con lo que los datos al ser almacenados en una libreta electrónica, contenida en el equipo, permite traspasarlos a un ordenador normal, con lo que se evitan errores de lectura y transcripción de los datos obtenidos, y además nos permite modelar la información en forma rápida y precisa en el ordenador para poder darnos cuenta a tiempo de posibles errores los trabajos ejecutados.

En la verificación de cotas de los puntos se utiliza comúnmente los niveles del tipo clásico o mecánicos, pero si se desea mayor precisión en las lecturas utilizaremos equipos automáticos o de precisión.

También queremos mencionar algunas variables que pueden alterar los trabajos en un replanteo, como la escala de los planos bases, errores en los acotamientos en estos, la calidad de impresión de los planos, características topográficas del terreno, el mal uso de los instrumentos disponibles y errores de lectura y transcripción de datos, por lo que es de vital importancia ante cualquier duda revisar bien la información con la que se cuenta, para evitar pérdidas de tiempo y costos innecesarios.

4.6.2 Trabajos propios de replanteo en líneas de transmisión

Una vez adjudicada la propuesta la empresa contratista recibirá un juego de documentos, como planos, memorias y especificaciones técnicas del proyecto, muchos de estos documentos son de carácter de licitación, otros emitidos para aprobación y otros aprobados para construcción, con estos últimos es que se tiene la base para poder comenzar las labores, mientras los demás siguen su proceso hasta llegar a ser aprobados para poder construir, es aquí donde el primer equipo humano que entra en acción es el de topografía, son los que materializan los puntos donde se fundarán las futuras estructuras, además será responsabilidad de este equipo determinar si los puntos indicados en los planos básicos, emitidos por ingeniería, son correctos, o si es necesario realizar modificaciones, debido a incongruencias de lo proyectado con lo existente en terreno.

Como se había mencionado anteriormente, en todo proyecto de ingeniería existen puntos de apoyo (P.R.), a los cuales se amarrará el topógrafo encargado de realizar los trabajos de replanteo del proyecto, estos puntos tienen sus coordenadas y cotas respectivas, con lo que se deberá hacer el chequeo previo antes de comenzar a

fijar los puntos de las estructuras, una vez terminado el chequeo y aprobado por la inspección se autoriza comenzar a replantear la línea.

Las líneas de transmisión cuentan con tramos rectos y deflexiones, en adelante las deflexiones las denominaremos vértices, a estos puntos de la línea se les considerará inamovibles en la ejecución del proyecto, a menos que por causas justificadas y previa aprobación de la inspección se autorice su desplazamiento, eso si en lo posible evitando cambios al proyecto original, esto se refiere a aumentos de obras y materiales.

El departamento de topografía de la empresa contratista a cargo de la ejecución deberá definir, previo a la ejecución de las labores de replanteo, las directrices de cómo se controlarán los trabajos con la inspección, generalmente se define que una vez replanteado un tramo entre vértices se generará un protocolo, que contendrá la información necesaria para individualizar cada estructura contenida entre estos, esto quiere decir número y tipo de estructura, coordenadas Norte, Este, Cota, distancia parcial y acumulada, todo esta información debe ir comparada con la teórica, este protocolo será enviado a aprobación de la I.T.O. y una vez dado el visto bueno, recién se dará la aprobación para comenzar con la etapa siguiente.

El equipo de topografía a cargo del replanteo deberá colocar en los puntos de cada estructura proyectada una estaca, de ahora en adelante estaca central, la que deberá estar rotulada con cota, número y tipo de estructura que a futuro se fundará en ese lugar, será de exclusiva responsabilidad del contratista mantener estas estacas durante toda la ejecución de obras civiles correspondientes a las fundaciones. Por lo general, esta estaca es un monolito de hormigón de cara superior de 20x20 cm. para los vértices y debe quedar no más de 10 cm. por sobre el terreno natural y estacones de madera de escuadría 3x2" ó 2x2" para las estructuras de suspensión.

El contratista deberá tener una oficina técnica, en la que se encuentran todos los documentos del proyecto para ser consultados por los responsables de terreno, entre ellos una planera con todos los documentos gráficos (planos) de la construcción de dicha línea en su última versión, por lo que el profesional encargado de la topografía está obligado a indicar cualquier modificación hecha en terreno, con respecto al proyecto, se recomienda que las modificaciones sean hechas con un lápiz de color rojo, además el responsable deberá indicar sus iniciales y la fecha en que los ejecutó, ya que estos cambios deberán estar reflejados al finalizar el proyecto en los planos AS-BUILT y que se deberán entregar al mandante, también será necesario indicar si en el terreno hubieran caminos, canalizaciones, líneas eléctricas, cruces de ríos, etc., que no aparecieran en los planos básicos del proyecto.

Una vez aprobado por la inspección el tramo protocolizado, se podrá continuar las faenas de trazado de las excavaciones, en las cuales uno de los ejes de ésta coincide con el eje longitudinal de la línea y el otro es perpendicular a éste, para el caso de las estructuras de suspensión, en el caso de las excavaciones para estructuras de anclaje, uno de los ejes coincidirá con la línea del ángulo bisector de la deflexión que en este punto sufre el trazado y el otro es perpendicular a éste, para estos trabajos el topógrafo deberá apoyarse con estacas auxiliares que saldrán a partir de la estaca central materializada en el replanteo.

4.7 Tolerancias en la ubicación de las estructuras

El contratista deberá ubicar la estaca central de cada estructura dentro de la tolerancia y requisitos mínimos que se indican a continuación:

- La variación máxima de la distancia longitudinal, entre una estructura y cualquiera de los vértices del tramo en cuestión con respecto a lo indicado en los planos del perfil longitudinal del proyecto, será de ± 1 m. siempre y

cuando la cota del terreno en la nueva ubicación de la estaca central no quede más de 0.2 m. por debajo de la ubicación original.

- La variación máxima de la longitud de vanos, no deberá exceder de 0.2 m., con respecto a lo indicado en los planos de perfil longitudinal del proyecto.
- Las tolerancias antes mencionadas, no son aplicables a los vértices de la línea, por lo tanto el contratista deberá considerarlos como inamovibles.
- En caso que con las limitaciones y condiciones que se indican en las especificaciones y otros documentos del contrato no se encuentre una ubicación satisfactoria, el contratista deberá comunicarlo a la I.T.O. y propondrá una solución de acuerdo a su experiencia.
- En general las estructuras deberán quedar fundadas en terreno firme y estable, sin peligro de alteración posterior del terreno de fundación.

Las estructuras deberán ubicarse de modo que ninguna parte de ellas quede a una distancia inferior a la indicada en los casos que se enumeran a continuación:

- | | |
|--|---------|
| a) Borde de río, arroyo o curso de agua. | : 50 m. |
| b) Borde de barrancos, terrenos inestables o comienzo de zanjas con peligro de erosión. | : 30 m. |
| c) Cerco de camino de tierra o sendero (al no existir cerco, se deberá considerar un ancho de camino de 10 m.). | : 10 m. |
| d) Cerco camino regional. | : 20 m. |
| e) Cerco camino nacional. | : 35 m. |
| f) Vías férreas, al riel más próximo. | : 20 m. |
| g) Cerco divisorio de cualquier tipo. | : 5 m. |
| h) Conductores, estructuras y otros elementos de líneas de comunicación. | : 10 m. |
| i) Conductores, estructuras y otros elementos de líneas de corrientes fuertes de cualquier tensión. | : 15 m. |

Una vez terminados los trabajos de trazado de fundaciones y al igual que en el caso anterior, aprobados por la inspección de obras, se procede a comenzar los trabajos de excavación para las fundaciones.

4.8 Excavaciones para fundaciones

4.8.1 Tipos de suelos según clasificación ENDESA

Los suelos en los cuales quedarán fundadas cada una de la distintas estructuras componentes de la línea, se clasificarán según uno de los 7 tipos de suelos que a continuación se describen, cualquier tipo de suelo distinto se deberá indicar en las especificaciones técnicas particulares, o en los planos del contrato.

- **Suelo tipo 1:** Roca sana, moderadamente agrietada, que puede estar cubierta por una capa de suelo de cualquier otro tipo de un espesor no mayor de 1.5 m. o los dos tercios de la profundidad de la excavación.
- **Suelo tipo 2:** Roca muy agrietada, roca parcialmente descompuesta, gravas o arenas limpias o con finos, pero cementados, que pueden estar cubiertas por una capa de suelo tipo 3 o 4 de un espesor no mayor de 1.5 m. o los dos tercios de la profundidad de la excavación. Nivel estático máximo de la napa de agua bajo el sello de fundación.
- **Suelo tipo 3:** Roca totalmente descompuesta de consistencia firme, gravas limpias de compacidad media y alta, gravas arcillosas o limosas firmes, que pueden estar cubiertas por una capa de suelo tipo 4, de un espesor no mayor de 1.5 m. o los dos tercios de la profundidad de la excavación. Nivel estático máximo de la napa bajo el sello de fundación.
- **Suelo tipo 4:** Roca completamente descompuesta de consistencia media, gravas limpias y sueltas, arenas, gravas finas y arenas arcillosas o limosas,

limos o arcillas de consistencia media o firme. Nivel estático máximo de la napa bajo el sello de fundación.

- **Suelo tipo 5:** Corresponde a un suelo del tipo 2, cubierto por una capa de otro tipo de suelo, de un espesor no mayor de 1 m. o la mitad de la profundidad de la excavación. Nivel estático máximo de la napa de agua a cota de fundación o sobre esta.
- **Suelo tipo 6:** Suelos tipo 3 o 4, con nivel estático máximo de la napa de agua a cota de sello de fundación o sobre esta, los que pueden estar cubiertos por otro suelo de un espesor no mayor de 1 m. o la mitad de la profundidad de enterramiento de éstas.
- **Suelo tipo 7:** Arenas arcillosas o limosas y limos o arcillas de consistencia media o blanda. Nivel estático máximo de la napa de agua a cota de sello de fundación o sobre ella.

Por lo general, de acuerdo a los estudios geotécnicos realizados en la trayectoria de la línea a construir, se diseñan estructuras para dos grupos de suelos, considerando siempre el suelo de capacidad de soporte más desfavorable, esto implica que en los planos diseñados por ingeniería vendrán dos tipos de fundaciones para las estructuras de anclaje y dos para las estructuras de suspensión, con lo que se deja a criterio tanto de inspección, como de la empresa contratista de definir que tipo de fundación se utilizará en cada caso, de acuerdo a la estratigrafía observada en terreno. Esto se debe a que entre una calicata y otra puede existir un cambio considerable del tipo de suelo.

En caso de que alguna estructura quedase apoyada en suelos de baja capacidad de soporte que no pueda incluirse, a juicio de la inspección, en esta clasificación deberán realizarse los estudios necesarios para definir la capacidad de

soporte del suelo y posteriormente efectuarse el diseño de una fundación especial que satisfaga las condiciones de estabilidad requeridas.

4.8.2 Tipos de fundaciones

a) Fundaciones normales

Son aquellas fundaciones que quedarán apoyadas en algunos de los tipos de suelos descritos anteriormente, en las especificaciones técnicas particulares o en los planos del proyecto, también se incluyen en este grupo aquellas fundaciones normales, que debido a condiciones locales del terreno, es necesario modificar su diseño para adaptarlas.

b) Fundaciones especiales

Son aquellas fundaciones que quedarán apoyadas en un suelo que no cabe dentro de la clasificación de suelos para fundaciones normales, ya sea por baja capacidad de soporte de este o por sugerencia directa de la Inspección.

También se les considerará como fundaciones especiales cuando una estructura quede muy cerca del cruce de un río, por lo que se considera un riesgo de socavaciones del terreno, por esta razón se deberán diseñar fundaciones especialmente para este caso, tomando en cuenta las máximas crecidas de las aguas.

4.8.3 Preparación de la superficie de fundación

Previo a la construcción e instalación de las fundaciones, se deberá realizar en cada ubicación de éstas la limpieza del terreno, la que consiste en la remoción de la capa vegetal y demás elementos que entraben las operaciones propias de las excavaciones.

En caso de hacerse necesario se deberá nivelar el terreno para apoyar la estructura, esto deberá realizarse de manera tal que no se alteren las condiciones de drenaje superficial y no dejar zonas que a futuro comprometan la estabilidad de la estructura, además se debe tener en cuenta las tolerancia indicadas para la ubicación de la cota de la estaca central.

Cuando las patas de la estructura queden en pendientes suaves y no se considere estructuras de patas distintas, se deberá cortar el terreno para evitar demasiado movimiento de tierra en la excavación, y luego al rellenar se llegará a la cota de terreno final proyectada, esto implica que se deberá tomar una cota media para excavar, entre la estaca central que controla los niveles de sello de fundación y los desniveles propios de la patas a fundar.

4.8.4 Consideraciones previas a las excavaciones

Toda excavación para una torre de alta tensión debe cumplir con el siguiente seguimiento por parte de los supervisores y responsables de la faena.

- **Verificación de la ubicación:** antes de comenzar las excavaciones inherentes a la construcción de fundaciones para una línea, el equipo de topografía deberá chequear minuciosamente la ubicación exacta de las estructuras a fundar, para ello se debe contar con la recepción de la estaca central de cada torre. Esta estaca debe estar obligatoriamente materializada en cada estructura a construir, además de contar con las estacas auxiliares para verificación de trazados y ejes.
- **Trazado:** Esta tarea corresponde a personal de topografía, y deberán hacerlo de acuerdo a planos de fundaciones correspondientes al punto en particular, además deberán materializarse estacas auxiliares para poder dar las cuadraturas correspondientes a cada pata de de la torre.

- **Seguridad:** El contratista está obligado a dar a conocer el procedimiento de trabajo seguro, a todos los trabajadores involucrados, antes de comenzar las labores de excavaciones. Por otro lado, debe dotar la personal de los elementos de protección personal, herramientas y equipos necesarios para la ejecución de las obras y restringir el área de trabajo a personal no autorizado, esto último se controlará con una charla diaria de cinco minutos, donde se informará de los trabajos que se realizarán y los riesgos inherentes a ella, luego de finalizada la charla los trabajadores deben proceder a firmar dicho documento, con lo que se controlará al personal autorizado en el área.
- **Condiciones climáticas:** En caso de presentarse condiciones climáticas adversas (lluvias torrenciales, tormentas eléctricas etc.), que creen condiciones de riesgo a los trabajadores y a los equipos involucrados, se dará la orden a los supervisores directos para la paralización temporal de las faenas, hasta superada la situación.

4.8.5 Trabajos propios de excavación

- **Inicio de excavaciones:** Iniciar las excavaciones por los bordes, utilizando como referencia las estacas de los cantos de las cavas, colocadas por el grupo de topografía, en caso que el supervisor o jefe de terreno de OO.CC., así lo disponga se procederá a excavar considerando taludes de acuerdo al ángulo natural de reposo del terreno, para así evitar desmoronamiento de las paredes de la excavación y condiciones subestándares dentro de la faena.
- **Cumplimiento del proyecto:** Se deberá en lo posible respetar la geometría de la excavación del proyecto, de acuerdo al tipo de fundación a construir, así se evitará sobre excavaciones y retrasos en las tareas posteriores, esto se logra controlando la profundidad de excavación indicada por el equipo de topografía.

- **Depósito de material excavado:** El material excavado será retirado de la excavación y depositado a una distancia prudente a modo de tener un libre acceso a la excavación, evitar caída de material al interior del foso y además facilitar posteriormente la manipulación de los stub, enfierraduras y si es necesario el acceso de materiales para entibar la excavación. La distancia mínima de acopio de material al lado de la excavación se considera de 0.6 m. y además debe ser mayor a la mitad de la profundidad de la excavación.
- **Método y equipo:** El método y equipo a ser utilizado dependen del tipo de material a excavar, condiciones de acceso al lugar de trabajo. Básicamente la excavación se puede ejecutar por medios manuales o mecanizados. En el caso de ser del tipo mecanizado, se deberá contar con los señaleros necesarios para evitar accidentes lamentables en el área de trabajo
- **Señalética en excavaciones:** Toda excavación deberá quedar debidamente señalizada con cinta de peligro y toda la señalética necesaria, indicando que existen trabajos de esta naturaleza en área, además las excavaciones que excedan de 1m. de profundidad deberán ser protegidas con tapas después de terminada la jornada para evitar incidentes a terceros o caídas de animales. También se obliga el uso de escaleras en excavaciones con profundidad superior a 1.5 m. para facilitar el acceso y evacuación de trabajadores, estas deben quedar apoyadas en el fondo de dicha excavación y sobresalir como mínimo 1 m. por sobre esta.

4.8.6 Condiciones específicas en excavaciones

- **Suelos débiles:** Para suelos débiles o con existencia de agua, las paredes de las cavas deben ser adecuadamente sostenidas con entibaciones de madera o metálicas, para así evitar desmoronamientos con riesgo de accidentes graves o

en los casos que sea posible las excavaciones se realizarán de acuerdo al ángulo de reposo propio del tipo de terreno (talud natural).

- **Excavación en roca:** La excavación en roca, cuando sea necesario, será realizada con técnicas específicas, y puede ser ejecutada sin uso de explosivos con fisura previa, o con uso de explosivos.

Cuando fuere necesario el uso de explosivos, las operaciones como perforación en roca, y colocación de explosivos y accesorios, serán ejecutados por personal especializado que cuente con la autorización y permisos pedidos a la autoridad competente, tomando en cuenta todas las medidas de protección necesarias, prevaleciendo la protección del elemento humano de la obra y de las propiedades públicas o privadas.

En la obra deben instalarse las debidas señales de alerta, en número y tamaño adecuado, de que está siendo realizada en el área una operación de excavación con explosivos. Esta señalización debe estar claramente visible por todos los que entren en el área o pasen cerca de la misma.

Deberá existir un plan de contingencia, abarcando todas las actividades relativas al uso de explosivos, previendo entre otros los siguientes aspectos: cantidad y disposición de los agujeros, diámetros, profundidad e inclinación de los agujeros, tipo de explosivos y accesorios, dispositivos de protección contra lanzamiento o proyección de fragmentos.

4.9 Emplantillado

Una vez finalizadas las tareas de excavación y recepcionado el sello de fundación por parte de la Inspección, se comenzarán los trabajos correspondientes al levantamiento de fundaciones, por lo que se deberá comenzar con un emplantillado a base de hormigón tipo H-10, o el que sea indicado en los planos y especificaciones

propias del proyecto, que puede ser fabricado in-situ para llegar a la cota de sello de fundación, para esto será necesario confeccionar un protocolo de recepción de cota de emplantillado con las cotas reales vs las del proyecto, con lo que se aceptará un margen de error de ± 5 mm., una vez aceptado el protocolo por la I.T.O., se dará comienzo a los trabajos de enfierradura y colocación de stub, el procedimiento de chequeo de la cota de emplantillado se hará con apoyo de topografía, tomando lecturas en las esquinas de la fundación, una lectura en el centro de cada cara y por último una en el centro de la fundación.

4.10 Enfierradura

En general, se procederá de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto. Las barras deben ser perfectamente rectas y se doblarán en frío dándoles exactamente las formas que les corresponda, con respecto al tipo de acero será el que se fabrica en nuestro medio: A44 - 28H ó A63 -A42H.

Todas las barras de refuerzo se protegerán con un recubrimiento de hormigón de por lo menos 5 cm. a menos que los planos indiquen otro valor.

Las superficies de las barras se limpiarán de costras, barro, grasa u otras sustancias extrañas, antes de ser colocadas. Se considerarán objetables las escamas gruesas de herrumbre y las costras desmenuzables. Las barras de refuerzo, después de colocadas, se mantendrán limpias hasta quedar completamente empotradas en el hormigón.

La correcta instalación de la enfierradura deberá asegurar su afianzamiento, de modo que no sufran corrimientos durante la colocación del hormigón. En caso de inconvenientes de fijación se instalarán plantillas adecuadas para mantener las enfierraduras en posición. El personal que esté ejecutando la tarea, tendrá especial

cuidado de evitar cualquier movimiento de las enfierraduras en el hormigón recién colocado.

En lo posible, se emplearán barras de la longitud total que se necesite en cada caso, si se requiere hacer empalmes, estos tendrán por lo menos una longitud igual a 40 veces el diámetro de la barra a empalmar y llevarán en sus extremos ganchos de las mismas dimensiones que los indicados anteriormente. Se tendrá especial cuidado de que los empalmes no se repitan en la misma sección.

En el caso de presentarse dificultades en terreno, con respecto a la disposición de la enfierradura y sea necesario alterar una forma o reforzar la malla a construir, se deberá solicitar a ingeniería el cambio o modificación por medio de un registro instaurado por la empresa para estos casos o en su defecto buscar una solución in-situ con el jefe de la inspección, esto último es lo más adecuado cuando no se cuenta con tiempo suficiente para realizar las tareas encomendadas.

Cuando la faena se encuentra en lugares donde las temperaturas normales son inferiores a los 0° C, y se prevea daños en las barras al momento de ser dobladas producto de la cristalización del material debido a las bajas temperaturas, se deberá preparar un lugar climatizado para realizar dichas tareas, en caso contrario las formas de las enfierraduras deberán ser confeccionadas en un lugar distinto a la faena con condiciones más favorables.

La descarga del fierro de construcción que se transporta en forma de paquetes, debe en lo posible realizarse con algún medio mecánico, esto con el fin de evitar lesiones producidas por sobre esfuerzo en los operarios. En caso de descarga manual se deberá instruir al personal sobre las formas correctas de realizar estas tareas.

El transporte en terreno que se haga en forma manual, no deberá sobrepasar los 60 Kg., cuando lo hagan dos personas. Las distancias para utilizar traslados manuales serán cortas, en caso de ser superiores a 30 metros se deberá destinar algún medio distinto para tal efecto.

El fierro será acopiado en forma ordenada y apoyado sobre piezas de maderas, esta zona debe quedar aislada del tránsito de los trabajadores, esto en lo posible con la construcción de un cerco compuesto de estacas y cinta de peligro.

Los despuntes producto del armado de la malla de refuerzo de las fundaciones deberán ser retiradas a lugares o botaderos dispuesto por el mandante para estos efectos, pero mientras permanezca en obra deberán ser almacenados en lugares apropiados, para así evitar incidentes no deseables.

En los trabajos propios de las enfierraduras se deberá controlar las separaciones, cantidades, diámetros de los fierros especificados en los planos del proyecto, por otro lado se deberá supervisar el doblado de éstos para que cumplan con las formas proyectadas en los planos.

Paralelo a la construcción de enfierraduras se deberán confeccionar calugas a base de arena, cemento y agua, para ser usadas como guías en la terminación del hormigonado, ya que éstas darán el recubrimiento exigido en los documentos técnicos del proyecto, generalmente el recubrimiento mínimo a usar es de 5 cm.

4.11 Instalación de stub

Dentro de las labores a ejecutar para la construcción y posterior montaje de una torre de alta tensión resulta fundamental que los insertos (stub), en la base de fundación queden fijados con sus distancias, inclinaciones y niveles exigidos en los planos, para así permitir el montaje de la estructura sin que esta quede expuesta a giro o esfuerzos adicionales.

Los Stub se montarán una vez recepcionada la excavación y los emplantillados de hormigón H-10 correspondientes según indican los planos. Se comprobará que los stub elegidos sean los adecuados de acuerdo a los planos, esto se debe a que los stub de torres de suspensión son distintos a los usados en las estructuras de anclaje.

Para dar la altura y apoyo correspondiente se soldará en la parte inferior del stub tuercas donde se colocará un trozo de hilo corrido el que nivelará y nos dará la cota posteriormente. En caso de no lograrse la cota necesaria se soldará un trozo de ángulo en la parte inferior del stub para tal efecto. También para aumentar la adherencia del stub a la fundación se deberán soldar piezas en los bordes del inserto en forma de L.

Para afianzar el stub se utilizarán cadenas y tensores y/o plantillas de acuerdo a lo acordado entre los supervisores responsables del área, dando la inclinación necesaria, esto se realiza controlando distancias entre los pernos de referencia y diagonales entre los extremos superiores de cada stub (vértice de los stub).

Una vez montados de acuerdo a lo anterior se podrá dar inicio a la faena de hormigonado. Posteriormente, a cada vaciado y vibrado de una fundación se procede a chequear distancias e inclinaciones finales, con el llenado definitivo del protocolo correspondiente. Es importante señalar que durante los trabajos de montaje de estas piezas y mientras se procede al hormigonado de las fundaciones se deberán estar chequeando las cotas y geometría de los insertos, también se deberá generar un protocolo donde se comparará geometría y cota de vértice de stub de proyecto vs las reales antes y después de hormigonadas las fundaciones.

4.12 Hormigonado de fundaciones

4.12.1 Generalidades

Una fundación se concibe como un conjunto de materiales que al combinarse en forma ordenada satisface las necesidades de un proyecto, en el caso de las líneas de transmisión estas cumplen la función de sostener las estructuras porta conductores, estas fundaciones deben ser diseñadas de tal forma que su comportamiento sea el adecuado a las condiciones más desfavorables de servicio y además deben satisfacer otros requisitos, tales como mantener los costos dentro de límites razonables y determinadas exigencias estéticas dentro del proyecto.

El hormigón es un material pétreo artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas, de cemento, áridos y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los áridos, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

Los áridos son materiales pétreos compuestos de partículas duras, de forma y tamaño estable. Habitualmente se dividen en dos fracciones: grava y arena. Los áridos, el cemento y el agua se mezclan juntos para constituir una masa plástica y trabajable, que permite ser moldeada en la forma que se desee.

El cemento y el agua al combinarse producen una reacción química denominada hidratación, de la cual resulta el fraguado del hormigón y su endurecimiento gradual; este endurecimiento puede continuar indefinidamente bajo condiciones favorables de humedad y de temperatura, con un incremento de la capacidad resistente del hormigón. Se supone y acepta que el hormigón ha alcanzado su resistencia de trabajo a los 28 días, y es por eso que normalmente las exigencias de resistencia se especifican y verifican a esa edad. En realidad,

encontrándose en condiciones favorables, los hormigones siguen incrementando su resistencia a medida que aumenta su edad, por lo que los valores especificados pueden aumentar entre un 10% a un 20% a los 90 días y entre un 20% a un 35% al año.

4.12.2 Elaboración de hormigón in situ

Aunque para cada obra se deben estudiar las dosificaciones de acuerdo a sus exigencias y considerando las características reales de los áridos que se emplearán, existe a veces la imposibilidad de proceder de esta forma. Para estos casos se han preparado dosificaciones tentativas basadas en el empleo de áridos que cumplen aproximadamente las exigencias de las Normas Chilenas (NCh 163 Of. 1979).

Dosificaciones tentativas para hormigón confeccionado con cemento corriente y grava de tamaño máximo entre 1 1/2" y 2":

| R28 especificada Mpa. | Cemento (Kg). | Grava (Kg). | Arena (Kg). | Agua (lt). |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| H10 | 200 | 1200 | 815 | 165 |
| H15 | 240 | 1225 | 750 | 165 |
| H20 | 290 | 1250 | 680 | 170 |
| H25 | 330 | 1265 | 645 | 170 |

Dosificaciones tentativas para hormigón confeccionado con cemento corriente y gravilla de tamaño máximo 3/4":

| R28 especificada Mpa. | Cemento (Kg). | Grava (Kg). | Arena (Kg). | Agua (lt). |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| H10 | 230 | 1055 | 835 | 195 |
| H15 | 275 | 1070 | 800 | 195 |
| H20 | 340 | 1095 | 715 | 200 |
| H25 | 380 | 1120 | 645 | 200 |

Para poder llegar a los resultados esperados se recomienda lo siguiente:

- a)** La dosis de cemento recomendada no debe modificarse, a menos que las resistencias que se obtengan, cuando sea posible determinarlas, sean inferiores o muy superiores a las que se exigen. Para ese objeto es conveniente aumentar la dosis de cemento si la resistencia obtenida es inferior a la resistencia especificada en el proyecto en más de 40 Kg/cm² y disminuirla si es superior a la resistencia especificada en más de 80 Kg/cm².
- b)** Si el hormigón se observa pedregoso, habrá que disminuir razonablemente el árido grueso aumentando en la misma cantidad el árido fino (se considera razonable una variación de hasta un 5 % de la cantidad correspondiente a la dosificación para efectuar una primera corrección).
- c)** La dosis de agua de amasado que se indican son sólo una referencia. Si en obra los áridos están húmedos, habrá que utilizar menos agua. La cantidad de aguas que se empleará debe dar como resultado hormigones que no sean secos ni fluidos, sino plásticos (como referencia, para las dosificaciones indicadas se ha considerado un asentamiento de cono de Abrams de alrededor de 6 cm.).
- d)** En el caso de utilizar áridos separados en dos fracciones (grava y gravilla), se recomienda dividirlos en un 20% de gravilla y 80% de grava.
- e)** El mezclado debe efectuarse con equipos adecuados, de tal forma que la velocidad de rotación y el tiempo de mezclado asegure una mezcla homogénea, el tiempo mínimo recomendado en la norma NCH 170 Of. 1985 es de 1 ½ hora, contado desde que todos los materiales se encuentran en el interior de la hormigonera.
- f)** Parte del agua de amasado debe incorporarse en primer lugar al equipo de mezclado y en caso de usar aditivos estos se incorporarán de acuerdo a las indicaciones establecidas por el fabricante.

- g)** La hormigonera debe encontrarse lo más cerca posible del lugar de colocación del hormigón esto con el fin de evitar que éste endurezca en el traslado, este tiempo no debe superar los 30 min., en caso de usar aditivos este tiempo puede aumentarse de acuerdo a lo indicado por el fabricante.
- h)** La capacidad del equipo de mezclado tendrá relación directa con el volumen e importancia de la obra. La descarga de las mezcladoras se realizará sin que reproduzca segregación del hormigón.

4.12.3 Elaboración de hormigón en plantas

Existe la posibilidad de comprar el hormigón premezclado y transportarlo a la obra en camiones mixer. En estos casos la fabricación del hormigón se realiza en una planta especialmente diseñada y las dosificaciones, a diferencia de cuando se fabrica hormigón en obra, es en peso. La dosificación en peso es mucho más precisa que en volumen, además estas plantas cuentan con máquinas especiales que registran con exactitud el peso del cemento, de los áridos y su grado de humedad. Estos hechos permiten optimizar el uso especialmente del cemento y obtener un hormigón confiable de acuerdo a lo solicitado por la empresa constructora.

Por otro lado la empresa responsable de entregar el hormigón en obra deberá certificar que el concreto cumple con las especificaciones demandadas por el cliente, tomando en cuenta las distancias que hay entre la planta hormigonera y el lugar de colocación en obra. Sin perjuicio de lo anterior, la empresa constructora responsable de la instalación, deberá realizar los ensayos correspondientes de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto y normas respectivas.

4.12.4 Elaboración de moldajes

Los moldajes utilizados en este tipo de obras son a base de placas del tipo estructural elaborados en terreno, la finalidad de los moldajes es mantener las dimensiones y la forma geométrica de los elementos a hormigonar para cada fundación y a su vez evitar el gasto excesivo de hormigón y por lo tanto, mantener los costos dentro de lo presupuestado.

Todos los moldes deberán estar contruidos de modo que resulten impermeables para el mortero, tendrán la resistencia necesaria para soportar, sin deformarse, las presiones producto del hormigón fresco y las vibraciones propias de la compactación del hormigón.

Los refuerzos se calcularán para poder soportar con seguridad las cargas especificadas anteriormente. Se deberá construir del tal forma que se facilite el desmontaje gradual sin peligro de sacudidas o trepidaciones. Los apoyos deberán descansar sobre una base segura.

Los moldes tendrán dimensiones interiores exactamente de acuerdo con las dimensiones de las piezas a construir y tendrán superficies lisas. Cuando se usen alambres para asegurar moldes y enfierraduras de tal modo que estos queden dentro de la masa de hormigón, se tomará la precaución de (una vez quitado los moldes) cortar los alambres a una distancia de un centímetro de la superficie del concreto. Los agujeros serán cuidadosamente rellenados con mortero de igual calidad que el empleado en el hormigón.

Previamente al llenado, los moldajes se limpiarán y se les aplicará un producto desmoldante para evitar que estos se adhieran al hormigón, la aplicación se hará de acuerdo a las especificaciones del fabricante. En caso de que el alguna parte de la fundación debiera construirse sin el uso de moldaje, se tomarán las

precauciones necesarias a efectos de lograr una superficie, de textura y color uniforme, con un acabado de perfecta terminación y prolijidad, evitando la formación de rebabas, crestas y desniveles.

La reparación de los defectos superficiales se realizará inmediatamente después del desmoldaje de las estructuras, debiendo la zona afectada quedar reparada dentro de las 24 horas como máximo después del retiro del moldaje.

4.12.5 Vaciado del hormigón

Previo al vaciado del hormigón se deberá limpiar las zonas de vaciado, esta tarea deberá ejecutarse en lo posible con un compresor de aire, una vez retirado todo el material contaminante se procederá a humedecer la superficie de vaciado, tomando la precaución de no mojar los moldajes.

Como en general los hormigones especificados para fundaciones de torres de transmisión tienen un asentamiento de cono entre 4 a 10 cm., la altura de caída no deberá superar los 2,5 metros, en caso que por condiciones topográficas o elementos demasiado esbeltos sea imposible cumplir con esta exigencia, se podrá utilizar tuberías introducidas hasta el fondo del elemento a hormigonar, las cuales deben tener un diámetro no inferior a 4 veces el tamaño máximo nominal del árido utilizado.

4.12.6 Compactado de la masa

Esta es una de las etapas más complejas dentro de la construcción de una fundación, ya que un buen vibrado de la masa evitara segregación dentro del hormigón y por otro lado se reduce la cantidad de aire en el elemento. Es por lo anterior que se entrega una serie de consideraciones que deberán ser evaluadas antes de compactar los elementos comprometidos:

- Seleccionar el tipo de vibrador adecuado según las dimensiones del elemento a hormigonar, el espacio libre entre las armaduras, la consistencia del hormigón.
- Antes de comenzar comprobar que el vibrador está en buenas condiciones y funciona correctamente. Usar los sistemas de protección y seguridad recomendados.
- Verter el hormigón en la estructura evitando que el hormigón caiga desde gran altura. Se debe verter en el molde o encofrado más o menos nivelado. El espesor de cada capa será inferior a 50 cm., se recomienda entre 30 y 50 cm.
- Introducir el vibrador verticalmente en la masa sin desplazarlo horizontalmente, no usar el vibrador para arrastrar el hormigón, el vibrador se introduce a intervalos regulares, la distancia aconsejable entre un punto y otro es de 8 a 10 veces el diámetro del vibrador. Mirar al hormigón cuando se vibra para determinar el campo de acción del vibrador. El campo de acción de cada punto de vibración se debe solapar para evitar zonas sin vibrar. La aguja debe penetrar unos 10 cm. en la capa anterior para asegurar una buena adhesión entre las diferentes capas. Entre cada capa no deberá transcurrir mucho tiempo para evitar juntas frías. No forzar o empujar el vibrador dentro del hormigón, este podría quedar atrapado en el refuerzo.
- El tiempo de vibrado en cada punto dependerá del tipo de hormigón, tamaño del vibrador y otros factores. Este tiempo de vibrado puede oscilar entre 5 y 15 segundos. El tiempo es más corto para consistencias fluidas, en estas mezclas un vibrado en exceso puede producir segregación. Se considerará el hormigón bien vibrado cuando la superficie se vuelve compacta y brillante y dejan de salir burbujas de aire, también se nota un cambio en el ruido que produce el vibrador. Muchos defectos en estructuras son debido a una ejecución de la operación de vibrado de forma desordenada y con prisa.

- No se deberá presionar el vibrador contra armaduras o encofrados. Mantener una distancia de 7 cm. como mínimo de las paredes.
- La aguja se sacará despacio del hormigón y con movimientos hacia arriba y hacia abajo para dar tiempo que el hormigón rellene el agujero dejado por el tubo. Cuando está prácticamente fuera sacarlo rápidamente para evitar agitación de la superficie.
- No mantener durante largos periodos el vibrador fuera del hormigón, si no se continúa vibrando pararlo.
- Seguir las instrucciones de mantenimiento del vibrador de acuerdo a lo indicado por el fabricante.

4.12.7 Descimbre de los elementos

El descimbre de los elementos hormigonados se hará tomando las siguientes precauciones:

- El retiro debe realizarse evitando sacudidas bruscas que puedan afectar la integridad del elemento, como destrucción de aristas o superficie del hormigón.
- Cuando el moldaje sea retirado aún en tiempo de curado este deberá ser protegido por algún medio aislante, que asegure las condiciones necesarias para la hidratación completa del hormigón.
- En todo caso el periodo mínimo de descimbre, se hará a los 5 días para hormigones con cemento corriente y 3 días para aquellos elaborados con cemento de alta resistencia.

4.12.8 Protección del hormigón

En general, todos los hormigones incrementan su resistencia a medida que aumenta su edad, debido a que los distintos compuestos mineralógicos del cemento se hidratan en plazos diferentes. Para verificar el proceso de hidratación es necesario que el hormigón se encuentre en condiciones favorables de temperatura y de humedad. Estas condiciones deben proporcionársele junto con la iniciación de su endurecimiento y mantenerse durante un período mínimo de 4 días cuando el cemento empleado es grado alta resistencia o de 7 días si se emplea cemento grado corriente, con temperaturas medias del orden de 20°C.

La efectividad de un método de curado depende de la prontitud con que se aplica para proteger el hormigón fresco.

En síntesis, el curado del hormigón consiste en lograr que este material disponga del agua que necesita el cemento para hidratarse y en mantenerlo en condiciones moderadas de temperatura. Con un curado bien realizado se evitará la formación de grietas y el hormigón no sufrirá reducciones ni de resistencia ni de durabilidad.

Las variables que influyen en el curado son básicamente cuatro: temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura del hormigón y velocidad del viento. Una pérdida mayor a 1 Kg./m²./hr. producto de la evaporación, produce casi inevitablemente la fisuración del hormigón por retracción hidráulica, es por esto que se debe utilizar algún medio disponible para la protección del hormigón, existen diferentes métodos para asegurar un óptimo curado, los que se pueden agrupar en los que se basan en tratamientos húmedos ó los que emplean cubiertas protectoras para evitar la pérdida de humedad.

4.12.9 Certificación del hormigón

Las certificaciones de los hormigones, ya sea fabricados in situ o por plantas especializadas, se realizarán con un laboratorio externo, de acuerdo a las normas NCH 170 Of. 1985, NCH 171 EOf. 1975, NCH 1019 EOf. 1974 y las especificaciones técnicas del cliente.

La dosificación del hormigón es estudiada para que éste tenga ciertas características predeterminadas, la principal de las cuales es su resistencia. Sin embargo, al producirlo en obra estas características varían de una amasada a otra a causa de errores en las mediciones o variaciones de las propiedades de los materiales componentes u otras razones.

Por este motivo, el hormigón debe ser sometido a un control de calidad que permita verificar que, a pesar de estas variaciones, las propiedades generales del hormigón se mantienen dentro de límites aceptables o, en caso contrario, para establecer las medidas correctivas adecuadas.

Generalmente la propiedad sometida a control es la resistencia del hormigón, aspecto que debe considerarse como el nivel mínimo de control en una obra por pequeña que ella sea.

Sin embargo, la información proporcionada por el ensayo de resistencia puede ser demasiado tardía como para tomar medidas efectivas con un costo razonable, motivo por el cual es aconsejable emplear métodos de control preventivos durante la fabricación del hormigón en la obra o a su llegada a ésta si existe suministro de hormigón premezclado.

Un sistema apropiado para efectuar un control de calidad preventivo del hormigón, es decir antes de su colocación, puede basarse en la medición del asentamiento de cono del hormigón. El asentamiento de cono depende

aproximadamente de la cantidad de agua que contiene el hormigón y, en consecuencia puede servir de su razón agua/cemento, la que como se sabe está relacionada con la resistencia.

En consecuencia, si el hormigón tiene la dosis de cemento prevista y el asentamiento de cono se mantiene dentro de límites estrechos, existe una buena seguridad de que la resistencia del hormigón se cumplirá en forma adecuada.

4.13 Montaje de estructuras

4.13.1 Generalidades

Una vez recepcionados trabajos de montaje de los stub, aprobado el protocolo de montaje de estos por parte de la Inspección y transcurridos los siete días de hormigonados los pedestales de la torre a construir, que corresponde al tiempo mínimo exigido por la norma para poder cargar las fundaciones se dará el inicio al montaje de estructuras.

El o los métodos a utilizar dependerán de varios factores: condiciones de accesibilidad al lugar de trabajo, equipos disponibles por parte de la empresa responsable del montaje y por último experiencia del supervisor a cargo del montaje, ya que en definitiva es quien conoce mejor su trabajo.

4.13.2 Clasificación, Revisión de materiales y equipos

El supervisor a cargo del montaje de estructuras, cumplirá y hará cumplir las siguientes instrucciones.

- Se ordenarán y clasificarán todos los perfiles angulares, pernos, tipo de golillas y tuercas, que componen la torre, de acuerdo al cuerpo y tipo de estructura que se desee montar, de manera de optimizar el tiempo propio del armado de la torre. La individualización de las piezas componentes de cada cuerpo y tipo de

torre se obtiene comparando la nomenclatura impresa en cada una de éstas y los planos de armado correspondientes.

- Se comprobará el buen estado del galvanizado de las barras, desechando aquellas que presenten defectos del mismo o estén mal galvanizadas, a menos que la inspección autorice galvanizar en frío, con el fin de retocar aquellas piezas que no presenten daños considerables.
- No se utilizarán las barras que presenten pandeo o torceduras con valores que superen las exigencias mínimas indicadas en las especificaciones técnicas de ENDESA.
- Se comprobará el buen estado de los pernos (galvanizado, hilo, etc.), desechando los defectuosos.
- El supervisor de montaje confeccionará un listado de barras accesorios faltantes (cantidad, número de pieza y marca), el cual deberá hacerlo llegar a la brevedad a oficina técnica para poder remitir el pedido a la empresa contratada para fabricación de la estructuras, esto con el fin de minimizar atrasos en el desarrollo de las faenas.
- Cuando se emplee pluma auxiliar para las maniobras de montaje, esta debe estar libre de fisuras y contar con la debida certificación del fabricante, se prohíbe el uso de plumas adaptadas en terreno.
- Los estrobos, grilletes, vientos, piquetas, etc., deberán ser revisados en cuanto a su estado y colocación, antes de las maniobras de izado.
- Las herramientas de mano deben carecer de rebabas, deformaciones o fisuras.
- Las palanquillas de montaje y los punteros se usarán exclusivamente para la coincidencia de taladros.
- Se deberán revisar todos los elementos de protección personal, en especial los arnés de seguridad con los carros de ascenso en la cuerda de vida.

- Nunca se prolongarán los brazos de las llaves con tubos para dar un mayor apriete, ya que los brazos de las llaves están en proporción a las bocas de las mismas.
- Debe comprobar previamente que los pesos que iza están en orden con el esfuerzo máximo de la pluma que va a utilizar. Nunca confiará en su experiencia en cuanto a los pesos a izar para no dar lugar a errores.
- Se establecerán los puntos en los que debe apoyarse la pluma y los cables o anclajes inferiores de la pluma serán con estrobos de 16 mm. o bandas con carga de rotura, preferentemente a los estrobos, con cargas de trabajo no inferiores a 5.000 Kg. en vertical. Asimismo, ésta se fijará en su parte superior, mediante cuatro vientos o cables de acero de sección no inferior a 9 mm. de diámetro. Los vientos estarán anclados al suelo mediante estacas o muertos según las cargas que vayan a moverse.
- En cualquier caso si las cargas que van a moverse son pequeñas, los vientos y estrobos podrían ser de menor capacidad previa justificación.
- Las llaves torquimétricas a utilizar deberán estar previamente certificadas por algún organismo competente, y siempre se deberá mantener una llave patrón en bodega para el chequeo de aquellas que se encuentran en terreno.

4.13.3 Tipos de izado

La elección del sistema idóneo de izado vendrá determinado por el estudio previo de los apoyos a izar, su peso y forma, así como los condicionantes del terreno: accesos, arboleda, etc. y la existencia de otros servicios o instalaciones, en las proximidades del montaje.

a) Izado con Pluma auxiliar

- En este montaje la pluma hace de falso montante. Esto consiste en montar una cantonera correspondiente a una de las patas para luego afianzar la pluma, la pata elegida será la que de mayor maniobrabilidad para el izaje, una vez instalada la pluma se procede a montar las cantoneras de las patas restantes y su tejido para cerrar las estructura, este procedimiento se realiza para todos los cuerpos hasta terminada la estructura, a este tipo de izaje se le denomina barra a barra y sólo se utilizará cuando sea imposible realizar el montaje utilizando otras técnicas, debido a la lentitud de los trabajos. Cuando la pluma pierda efectividad debido a la altura, deberá ser trasladada a un lugar más alto y se continuará el montaje de la forma indicada anteriormente.
- Otra forma utilizada y que es más eficiente que la a anterior, es la de pre-armar las caras que conforman el cuerpo de la estructura a montar para luego ser izadas con la ayuda de la pluma hasta su posición definitiva, estas caras deben contener al menos el 50 % de los pernos y con apriete moderado, para así evitar esfuerzos adicionales a la estructura.

b) Montaje con apoyo de grúa

- Este tipo de montaje consiste en montar cuerpos o caras pre-armadas en el suelo, las cuales deben cumplir con las condiciones del caso anterior, para luego por medio de una grúa móvil elevarlos hasta su posición final, cuando sea imposible continuar el izaje con grúa debido a su limitación de altura, se deberá continuar el elevamiento de las estructuras por medio de la instalación de una pluma, de la misma forma descrita anteriormente.

c) Recomendaciones

- El armado de las caras o cuerpos a nivel de suelo, se hará sobre tacos de madera para evitar el contacto con el terreno y a su vez facilitar el apernado de las piezas.
- La sujeción de la pluma al montante y el venteo de la misma debe ser ejecutado cuidadosamente, se recomienda siempre usar tres vientos para mantener la pluma siempre en posición segura.
- Los cordeles tanto para atirantar la pluma como para el izaje propio de las estructuras, deben contar con la resistencia necesaria para asegurar la estabilidad de ésta, en todo momento de las maniobras.
- Las estructuras o piezas componentes de éstas, deberán ser firmemente aseguradas a los cordeles de subida y la elevación de éstas debe realizarse siempre con el apoyo de un vehículo motorizado y con apoyo de tirantes para evitar que ésta se golpee con las estructuras ya montadas y se dañe el galvanizado.
- Al momento de los trabajos de levantamiento de pesos, se deberá restringir el acceso de personal bajo el área de la torre y sólo en las cercanías de ésta se ubicarán loros vivos para dirigir el correcto izaje de las estructuras.
- El Jefe de montaje se colocará durante la maniobra de izado en una posición de modo que pueda controlar toda las maniobras.
- Los montajistas a cargo de la unión de los paños ya montados con los nuevos, deberán estar provistos de palanquillas de montaje para hacer coincidir los taladros de las estructuras y poder comenzar a colocar los pernos correspondientes.
- Una vez que las estructuras estén montadas, deberán contar con todos sus pernos, piezas y planchas de unión, pero sólo con apriete moderado. Todos los pernos deben contar con una golilla plana y de presión.

4.13.4 Finalización de la torre

- Una vez finalizada el montaje de la estructura se procederá a repasar todos los pernos de la estructura con llave torquimétrica para asegurar el torque exigido por las normas ENDESA, paralelo a esta tarea se comprobará el aplome y giro de la estructura, por medio del equipo de topografía, y se confeccionará el protocolo correspondiente, estos datos deben estar dentro de las tolerancias, establecidas en las especificaciones técnicas.
- Una vez finalizadas las tareas descritas en el punto anterior se procede a entregar las estructura a la Inspección, la ITO procederá a revisar si la torre cuenta con todos los elementos especificados en los planos, si estos están en la posición que corresponde, deterioro en galvanizado de las piezas, piezas dobladas, ausencia de pernos, torque insuficiente, etc.
- Como último se deberán eliminar los hilos de los pernos de los primeros cuatro metros de la estructura, para así evitar que sean retirados o soltados.

4.13.5 Tolerancias de montaje de estructuras para líneas de transmisión

a) Rotación

En toda estructura, el eje transversal de una sección horizontal a cualquier altura, no deberá quedar con una desviación rotacional mayor que 25° de grado centesimal con respecto a su posición teórica, esto también es aplicable a las crucetas que conforman la estructura.

b) Verticalidad

Ningún punto de la estructura tendrá un desaplome superior a 1/500 de su altura, sin una torre tiene patas de diferente longitud, su altura se obtendrá promediando las alturas obtenidas con la pata más alta y las más baja.

c) Rectitud

Cada elemento de la estructura deberá quedar recto dentro de una tolerancia de 0.2 % de la longitud de cualquier trozo medido.

Todas estas tolerancias serán comparadas con los valores reales, una vez terminada la torre y previo al montaje de los conductores.

d) Valores de apriete de pernos

Los siguientes valores expuestos en la siguiente tabla, serán de aplicación a todas las estructuras de líneas de transmisión eléctrica construidas en Chile.

| Apriete de pernos en estructuras | | | |
|---|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Diámetro | Torque (Kgxm) | Torque (Nxm) | Torque (Lbsxpies) |
| 1/2" | 5.00 | 49.05 | 36.13 |
| 5/8" | 11.00 | 107.91 | 79.49 |
| 3/4" | 17.00 | 166.77 | 122.85 |
| 1" | 34.00 | 333.54 | 245.70 |

4.14 Vestido de estructuras

Se le llama vestido de estructuras al trabajo de instalación de las cadenas de aisladores que utilizan en líneas de transmisión eléctrica para evitar la inducción o arco eléctrico entre los conductores y la estructura, a continuación se entregarán los pasos a seguir para el montaje de la ferretería en la torre:

- La cadena de aisladores más herrajes, se armará en el suelo.
- Se comprobará, antes de izar la cadena, que los pernos estén apretados, los pasadores abiertos y los "platos" de los aisladores limpios.
- El estrobado de la cadena se hará por el tercer o cuarto aislador a partir del extremo superior y protegiendo con madera los aisladores contra el roce del

estrobo. El atado será hecho de forma que la cadena tenga una cierta flexibilidad en su parte superior para facilitar el enganche en la cruceta.

- Al inicio de la maniobra de elevación, cuando la distancia del extremo inferior de la cadena esté, con respecto al suelo, comprendida entre 1 y 1,50 metros, se montará la polea que servirá para el tendido posterior de los conductores o cable de guardia.
- La tracción para la elevación se realizará con guinche autónomo o montado sobre tractor o vehículo todo terreno.
- Al llegar la cadena a la proximidad de la cruceta, el operario que va a recibirla e instalarla, dará las instrucciones para una aproximación cuidadosa e indicará cuando se deba detener el huinche o vehículo de tracción para proceder al enganche.
- El operario en punta de cruceta instalará el grillete en el casquillo de punta, para el afianzamiento definitivo de las cadenas, ordenando a continuación el destense del estrobo de elevación.
- Los conjuntos de suspensión deberán armarse e instalarse de acuerdo a las instrucciones del fabricante. El apriete que requieren los pernos componentes de los conjuntos de suspensión y de anclaje deberán alcanzarse por medio de llave dinamométrica.
- Con la cadena ya suspendida procederá a desatar el elemento de subida.
- El estrobo se bajará con la ayuda de las cuerdas de servicio en ningún caso se soltará en caída libre.
- El orden de subida de las cadenas será siempre por la cruceta más elevada.
- Al momento de izar las cadenas de aisladores, se debe evitar cualquier contacto de éstas con la estructura, para esto se deberá instalar una cuerda auxiliar a la cadena de aisladores, la cual deberá ser maniobrada desde el piso para evitar daños por golpe a los aisladores.

4.15 Tendido de conductores

4.15.1 Estudio previo del tramo a tender.

Antes de comenzar el tendido de los cables se debe realizar un estudio del tramo de la línea a tender donde se debe considerar lo siguiente:

Realizar un recorrido del tramo involucrado, para conocer los posibles inconvenientes al momento de ejecutar el tendido y poder realizar las consideraciones necesarias y evitar a su vez las improvisaciones, dentro de estos inconvenientes se encuentran: cruces de caminos, cruce con líneas existentes, cruce de ferrocarriles, correas transportadoras, etc.

Definir los lugares adecuados en cada extremo del tramo para la ubicación de huinche y freno, el lugar donde se instalará el freno debe contar con espacio suficiente para poder realizar todas las maniobras, como ubicación de carretes, espacio para carga y descarga de carretes, alejamiento de la estructuras de anclaje para evitar así sobreesfuerzos en la cruceta donde se encuentra instalada la polea de la fase a tender.

Se debe tener especial cuidado de que los equipos, tanto el freno como el huinche deben quedar firmemente afianzados al terreno, para evitar sobreesfuerzos en los conductores producto de desplazamientos accidentales de los equipos.

El freno y el equipo de tiro se ubicarán de preferencia en el eje de la línea y fuera del tramo de tendido, para facilitar el corrimiento tanto del cable guía como de los conductores o cable de guardia, la distancia adecuada para estos equipos es de por lo menos 2 veces la altura de la cruceta involucrada al nivel de terreno natural.

En caso de que las condiciones del terreno impidan instalar los equipos en la posición indicada anteriormente, se podrá optar por otra solución, previa justificación técnica que asegure que no existen riesgos de atascamiento del conductor en dicho punto.

La elección de los tramos a tender, en lo posible deben hacerse de tal forma que el freno pueda ser útil en el mismo punto para tender dos tramos, con sólo girarlo 180 grados.

Tener claro la longitud del tramo en que se realizará el tendido, para poder optimizar el uso de los carretes porta conductores y cable de guardia, para cumplir con este punto se deberá realizar previamente una programación de tendido, esto también con el fin de minimizar uniones de conductores innecesarias.

Topografía deberá revisar previo al tendido las tablas de templado de conductores y tener claro los vanos de control de dicho tramo indicados por ingeniería, revisando los valores de las flechas indicadas en dichas tablas.

4.15.2 Operación de tendido de conductores y cable de guardia

Esta etapa consiste en dejar los conductores y cable de guardia en poleas con la flecha aproximada de proyecto por un tiempo no menor a 24 horas, esto se debe a que los hilos componentes de los conductores deben acomodarse y eliminar sus tensiones internas, estas maniobra se realizan siempre entre dos estructuras de anclajes consecutivas, sin importar si corresponden a estructuras de vértices de la línea o para evitar sobreesfuerzos en ésta por ser tramos rectos demasiado extensos.

Las tareas comenzarán con el tendido del cable guía, dependiendo del terreno el tendido del cable de tracción se hará a brazo o con un móvil de tiro. La razón de tender con cable guía se debe a que el conductor por ningún motivo debe

contaminarse con sustancias extrañas y mucho menos estar propenso a ralladuras o corte de alambres componentes del cable que disminuyan sus cualidades mecánicas.

El cable de tracción, antes de su acopio para el tendido, habrá sido inspeccionado y se habrán desechado aquellos que tuvieran defectos. No obstante, el Jefe de Equipo, durante el desenrollado y tendido, vigilará el estado del cable de tracción y sustituirá aquel que presente daños.

El izado del cable hasta las poleas se hará estando el cable flojo, por medio de cuerdas de servicio y roldanas, ya sea por medios mecánicos o manuales dependiendo del terreno.

Las crucetas, torres o elementos de éstos donde se prevea que durante el tendido se podrían producir desequilibrios en los esfuerzos serán convenientemente venteados o arriostrados.

Es conveniente la inspección periódica de los vientos y los anclajes de éstos, comprobando su tense, estado aparente y posibles desplazamientos de los elementos de anclaje (estacas o muertos).

Una vez afianzado el cable piloto en el huinche se dará la orden de acoplar el conductor o cable de guardia a éste mediante una manga de tiro y su respectiva rotativa, para evitar que el torcimiento de los cables involucrados.

El tiro debe hacerse a velocidad constante, además el huinche deberá tener incorporado un dinamómetro para poder controlar la tensión de tendido y cuando ésta supere los valores establecidos, se accionará un dispositivo en el huinche que detendrá las maniobras.

Una vez que se complete el tendido de una fase entre los anclajes respectivos, se procederá a chequear con topografía las flechas indicadas en las

tablas de temple, y se dejarán los conductores firmemente afianzados mediante come-alones.

Estas maniobras se repetirán de la misma manera para las restantes fases y tramos comprendidos en el proyecto.

En todo momento durante el desarrollo de estas maniobras se deberá estar pendiente, en todo el tramo, para así verificar que el cable está pasando sin problemas por las poleas, en caso de traba tanto del cable guía como de conductores o cable de guardia, los loros vivos situados en puntos estratégicos deberán comunicar al operador del huinche, para detener la maniobra, tanto los loros vivos como los operadores de los equipos deberán estar comunicados por medio de radios con frecuencia única dentro del proyecto.

4.15.3 Condiciones especiales

En el caso de existir cruces de carreteras, líneas aéreas, líneas de corrientes débiles, ferrocarriles, correas transportadoras, etc., se deberá confeccionar un procedimiento específico de trabajo para cada caso en particular, por lo general este tipo de cruces se realiza construyendo portales a cada lado del cruzamiento con mallas en su parte superior para protegerlos de posibles caídas o cortes en los conductores.

Estas tareas deben ser coordinadas con las distintas entidades responsables de cada una de las áreas afectadas en el cruzamiento, además se solicitarán todos los permisos necesarios de acuerdo a la normativa vigente y/o estándares propios de la empresa dueña de los servicios involucrados.

a) Cruces con líneas energizadas

En general, cuando los cruzamientos son con líneas aéreas de media, alta y extra alta tensión, se procede a desenergizar dicha línea, bloqueando todos los posibles puntos de abastecimiento de energía de los circuitos involucrados, esto se realiza abriendo desconectadores e interruptores en los patios de maniobras o salas eléctricas correspondientes y luego se deberán instalar tarjetas de bloqueo en cada uno de los puntos interrumpidos, con la identificación completa del responsable de la maniobra, además se procede a sellar con candados los accionamientos de estos equipos, para evitar energizaciones fortuitas.

La llave del o los candados estarán en posesión del responsable y no habrá copias de éstas, además de debe proceder a cortocircuitar el o los circuitos involucrados antes y después del cruce, esto se realizará mediante pértigas especiales para este tipo de maniobras, la razón de cortocircuitar la línea se debe a que si por error esta se llegara a energizar, se producirá un cortocircuito en estos puntos y la línea queda fuera de servicio.

Una vez finalizados los trabajos el encargado de las maniobras deberá retirar los bloqueos y abrir los candados, para permitir la reposición del servicio de la línea intervenida.

4.16 Templado y engrampado de conductores y cables de guardia.

4.16.1 Templado de conductores y cable de guardia

Previo al templado, se procede a comprimir la grampa de anclaje con el conductor en uno de los extremos del tramo involucrado, una vez realizada esta tarea se debe unir la grampa a la cadena de aisladores correspondiente, como ya se tiene afianzado un extremo del conductor a la estructura se procederá a tensar el conductor

para llevarlo a su posición final y afianzarlo mediante las grampas respectivas a la cadena de aisladores en el resto de los apoyos.

Templar un conductor consiste en dejar la flecha correspondiente a los vanos de acuerdo a los valores con que ha sido calculado. El objetivo de calcular la flecha al tender los conductores se hace con el objeto de que los vientos fuertes, la acumulación de hielo o nieve y las bajas temperaturas, aún cuando se mantengan durante varios días, no sometan a los conductores a esfuerzos superiores a su límite elástico, causen un alargamiento permanente considerable o produzcan la rotura por fatiga como consecuencia de vibraciones continuadas.

4.16.2 Métodos de templados de conductores

En general, el templado de conductores y cable de guardia se ejecuta por medio topográfico, pero existen situaciones en que es imposible usar este método y se debe buscar otra solución, como es el método de percusión o por medio de niveletas. Las razones pueden ser las condiciones del terreno, que impiden la ubicación del equipo a una distancia suficiente de la línea para poder realizar las lecturas, otra razón puede ser un vano de control demasiado corto por lo que las flechas no son apreciables con el equipo y es más conveniente usar otro método.

a) Método topográfico

El topógrafo deberá instalar el equipo lo más alejado posible de la línea, en sentido transversal a ésta y procederá a tomar las lecturas e indicar si es necesario tensar más los cables o reducir esta tensión hasta llegar a los valores establecidos en las tablas de temple de acuerdo la temperatura ambiente.

Una vez alcanzados los valores establecidos para las flechas del proyecto, el topógrafo dará la orden de retener el conductor a la otra estructura extrema del tramo, para proceder a ejecutar las marcas correspondientes para el corte de éste y luego su engrampado al apoyo definitivo.

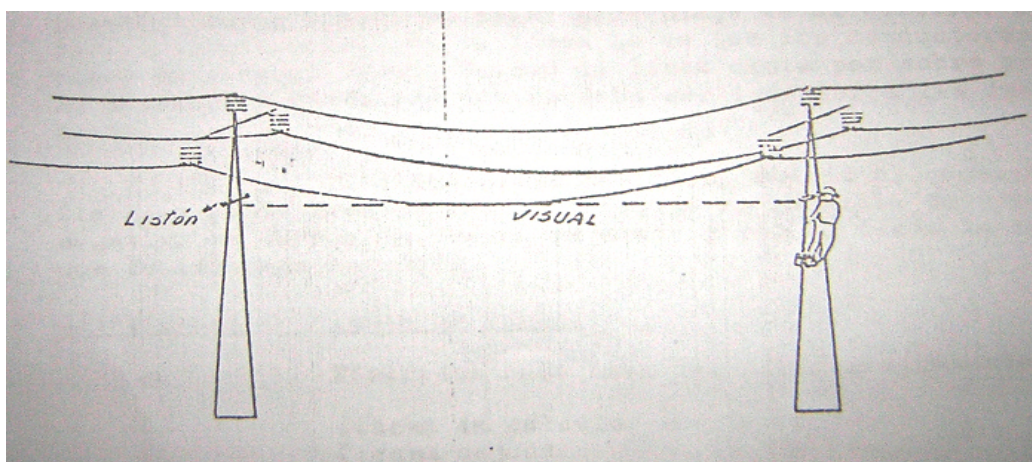
b) Método de niveletas

Este método consiste en colocar listones horizontales en puntos debajo de los apoyos del conductor en el vano donde se controlará la flecha, la ubicación de los listones se obtendrá a partir de distancias conocidas de los listones desde cada apoyo de los conductores.

La medición se hace mirando sobre los listones en el sentido de la línea, como indica la línea de trazos de la figura, con lo cual se puede comprobar que la flecha es la correcta cuando su punto más bajo queda rozando la visual sobre las niveletas.

Este punto resulta conveniente y de suficiente precisión incluso para luces de inclinación media, ya que la flecha se toma en un vano a nivel. Sin embargo, sucede que en vanos muy largos a nivel o desnivel, en que el punto más bajo del conductor cae por debajo del nivel de una de las estructuras, no se puede usar este método.

Templado con método de niveletas¹⁷



¹⁷ Fuente: Manual del Lindero de Alta Tensión, ENDESA (1970).

c) Método por percusión

El método de medición del templado por percusión consiste en medir el tiempo que demora en ir y volver una onda entre dos estructuras. La flecha correspondiente se calcula por la siguiente fórmula:

$F = 0,306 \times t^2$, en que t es el tiempo de una percusión expresada en segundos.

La comprobación del templado debe hacerse en 2 vanos, cuidando que uno de ellos corresponda a una de las luces mayores y el otro a una de tipo medio y evitando que sean luces inmediatas a los anclajes.

Para producir las oscilaciones se amarra un cable que no ocasione daños al conductor y se procede a jalar fuertemente el cable para inducir oscilaciones al conductor. El tiempo debe ser medido con un cronometro con precisión de una centésima de segundo. Además debe controlarse la temperatura ambiente en el momento en se ejecuta la operación.

Con el objeto de achicar el error que se comete al echar a andar y parar el cronómetro, se acostumbra a tomar el tiempo transcurrido durante varias oscilaciones, por lo general 5. Esta operación se debe repetir tres veces con el objeto de tomar el promedio de las medidas efectuadas, las tablas de temple emitidas por ingeniería deben entregar los tiempos para 5 percusiones de acuerdo a la flecha calculada, para poder llevar el conductor a su posición final.

4.16.3 Tolerancias en el tendido

Cuando se verifican las flechas de una línea ya construida puede suceder que se encuentren errores. El porcentaje de error admisible, ya sea positivo o negativo, es del 5%. Sin embargo, el error positivo puede tener un mayor porcentaje si al observar

el plano del perfil longitudinal de la línea se ve que los conductores quedan más altos en todo el tramo que lo establecido en las normas.

Se llama error positivo, cuando el conductor tiene más flecha y menor tensión que la indicada en la tabla de temple. Error negativo es cuando la flecha es menor y por lo tanto la tensión mayor que la indicada en la tabla.

4.17 Engrampado de conductores.

4.17.1 Engrampado de Anclaje

Una vez finalizadas las tareas de temple de conductores se procede a fijar los conductores a su posición definitiva, como se dijo anteriormente ya existe una estructura de anclaje rematada por lo se deberá continuar con el afianzamiento definitivo de la otra estructura.

En esta faena se deben tomar mayores precauciones, debido a que el conductor está sometido a tensiones mecánicas para mantenerlo en posición, por lo que se corre el riesgo que al maniobrar equivocadamente se suelten y puedan ocasionar un accidente de graves consecuencias, los pasos a seguir son los siguientes:

- Primero se deberá implementar a los operarios con todos los elementos de seguridad necesarios para esta maniobra y se prohibirá la circulación por debajo de los conductores en el tramo de trabajo. Además, se deben instalar cuerdas de vida en la torre donde se realizarán las maniobras, para permitir que los trabajadores involucrados conecten sus carros de ascenso.
- Los maestros linieros instalados en la cruceta involucrada deberán marcar el extremo del conductor con huincha aislante, tomando en cuenta la longitud de la cadena de aisladores y la grampa de anclaje, lo cual debe ser descontado desde la punta de la cruceta, para así evitar una aumento en la flecha ya

establecida. El uso de huincha aislante para marcar, evita que las hebras componentes del conductor se desarmen e impidan la entrada de éste en la grampa de anclaje.

- Se deberá instalar un cable de resistencia mecánica apropiada con un come-alone que se sujetará al conductor que se desee comprimir, a una distancia adecuada que permita soltar el conductor y poder llevar el extremo de éste hasta el suelo para realizar la comprimida con el equipo instalado en esa posición.
- Una vez afianzado el cable con el come-alone en forma segura al conductor, se procederá a tirar este cable con algún medio de tiro (huinche, camión, etc.), hasta dejar totalmente suelto parte del conductor próximo a la estructura de anclaje.
- Cuando esta parte del conductor esté sin tensión, se procede a bajarlo a nivel de piso para unirlo mediante una máquina de compresión hidráulica, con la grampa de anclaje.
- Una vez comprimida la grampa al extremo del conductor se procede a subir el extremo comprimido y posicionarlo a la cadena de aisladores respectiva, luego se suelta el cable auxiliar y se retira el come-alone del conductor.
- Se deberá tener especial cuidado, que en ningún momento el conductor tenga contacto con el suelo, además las maniobras que se realizan con el conductor previo y posterior a su remate en la estructura de anclaje, se deberán ejecutar manteniendo velocidades constantes, evitando tirones y frenadas bruscas por los equipos de tiro.
- Esta secuencia se repite en todas las maniobras de remate tanto de cables de guardia como conductores en estructuras de anclaje.

4.17.2 Engrampado de Suspensión

Como ya se tiene el conductor afianzado a las estructuras de anclaje en sus dos extremos, se procede a realizar la fijación en los apoyos de soporte, esto se hará de acuerdo a los siguientes pasos:

- Al igual que el caso anterior se debe proveer de elementos de seguridad a los operarios implicados en la maniobra, cuerdas de vida, escalas linieras tipo balancín, para poder realizar los trabajos, la inclusión de escalas en esta maniobra se debe a que el o los operarios deberán desplazarse desde la cruceta de la estructura, por debajo de los aisladores, para desenganchar el conductor de la polea y llevarlo hasta la cadena para fijarlo con la grampa de suspensión.
- Antes de ejecutar cualquier movimiento en el conductor se deberá marcar en punto centro de contacto de éste con la polea, ya que es ese el punto medio de colocación de la grampa de suspensión.
- Para poder levantar el conductor y llevarlo a posición de engrampado se deberá sostener el conductor con una eslinga, con resistencia mecánica adecuada para la maniobra, esta será conectada a un cable de acero, el cual deberá pasar por un tecele instalado en la punta de la cruceta y proceder la maniobra de tiro con un vehículo de tracción en nivel de terreno, para evitar sobreesfuerzos, en la punta de la cruceta se instalará una polea en la cantonera donde nace la cruceta involucrada en la maniobra y otra polea en la misma cantonera en la pata de la torre.
- El uso de eslinga, se debe a que por ser de material sintético y además su forma de cinta produce una mayor superficie de contacto entre el conductor y ésta, por lo tanto se reduce el riesgo de cortadura de hebras componentes del conductor al momento de realizar la maniobra de tiro.

- Una vez que el conductor se encuentra cerca de la cadena de suspensión se procede a instalar las preformadas en el conductor y se vuelve a marcar el punto centro de la grampa.
- Una vez finalizadas las tareas descritas en los puntos anteriores se procederá a fijar la grampa al conductor, con los aprietes especificados por el fabricante y conectarla a la cadena de aisladores, en este momento se da por finalizada la maniobra de engrampado de conductores en estructura de suspensión.
- El resto de fases del o los circuitos se deberán ejecutar de la misma manera, y una vez finalizada las faenas en una estructura se deberán retirar todos los equipos, herramientas, elementos de bloqueo, etc., para así evitar caídas innecesarias del sistema una vez energizada la línea.

4.18 Instalación de puentes eléctricos.

Como en las estructuras de anclaje se produce una discontinuidad del circuito, una vez finalizados los trabajos de tendido se deben instalar cables que unan las fases antes y después de una estructura de anclaje, estos cables reciben el nombre de puentes eléctricos, los cuales deben tener las mismas características del conductor utilizado en la línea. La secuencia de trabajo es como se indica a continuación:

- Primero se cortarán los cables con la longitud aproximada de proyecto y se comprimirá un extremo con su paleta respectiva.
- Luego los operarios procederán a subir a la estructura involucrada para tomar las medidas reales, y procederán a cortar el conductor y comprimir la el otro extremo con la otra paleta.
- Una vez estando el puente preparado se procede a apernarlo en cada extremo a las grampas de la fase correspondiente.
- Estas maniobras se ejecutan para el resto de las fases y estructuras de anclaje del proyecto.

- En esta maniobra se deben tener las mismas consideraciones de seguridad que en las descritas anteriormente.

4.19 Pruebas y puesta en servicio

Primero se deberá realizar una inspección de tipo visual del estado de la línea, esto con el objeto de verificar que se hayan instalado todos los puentes eléctricos en las estructuras de anclaje, que la cantidad de aislamiento corresponda a lo indicado en el proyecto, que no existan poleas en las estructuras u otros elementos o herramientas utilizados en las maniobras como pértigas de puesta a tierra, tecles, etc. También se deben chequear los abatimientos y transposiciones de la línea, si fuesen considerados en el proyecto.

Una vez finalizada la inspección visual, se deberá contar con una empresa que preste servicios de pruebas más especializadas, dentro de estas pruebas las más importantes son:

Correspondencia de fases: esta prueba consiste en verificar que cada fase en una subestación de salida corresponde a la fase de entrada en la subestación de llegada, esta prueba se realiza inyectando voltaje por medio de un generador, a una tensión de 380 V. en corriente alterna, en el inicio de una fase y se corrobora su llegada al final de ésta, esto se repite para todas las fases del o los circuitos del proyecto.

Prueba de aislación o Hi-Pot: esta prueba se realiza con un equipo especial, la cual consiste en inyectar voltaje en forma ascendente a cada fase en corriente continua, por lo general, la prueba comienza con 5kV. y se aumenta en múltiplos de 5 por cada minuto transcurrido, hasta llegar a 2, 5 veces la tensión nominal de la línea, la prueba arrojará como resultados las pérdidas de corriente en los aisladores de cada estructura de la línea, luego estos resultados deberán ser comparados con los valores teóricos y admisibles para cada proyecto.

CAPÍTULO V

5.0 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD¹⁸

5.1 Concepto

Se entiende por calidad a la totalidad de las características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas.

5.2 Protagonistas de la calidad

Cada operario o empleado sabe de su trabajo más que nadie, sólo él conoce cosas que ni el encargado o superior conoce, la dirección desconoce muchas cosas que saben sus subordinados o los trabajadores de un departamento saben lo que su vecino ignora. Es por lo anterior, que la respuesta es terminante: todos somos responsables de la calidad.

Con las premisas y las respuestas anteriores es que concluimos, que para hacer cada día mejor las cosas y mejorar la calidad de los productos es necesario trabajar en equipo, ya que la meta es siempre la misma, terminar nuestro trabajo y que sea de satisfacción del cliente, otros puntos importantes son la humildad y reconocer que no lo sabemos todo y que debemos aprender del vecino, ser responsables en nuestro trabajo, entender que problemas hay siempre y que criticar es fácil, es por ello que la exposición de un problema será válida si va acompañada de alguna propuesta de solución.

¹⁸ La información contenida en este capítulo ha sido extraída principalmente de: ABENGOA (2003) y ABENGOA (2004).

5.3 Evolución de calidad

La calidad se ha desarrollado en fases bien definidas, tal como se anunciará a continuación:

- Una primera etapa tenía la misión de verificar el cumplimiento del producto con las especificaciones establecidas, vale decir, el Control de Calidad del producto final.
- En una segunda etapa, nace la necesidad de la satisfacción de los clientes mediante la entrega de productos y servicios adecuados al uso, lo que dio origen al Aseguramiento de Calidad.
- En una etapa posterior y debido al fuerte incremento de la competitividad de los actuales mercados, se postula la idea de superar las expectativas de los clientes a través del concepto de Gestión de Calidad Total, que incluye las nociones de auto-control y retroalimentación hasta la célula productiva básica.

5.4 Importancia de la calidad en una empresa

Para que una empresa, independiente del rubro, se pueda mantener vigente en el mercado deberá asegurar a sus clientes un producto satisfactorio de acuerdo a lo convenido entre las partes, a continuación mencionaré tres razones que constituyen aspectos motivadores en lo que respecta a Calidad:

- El ambiente empresarial actual es extremadamente competitivo, no solamente a nivel nacional, sino que a nivel internacional, esto último se debe a que nos encontramos insertos en un mundo globalizado, esto implica que no existen fronteras para las empresas, es por esto que además de cumplir con las normas nacionales se deberá cumplir también con los estándares propios de cada país, en el que se entrará a competir.

- Los consumidores de hoy en día son más exigentes con la calidad que en épocas pasadas. Ellos están dispuestos de cambiarse de una empresa a otra, no solamente con el propósito de obtener un mejor precio, sino también en busca de un mejor servicio que proporcione confiabilidad, accesibilidad y cortesía, entre otras características.
- El costo de la no-calidad, concepto relativamente nuevo al que ahora se le está prestando la debida atención, también se le conoce como la Empresa Fantasma, esto implica que una empresa que no dé confiabilidad perderá con el tiempo sus clientes y en el fondo desaparecerá del mercado.

Es por lo anterior, que toda empresa que tenga como aspiración competir y estar vigente en el mercado, debe implementar un plan de calidad para sus procesos productivos.

5.5 Implementación de un plan de calidad

Este plan de calidad deberá establecer los procesos a seguir y controles a realizar, para conseguir los niveles y estándares exigidos por las normas y especificaciones aplicables a un proyecto determinado y a su vez proporcionar la debida confianza al cliente, de que los trabajos ejecutados se comportarán satisfactoriamente una vez puestos en servicio.

Ahora analizaremos el alcance que tiene un plan de calidad, en una empresa dedicada al montaje de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, éste se aplicará en las actividades propias del desarrollo de ingeniería del proyecto, esto implica: topografía, construcción de fundaciones, montaje de estructuras, vestido de estructuras y tendido de conductores y las obras adicionales como construcción de caminos de acceso, franja de servidumbre, etc., además, se deberán incluir en este plan, el control de todos los materiales que se utilizarán en el desarrollo de las actividades.

Una vez definidos los alcances que tendrá el plan de calidad se deberán especificar las directrices de como controlar las diferentes actividades.

5.5.1 Control de materiales

Los materiales a emplear estarán definidos en las especificaciones que les sean de aplicación y/o en los planos de construcción. Además deberá existir una correspondencia inequívoca entre los materiales especificados y las ordenes de compras generadas para el pedido de suministro de estos. En el caso de que se considere necesario o aconsejable el cambio de algún material, se deberá elaborar un documento especial, indicando las razones del cambio y todas las especificaciones técnicas del material sustituto.

El control que efectuará sobre los aprovisionamientos para asegurar que los productos y servicios comprados, subcontratados o suministrados directamente por el cliente, cumplan con los estándares contractuales, deben ser evaluados con procedimientos gestados para este efecto, se propone un procedimiento de compra y evaluación de proveedores y además se debe seguir las indicaciones plasmadas en el plan de calidad de la empresa.

5.5.2 Control de documentación y archivos

Aquí se describirá en líneas generales como se debe llevar el control de documentos de una obra.

Primero es necesario aclarar que por contrato, el administrador de éste es el responsable de toda la obra, por lo que le recae el compromiso de velar por el cumplimiento del plan de calidad específico del proyecto que se ejecutará.

Para mantener un mejor orden de la documentación, y cumplir con lo establecido en el plan de calidad elaborado por la empresa, se establecerán dos tipos de documentación.

5.5.2.1 Documentación del cliente o ingeniería

Esta documentación corresponde a memorias de cálculo, especificaciones técnicas del proyecto y planos de construcción, toda esta documentación deberá ser archivada y las copias entregadas a los correspondientes responsables de las distintas disciplinas del proyecto en cuestión. Además, se deberá llevar un registro de ésta tanto en duro como en magnético, el cual contendrá todos los datos necesarios para facilitar la búsqueda de la información deseada, tales como nombre del documento, revisión de éste y fecha de recepción por el departamento correspondiente.

Toda documentación que en algún momento sea modificada por parte de ingeniería, deberá ser reemplazada de inmediato de los archivos y retirada de terreno contra entrega de la última versión, los documentos superados en revisión pueden ser destruidos o tachados con un timbre que los identifique como **obsoletos** para así evitar errores en el desarrollo del proyecto, la entrega de todo documento a terreno se efectuará llenando un protocolo de entrega de ésta, el cual debe contener como mínimo lo siguiente: fecha, correlativo, número de documento y revisión de éste, descripción del documento, número y revisión del documento que se sustituye (si aplica), nombre y firma de quien entrega y recibe, esto con el fin de tener un historial completo de la documentación enviada a terreno, además estos registros deberán permanecer archivados durante todo el desarrollo del proyecto, con el fin de que en cualquier momento puedan ser revisados por quien estime conveniente.

5.5.2.2 Documentación interna

Esta corresponde a toda la documentación generada por la empresa contratista, como solicitudes de cambio en el proyecto, protocolos de control de procesos, procedimientos ejecutivos para actividades que lo ameriten. Además, de los instrumentos creados para controlar la entrega a los jefes de áreas de documentación recibida por parte del cliente o ingeniería, aprobada para construcción; certificaciones de materiales y equipos a utilizar en la realización de los trabajos, estos instrumentos deben estar firmados como conformes por quienes corresponda.

5.5.3 Control de procesos

Esto corresponde al control de cada uno de los diferentes procesos que implica la construcción de una línea de transmisión, se realizará mediante protocolos o registros de control para cada torre en particular y para cada vano de control establecido por ingeniería para el caso de tendido de conductores de la línea, estos documentos de control de procesos deben ser completados y firmados por el responsable de la actividad que en ellos se contempla.

Además se deberán establecer procedimientos ejecutivos escritos, cuando la complejidad del proceso o la dificultad de realizar ensayos finales lo requiera, estos procedimientos deberán ser presentados previamente al mandante para su aprobación, una vez visados por este deberán ser leídos a todo el personal involucrado en las tareas para toma de conocimiento.

Toda la documentación antes expuesta debe ser manejada de tal forma, que sea de fácil ubicación para cualquier persona que quiera consultarla, por otra parte es necesario dejar claro que los registros de control de procesos deberán ser entregados al cliente una vez finalizado el contrato con las firmas de los responsables de las

distintas actividades, control de calidad de la empresa y además por el visto bueno de la inspección de obra.

5.5.4 Control de no conformidades

Para este efecto es necesario definir las directrices para regular las no conformidades del cliente, control de productos no conformes por parte de proveedores, trabajos mal ejecutados por sub-contratistas o propios ejecutores de la empresa, etc., y por otro lado las acciones correctivas y preventivas para estas no conformidades.

5.6 Control de calidad de los trabajos en una línea de transmisión eléctrica

A continuación se enunciará como se lleva el control de procesos y verificación de la calidad en las tareas involucradas en la construcción de una línea de transmisión eléctrica:

- Se deberá contar en cada frente de trabajo con supervisores idóneos según especialidad, para controlar todas las actividades relacionadas.
- Se deberá mantener una comunicación fluida con la inspección de obra, para solucionar problemas tanto de interpretación de la documentación aplicable, como de problemas técnicos presentados en los frentes de trabajo.
- Esa relación se documentará en forma oficial por medio de órdenes de servicio, notas de pedido y actas entre ambas partes o a través de alguno de los medios empleados para este tipo de tareas.
- Se estudiarán los problemas técnicos que aparezcan en la obra para emitir las correcciones que correspondan. Al respecto se implementará todo el apoyo técnico que resulte necesario. Todos los problemas técnicos que se presenten en obra deberán ser comunicados a la coordinación de obra a

efectos de tenerlos en cuenta en la revisión de la ingeniería de detalle y en la conducción general del contrato.

- Se realizará el seguimiento y control pormenorizado de la ejecución de la obra, a fin de lograr que se cumpla con las especificaciones del cliente y los plazos previstos para su ejecución.
- En consecuencia, se deberá prever visitas a terreno, por personal de la coordinación de obra y/o ingeniería, según necesidad a determinar en función de la índole de los problemas a resolver, de las cuestiones a aclarar o estudiar y de los eventuales pedidos que formule el inspector de obra.
- De esta forma, se estima, estarán permanentemente controlados todos los aspectos de las obras, y se podrá tomar conocimiento directo de los problemas técnicos y administrativos que se vayan presentando y así dar efectivo apoyo a la ejecución de las obras. Como así mismo, se podrá tomar conocimiento en el emplazamiento de eventuales inconvenientes que dificulten el avance de las obras pudiendo informarse al mandante en forma rápida y concreta para eventuales medidas correctivas, que por su naturaleza, deban estar a cargo de éste.
- Con respecto al control que los responsables de obra efectuarán durante su ejecución, se hará especial hincapié en los replanteos, en la verificación dimensional, en la calidad de ejecución (empleo de herramientas y equipos adecuados y personal calificado para la complejidad de la tarea asignada), en la utilización de los materiales que correspondan y su certificación de calidad, y en la supervisión de construcciones, montajes, cableados, conexionados y ensayos para las tareas que lo ameriten.
- Se implementará un control diario a fin de que se mantenga en el emplazamiento las dotaciones necesarias de personal jerárquico, capataces y obreros, así como toda maquinaria, herramientas y equipo pesado en

general, necesario para desarrollar la obra según programación de obra vigente, conjuntamente con detalles informativos sobre cuestiones singulares como accidentes de trabajo, retiro del personal por enfermedad, inconvenientes de tipo general para el desarrollo conjunto de las tareas, etc., de modo de informar al mandante sobre los posibles atrasos en la obra.

- Los responsables en los distintos frentes de trabajo elevarán a la coordinación de obra, informes semanales sobre el avance de éstas, enunciando los problemas que se vayan presentando. Estos informes serán sintéticos y precisos y contarán, cuando sea necesario, con fotografías color de labores o aspectos significativos de las obras. Los cuales deberán ser guardados en orden cronológico por la coordinación de obra, hasta la finalización de los trabajos.
- Se controlará la realización adecuada de las diversas actividades que se efectúen en el emplazamiento, como ser operaciones de carga y descarga de materiales y/o equipos, trabajos de desembalaje y eventual reconstrucción parcial o total de embalajes, la correcta estiba y almacenamiento de materiales y equipamientos, así como también su traslado y preparación dentro del predio de la obra antes de ser instalados.
- Se controlará permanentemente la toma de muestras, la realización y los informes y conclusiones de los ensayos de materiales para las obras civiles, como así también los correspondientes a la compactación de terrenos y muestra de los hormigones utilizados en las fundaciones.
- Se preparará y emitirá después de la puesta en servicio, toda la documentación “Conforme a Obra” del Proyecto de Ingeniería y de las provisiones. Para esta tarea se establecerá, al iniciarse el contrato, los procedimientos para poder elaborar en forma adecuada y progresiva toda la

actualización de la documentación con la categoría “Conforme a Obra”, para su presentación final.

- Se verificará el cumplimiento de normas y resguardo de las instalaciones existentes, donde ello sea necesario, que deban desmontarse para el desarrollo de los trabajos (cruce de caminos, acople de estructuras, pórticos, interferencias con líneas de transmisión eléctrica perteneciente a terceros, líneas aéreas de menor tensión, líneas telefónicas, etc.).
- Se controlará las progresivas de los distintos tramos que la componen, la cota de colocación, el estado de la cama de asiento, y el estado y compactación del material de relleno.
- Durante el montaje de las estructuras, se controlará el adecuado almacenamiento de ésta al pie de su fundación, a efectos de evitar deterioro del galvanizado.
- Se tendrá especial atención en el control del manipuleo de este material con el objeto de minimizar el deterioro del galvanizado, producido por golpes y/o punzonamiento, durante el posicionamiento de los elementos que componen las estructuras.
- Se constatará el aplome y giro de las estructuras mediante control topográfico, asegurando que las mismas cumplan con las tolerancias requeridas.
- Se deberá chequear aleatoriamente por medio de llave torquimétrica el apriete de los pernos que conforman la estructura.
- Se controlará que las cadenas de aisladores de suspensión y retención sean armadas en el suelo sobre maderas que la protejan y no en la estructura.
- Se deberá tener especial cuidado al momento en que se ejecuten las tareas de tendido de conductores, para evitar que estos sean maltratados a priori al

tendido, el conductor jamás debe tocar el suelo y si es inevitable hacerlo se deberán colocar elementos de madera para su apoyo.

- Se deberá asegurar que el conductor sea tendido en primera instancia sólo en poleas, para facilitar el acomodamiento de sus hebras, con el fin de lograr su alargamiento inicial.
- La verificación de tendidos y flechas se realizará mediante control topográfico, contrastando la temperatura ambiente con la indicada en las “tablas de tendido” correspondientes, tanto para conductores como para cable de guardia ya elaboradas en función de las premisas de cálculo, estados de carga y viento calculadas previamente por ingeniería.

CAPÍTULO VI

6.0 PREVENCIÓN DE RIESGOS¹⁹

6.1 Conceptos básicos de prevención de riesgos

- a) **Prevención de riesgos:** es la técnica que permite el reconocimiento, evaluación y control de los riesgos ambientales que puedan causar accidentes y/o enfermedades profesionales.
- b) **Incidente:** es un acontecimiento no deseado que resulta, o puede resultar, en deterioro de la eficiencia y eficacia de la gestión de la empresa, amenazando el logro de sus objetivos.
- c) **Cuasi-accidente:** acontecimiento cuya ocurrencia no arroja pérdidas visibles o medibles, no obstante si se repite bajo circunstancias un poco diferentes, puede terminar en accidente o en falla operacional.
- d) **Accidente:** acontecimiento o acto no deseado que interrumpe un proceso normal de trabajo causando lesiones personales y/o daños a la propiedad.
- e) **Enfermedad profesional:** es aquella causada de una manera directa por el ejercicio de la profesión o el trabajo que realice una persona y que le produzca incapacidad o muerte.

6.2 Políticas de prevención de riesgos

La política general usada por las empresas de montaje electromecánico, es cumplir con la normativa de la legislación chilena vigente (Ley N° 16.744 con sus reglamentos y decretos) referentes a todos los aspectos que involucra los accidentes del trabajo y las enfermedades profesionales.

¹⁹ La información contenida en este capítulo ha sido extraída principalmente de: ABENGOA (2003) y ABENGOA (2004) y complementada con TRENER LTDA (2002).

Como política particular, se debe implantar un plan de prevención de riesgos dentro de los procesos productivos de la firma, esto con el fin de evitar acciones y/o condiciones subestándares en el desarrollo normal de las tareas encomendadas, lo que arrojará como resultado un mejoramiento continuo de la productividad, disminución de daños a las personas y la propiedad.

Este plan debe ser flexible, en la medida que así lo requieran las necesidades de las faenas, esto se logra realizando evaluaciones de los resultados obtenidos y ejecutando los ajustes pertinentes que permitan mejorarlo de manera de alcanzar los objetivos trazados en un comienzo.

La gerencia debe destinar los recursos necesarios al departamento de prevención, para así poder cumplir con los objetivos trazados, también deberá motivar al personal contratado a través de cursos de capacitación, tanto en lo relacionado con la especialidad como en materias de seguridad, salud ocupacional, calidad, etc.

La empresa con el fin de disminuir sus tasas de accidentabilidad, mejorar su imagen corporativa, minimizar las cotizaciones adicionales, multas, etc., deberá hacerse asesorar por un organismo competente, esto con el fin de evaluar en forma continua el mejoramiento de su desempeño en lo que respecta a seguridad y salud ocupacional y a su vez certificar que el sistema implementado cumple con la normativa vigente.

6.3 Principios de un plan de prevención de riesgos

- Establecer procedimientos, estándares e instructivos para establecer criterios de actuación, control y verificación de las actividades a ejecutar.
- Proteger los recursos productivos como: personal, equipos, maquinarias, materiales, etc.

- Orientar a detectar y controlar las causas-origen de los accidentes, los cuales afectan la productividad de una empresa al dañar los recursos destinados a la producción.
- Apuntar hacia una acción preventiva para evitar las pérdidas que se pudieran producir, antes de generar una acción correctiva posterior a los sucesos.
- Prever, eliminar o minimizar la ocurrencia de incidentes en el trabajo y las consecuencias que pudiese tener y/o sus resultados, tanto en el aspecto humano como en lo material.
- Mantener bajo control las pérdidas relacionadas con los daños accidentales a la propiedad de todo tipo, mediante la ejecución de un trabajo eficiente.
- Mantener bajo control las pérdidas inherentes que resultan del mal aprovechamiento de los recursos disponibles (tanto humanos como materiales y equipos).
- Mejorar las relaciones laborales y clima organizacional.
- Mantener en los frentes de trabajo el personal adecuado para cada tarea.
- Involucrar a los actores directos, que son quienes saben mejor del trabajo a ejecutar, para que evalúen y detecten los riesgos existentes.
- Asignar responsabilidades de higiene y seguridad, no sólo a la supervisión sino que también a los subordinados, con el fin de crear conciencia de la importancia que tiene velar por su salud y la de sus compañeros.
- Ejercer un liderazgo sobre el plan establecido, éste debe ser claro y con la energía suficiente, para crear un clima de aceptación y contribución de todo el personal, para garantizar el éxito de éste.

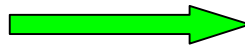
6.4 Factores involucrados en los accidentes

Los accidentes como ya lo hemos definido son acontecimientos o actos no deseados, pero estos acontecimientos o actos obedecen a la ley de causalidad, es decir si eliminamos las causas también eliminaremos sus efectos colaterales, los factores que influyen en estas causas son muchos, pero se pueden sintetizar en dos grupos: humanos y el ambiente de trabajo.

- **Factor humano:** un operador hace o deja de hacer algo, lo cual trae como consecuencia un incidente, el responsable de la causa es el hombre que debido a un factor personal comete una acción subestándar, los factores personales son los siguientes:

Factores personales

No sabe



No puede



No quiere



Medidas de control

Capacitar

Seleccionar

Motivar

- **Factores ambientales:** son aquellos que están presentes en los lugares de trabajo y que si no se toman las medidas necesarias pueden transformar una actividad normal en una condición subestándar, a continuación se entregan los factores más relevantes presentes en los lugares de trabajo y las medidas de control para evitar condiciones inseguras.

| Factores ambientales | Medidas de control |
|--|---|
| Insuficiencia de espacio en lugares de trabajo. | Mantener sólo lo necesario en cada frente de trabajo y mantener las vías de circulación despejadas. |
| Herramientas, maquinarias y equipos en mal estado. | Implementar programas de mantención periódicos. |
| Falla en los elementos de protección personal. | Se debe programar revisiones periódicas de éstos, para así dar de baja aquellos que se encuentren en evidente estado de deterioro y que no cumplan con los estándares exigidos. |

| | |
|--|---|
| Compra o arriendos inadecuados. | Establecer procedimientos claros para requerimientos y compras. |
| Generación de riesgos debido a las actividades propias de la construcción. | Instalar señalética adecuada, proteger estos lugares, instruir al personal de los riesgos existentes. |
| Falla en elementos de levante de carga. | Revisión periódica de éstos, reemplazo de aquellos que se encuentren en mal estado. |
| Fatiga de materiales de construcción. | Utilizar materiales especificados y solicitar certificación del proveedor. |

6.5 Riesgos en la construcción

Dentro de las causas básicas de accidentes en la construcción, se pueden mencionar los siguientes:

6.5.1 Despeje de franja de servidumbre

a) Causas básicas

- Golpes por o contra los árboles que se están talando.
- Atrapamiento producto de las tareas relacionadas.
- Sobreesfuerzos al usar técnicas inadecuadas en el manejo de equipos de trabajo.

b) Medidas preventivas

Para evitar incidentes en el desarrollo de estas faenas, se recomienda que en el área de trabajo se encuentren sólo el personal capacitado para estas tareas, los cuales previo a las maniobras deberán ser instruidos sobre la formas más seguras de realizar dicha actividad.

6.5.2 Excavaciones

a) Causas básicas

Atrapamiento, ya sea por falla de cohesión del terreno que se está excavando, falla de las entibaciones, caída de material resultante de la excavación.

- Caídas de distinto nivel, desde el borde de la excavación.
- Golpe por caída de materiales.
- Caídas desde pasarelas y escalas.
- Golpes con equipos de excavación en roca.
- Faenas de percusión o trepidación cercana a las excavaciones.

b) Medidas preventivas

Se debe realizar un reconocimiento preeliminar del terreno, un estudio de mecánica de suelos, ya que con estos antecedentes podremos evaluar la forma de ejecución de los trabajos.

Toda excavación deberá estar debidamente señalizada y protegida, los trabajadores involucrados en las tareas deberán contar con todos los elementos de protección personal necesarios, en caso de tratarse de excavación profundas el personal que se encuentra dentro de la excavación deberá en todo momento estar vigilado por un loro vivo, el cual en caso de algún riesgo provea a sus compañeros de una cuerda de vida para poder salir de la excavación, aquellos trabajadores que se encuentren al borde de la excavación colaborando con la subida de material deben estar afianzados con una arnés de seguridad a un cable dispuesto para este fin.

El material excedente producto de la excavación deberá ser acopiado a una distancia mínima de 0.6 m., del borde de la excavación y en lo posible debe ser retirado el material no apto para rellenos. Con respecto, a los materiales éstos deben

ser acopiados a una distancia prudente para evitar la caída accidental de éstos sobre el personal que se encuentra dentro del foso.

De ser necesario la construcción de pasarelas para traslado de material, éstas deberán contar con condiciones mínimas de seguridad, esto quiere decir estar bien apoyadas al suelo, contar con protecciones laterales, en el caso de ser de madera, éstas deben estar exentas de nudos para así evitar colapsos al transitar por ellas, además estas vías de circulación deben mantenerse limpias y ordenadas, en caso de derrame de aceites deberán ser cambiadas de inmediato.

Los operarios deberán siempre entrar y salir de la excavación por medio de escalas, éstas deben estar diseñadas de acuerdo a norma y encontrarse apoyadas en forma segura al suelo, contar con la inclinación necesaria para evitar su volteo y sobresalir como mínimo un metro por sobre el nivel de suelo natural.

El personal para trabajar en excavaciones con equipos neumáticos deberá ser capacitado para este efecto, este deberá ser capaz de identificar si el equipo está en condiciones de ser usado o no, además deberá estar provisto de todos los elementos de protección personal necesarios para esta tarea.

En caso de existir tronaduras, presencia de equipos de compactación pesados cercanos a los lugares de trabajo y que pongan en riesgo al personal que esté ejecutando las tareas de excavación se deberán suspender las faenas mientras duren las anteriores.

6.5.3 Montaje de estructuras

a) Causas básicas

- Golpes por caída de materiales.
- Caída de distinto nivel.

- Atrapamiento con estructuras.
- Choques eléctricos.

b) Medidas preventivas

Todo el personal que se encuentre bajo el área de trabajo deberá contar con elementos de protección personal, se debe evitar que transiten personas bajo el área de montaje o movimiento de estructuras y aquellos que participen en la maniobra deberán hacerlo con precaución.

El personal de montaje deberá estar equipado con arnés de seguridad de 2 colas, uno para mantenerse afianzado a la estructura para poder realizar las maniobras que le corresponden y la otra cola debe estar conectada a la cuerda de vida vertical, esta cuerda debe estar siempre libre de obstáculos y se desplaza a medida que la estructura va incrementando su altura, por otro lado el operador deberá ir desplazando su carro deslizante por esta cuerda a medida que asciende en la estructura y el carro debe encontrarse en todo momento sobre la cabeza del trabajador. También es necesario recalcar que cuando el operador se cambia de posición en la estructura nunca debe dejara de estar asegurado a la cuerda de vida.

Para evitar colapsos en los mecanismos de levante, éstos deberán ser chequeados a priori a su utilización, es decir se debe revisar el estado del equipo y accesorios y capacidad de levante calculado por el fabricante.

El personal que participa en estas maniobras debe estar capacitado para efectuar rescates en caso de atrapamiento en altura.

Se deberá tener especial cuidado cuando se trabaja cerca de líneas energizadas, en este caso se debe evaluar las condiciones presentes y generar un procedimiento específico de trabajo, esto con el fin de evitar que el personal entre de contacto en forma directa o indirecta con la línea energizada.

CAPÍTULO VII

7.0 IMPACTO AMBIENTAL²⁰

La electricidad es actualmente la energía de consumo más limpia de la cual se tenga conocimiento. Junto a ello, la energía eléctrica es también una pieza fundamental para el desarrollo de nuestro país y el mundo entero. De hecho, el Consejo Mundial de la Electricidad señaló que, entre los años 1990 y 2020, la producción de electricidad a nivel mundial debiera duplicarse.

A pesar de lo expuesto anteriormente en las distintas etapas de construcción de los proyectos de generación y redes de transmisión eléctrica se producen efectos más o menos importantes sobre el medio ambiente, es por esto que toda empresa relacionada con la explotación en las distintas etapas del sistema eléctrico debe establecer un compromiso ambiental serio, con políticas medio ambientales eficientes dentro de su compañía, cumpliendo con las exigencias mínimas establecidas en las normas internas de cada país como así los compromisos adquiridos en los tratados internacionales.

Un proyecto con un estudio acabado puede evitar muchos de los impactos, en la etapa de diseño, esto contribuye enormemente en mitigar los efectos producidos en el desarrollo de una obra de ingeniería.

7.1 Compromiso ambiental

Toda empresa debe estar consciente que la protección de la naturaleza se debe tener en cuenta en cualquier actividad económica, ya que de ello dependerán las futuras generaciones, contribuyendo así al desarrollo sustentable.

²⁰ La información relativa a este capítulo ha sido extraída principalmente de: ABENGOA (2003) y (2004).

Es por ello que las empresas dedicadas al rubro de explotación eléctrica han decidido desarrollar sus actividades empresariales de manera respetuosa con el medio ambiente, comprometiéndose con la eficiencia energética, debido a la cada vez mayor escasez de recursos naturales y no renovables.

Para hacer frente al desafío ambiental, dichas empresas se comprometen a ir más allá del estricto cumplimiento de la normativa aplicable, intensificando los apoyos necesarios y estableciendo políticas claras para garantizar el uso racional de los recursos y la minimización de los residuos, contribuyendo al desarrollo sustentable que demanda la sociedad.

7.2 Principios básicos de una política Ambiental

- Integrar la gestión ambiental y el concepto de desarrollo sustentable en la estrategia corporativa de la empresa, utilizando criterios ambientales documentados en los procesos de planificación y de toma de decisiones.
- Utilizar racionalmente los recursos y reducir la producción de residuos, emisiones y vertidos, mediante la aplicación de programas de mejora continua y el establecimiento de objetivos y metas ambientales, haciendo que las instalaciones y actividades de la empresa sean cada día más respetuosas del entorno, minimizando de esta manera el impacto ambiental.
- Mantener en todos los centros un control permanente del cumplimiento legislativo y la revisión periódica del comportamiento ambiental y de la seguridad de las instalaciones, comunicando los resultados obtenidos a la entidad reguladora.
- Conservar el entorno natural de las instalaciones mediante la adopción de medidas encaminadas a la protección de las especies de fauna y flora y de su hábitat.

- Potenciar el uso de energías renovables y la investigación y el desarrollo de tecnologías más limpias y eficientes.
- Promover un grado de sensibilización y conciencia para la protección ambiental del entorno, mediante la formación interna y externa y la colaboración con las autoridades, instituciones y asociaciones ciudadanas.
- Exigir a los contratistas y proveedores la implantación de políticas ambientales coherentes con los presentes principios.
- Fomentar el uso racional y el ahorro de energía entre los usuarios y la sociedad en general.

7.3 Impactos generados en la construcción de líneas de transmisión eléctrica

Los impactos generados en la construcción de una línea de transmisión de energía eléctrica, se pueden clasificar en tres grupos:

7.3.1 Transformación del medio físico

Es aceptable que en el desarrollo normal de toda construcción se produzca un cambio en el paisaje, ya que es necesario construir caminos, emplazar las instalaciones provisionarias y permanentes, por lo que es inevitable llevar a cabo tareas como: escarpe de la capa vegetal y tala de árboles existentes en la zona afectada.

En la construcción propia de la línea se debe despejar una franja a lo largo del trazado, de tal forma que en ningún caso se exponga el normal funcionamiento del sistema por la caída, ya sea intencional o fortuita, de algún árbol cercano a la instalación, esto de acuerdo a las exigencias establecidas en la norma de instalación de corrientes fuertes.

7.3.1.1 Recomendaciones

- Para el caso del despeje de la franja de servidumbre se deberá respetar en lo posible las exigencias mínimas establecidas en la norma de instalación de corrientes fuertes de acuerdo a la categoría de la línea, esto con el fin de evitar la tala indiscriminada de la población arbórea del sector.
- Para cumplir con el punto anterior, el administrador responsable del contrato deberá comprometerse a incorporar un plan de manejo forestal y la supervisión responsable de esta tarea deberá exigir y controlar que se cumpla con lo establecido, de acuerdo al procedimiento de trabajo generado para la ejecución de esta faena.
- Se deberá instruir al personal que participa en las faenas, con relación al riesgo de incendios forestales, esto con el fin de evitar impactos ambientales aún mayores en la zona de trabajo.

7.3.2 Generación de residuos

Este es quizás uno de los temas más complejos durante el desarrollo de la construcción, ya que por un lado aparece o aumenta considerablemente la generación de residuos de distinto tipo y por otro lado se tiende a buscar soluciones ilegales. Es por esto, que con el correr de los años las empresas han debido establecer estándares y procedimientos de manejo de los residuos producidos en las distintas etapas de construcción.

7.3.2.1 Manejo de residuos emanados en la construcción

Para un adecuado tratamiento o reciclaje de los residuos generados se recomienda clasificarlos, de acuerdo al siguiente criterio:

Residuos domésticos u oficina: son aquellos desechos sólidos, que una vez descartados no presentarán riesgos para la salud del personal ni al medio ambiente, y

son generados durante el aseo o normal funcionamiento de una instalación, por ejemplo: papel, cartón, trozos de plástico, desechos de oficinas, tonner de impresoras en sus envases, pequeñas cantidades de vidrio y metal, envases de productos domésticos, botellas y pequeñas cantidades de restos de comida ligera (galletas, pan, frutas y otros consumos de oficinas).

Residuos industriales: contempla los restos sólidos producidos durante la construcción, modificación o eliminación de una instalación, el descarte de componentes de maquinarias, etc., por ejemplo: grandes cantidades de metal, plástico, madera, cartón, vidrio, concreto, materiales de construcción, productos de demolición, neumáticos, restos de conductores, tuberías, cañerías, filtros de aire, mangueras hidráulicas y de aire, restos de correas transportadoras, lonas, restos de membranas, geotextiles, latas, etc.

Residuos Orgánicos: son restos que se generan en el normal funcionamiento de una cocina que presta servicio de alimentación al personal, por ejemplo: limpieza de ollas, recipientes y vajilla, más todo desecho de tipo vegetal o animal que se descarta durante la preparación de las comidas, lodos de descartes y grasas de planta de aguas servidas, restos de comida en general.

Residuos peligrosos: se refiere a desechos que representan un inmediato o futuro peligro para el medio ambiente y/o la salud del personal, estos estarán compuestos por: masillas epóxicas, baterías y pilas de equipos electrónicos y cualquier objeto o sustancia que contenga o se encuentre contaminada con los residuos tóxicos mencionados. Se recomienda que las baterías de vehículos, aceites y lubricantes usados deberán ser almacenados en el depósito de residuos peligrosos, sobre pallets y en tambores metálicos, lo cuales deberán ser sellados y retirados de la faena.

7.3.2.2 Recomendaciones en el manejo de residuos

Para poder cumplir con lo anteriormente expuesto, se deberá entregar información clara a todo el personal sobre los estándares implantados en la compañía sobre el manejo de los residuos producidos y se deberá mantener depósitos adecuados en todos los frentes de trabajo, en las instalaciones de faena, casinos, etc., estos deben estar rotulados en forma clara para el tipo de desecho que deberán contener e identificar los depósitos con colores, los cuales deben estar definidos en el respectivo procedimiento de manejos de residuos.

Igualmente se deberá contar con un vertedero para depositar los residuos orgánicos, domésticos e industriales, éste debe contar con los permisos de la autoridad ambiental y debe encontrarse en todo momento ordenado, para poder cumplir con la expectativa de vida del vertedero. Para el retiro de las instalaciones de los residuos identificados como peligroso, se deberá contratar una empresa que se especialice en este tema.

Es importante destacar que todos aquellos embalajes de equipos importados, contruidos con madera, deberán ser quemados para evitar posibles contaminaciones a nuestro medio.

7.3.3 Aumento de emisión de material particulado

Durante toda la construcción se debe mantener en forma casi continua el funcionamiento de maquinarias necesarias para el normal desarrollo de todas las etapas inherentes al proyecto, éstas emiten una cantidad considerable de gases a la atmósfera, por otro lado se puede mencionar el aumento de polución producto del transito de vehículos motorizados por los caminos contruidos para poder llegar a los distintos frentes de trabajo.

Estos efectos, si bien es cierto no pueden ser eliminados en su totalidad, se debe tener conciencia de que en muchas situaciones se puede minimizar los efectos nocivos al medio ambiente.

7.3.3.1 Recomendaciones

- Se deberá contar con una camión tipo cisterna, el cual deberá recorrer todos los frentes de trabajo y caminos con el fin de regarlos, para así aminorar la cantidad de polvo generado por el tránsito de maquinarias, camionetas, camiones, etc.
- Al momento de decidir la contratación de los distintos tipos de maquinarias, camiones, camionetas, equipos, etc., se debe aumentar el nivel de exigencias a la empresa contratada, requiriendo documentos oficiales del estado del vehículo y si es necesario establecer requisitos de antigüedad de estos para poder operar en la faena.
- Se deberá implantar un procedimiento de mantención de vehículos, maquinarias y equipos, el cual debe contemplar listas de verificación del estado de estos, estas listas de verificación deberán ser llenadas por el operario a cargo y entregadas al departamento de prevención de riesgos, esto con el fin de evaluar las condiciones de operabilidad de estos.
- En el caso de que la faena se encuentre lejos de un centro urbano, donde mandar los vehículos, maquinarias y equipos a mantención se deberá implementar instalaciones adecuadas para este efecto, esto con el fin de evitar la contaminación del suelo con productos líquidos tales como: aceites, combustibles u otros elementos.
- Con respecto a quemas, éstas deben ser controladas y se efectuarán sólo en casos estrictamente necesarios, además se prohibirá la quema de cualquier material que produzca gases y/o partículas nocivas, como por ejemplo aceites, lubricantes, neumáticos, etc.

7.4 Desmovilización de las instalaciones

Una vez finalizado el proyecto se deberán retirar todas las instalaciones provisionales del área afectada, materiales que no fueron utilizados, etc., en definitiva se deberá dejar toda el área despejada y en óptimas condiciones, con respecto a los caminos construidos durante la etapa de construcción sólo se dejarán los que en el futuro permitan acceder a los distintos puntos de la línea para su revisión y mantención.

Para poder mitigar el impacto que produce la desaparición de árboles y arbustos en la franja de servidumbre, se puede acordar con los dueños de los terrenos el cultivo de plantaciones frutícolas, cuidando que la altura no supere lo establecido en la norma de instalación de corrientes fuertes.

CAPÍTULO VIII

8.0 DESCRIPCIÓN PROYECTO INTERCONEXIÓN CELULOSA ARAUCO – SIC

Se presenta la descripción de este proyecto para visualizar como es una actividad real, en la cual se aplicó la metodología antes reseñada.

8.1 Generalidades

Este proyecto fue ejecutado entre octubre de 2002 y diciembre de 2003, período en el cual se contemplan las etapas de diseño, construcción y puesta en servicio de las instalaciones.

Su ubicación geográfica es en la provincia de Valdivia, a 6 Km., al noreste de la Comuna de San José de la Mariquina, en la cual el Tesista participó como asistente de oficina técnica y control de calidad para la empresa ABENGOA CHILE S.A., responsable del diseño y construcción de la línea 1x220 kV., más dos subestaciones eléctricas.

Dicho proyecto surge con la necesidad de comercializar el excedente de energía eléctrica, por parte de Arauco Generación, al sistema Interconectado Central (S.I.C.). Por lo que fue necesario construir una subestación de transformación dentro de las dependencias de Celulosa Arauco y Constitución S.A., más una línea 1x220 kV., que sirve de enlace entre ambas subestaciones, ambas de propiedad de CELCO, y una subestación de maniobra para poder conectarse al circuito Temuco – Valdivia del S.I.C. propiedad de Transelec.

Para este proyecto ABENGOA CHILE, subcontrató a la empresa de ingeniería REICH LTDA., para ejecutar la totalidad del diseño del proyecto. El tiempo de duración de esta etapa fue de aproximadamente diez meses a contar de Octubre

del 2002. Debo aclarar que la duración de la etapa de diseño contempla también las dos subestaciones antes mencionadas.

8.2 Antecedentes técnicos

La línea que se construyó tiene las siguientes características:

- **Categoría de la línea:** C.
- **Tensión de servicio:** 220 KV.
- **Potencia máxima de transmisión:** 60 MVA.
- **Longitud de la línea:** 1828,20 m.
- **Tipo de estructuras:** estructuras tipo torre reticulada, de acero galvanizado en caliente.
- **Número de estructuras de suspensión:** 3.
- **Número de estructuras de anclaje:** 5.
- **Circuitos:** simple (1x220 kV).
- **Características del conductor:**

| | |
|--------------------------|---|
| Nombre de código | FLINT |
| Sección de aluminio | 740.8 MCM ó 375.4 mm ² . |
| Hebras | 37 de 3.6 mm. |
| Diámetro total | 25.1 mm. |
| Peso | 1.035 kg./m. |
| Resistencia a la ruptura | 11070 kg. |
| Capacidad térmica | 860 Amp. ó 327 MVA por circuito a 220 kV. |
- **Aislación:** se utilizaron aisladores de disco tipo flexible, de material de vidrio, donde se consideró 13 discos para las cadenas de suspensión (L = 2,00 m.) y 14 para las de anclaje (L = 2,15 m.), con lo cual se obtiene el nivel de aislación y distancia de fuga adecuada, para la tensión y las condiciones climáticas del sector.

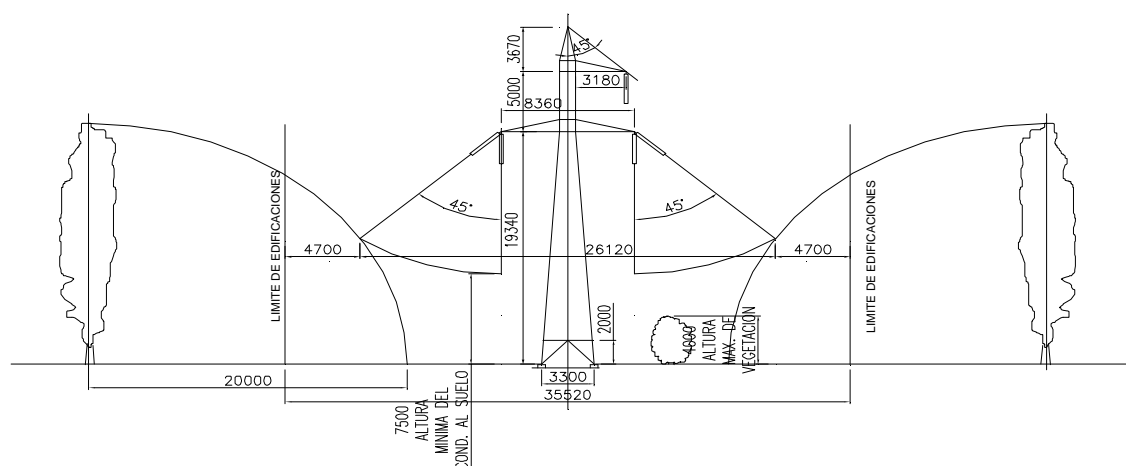
8.3 Despeje de la franja de servidumbre

Los trabajos de tala de árboles en el trazado de la línea se ejecutó con personal especializado de Forestal Arauco, cumpliendo los estándares y procedimientos ejecutivos establecidos para estas faenas por dicha empresa.

Las consideraciones para el cálculo del ancho de la franja de servidumbre fueron:

- El punto más bajo de la catenaria del conductor a 7,50 m. sobre el suelo, considerándose la condición más desfavorable en el tendido.
- Desviación de las cadenas de suspensión y conductores, producto del viento, con respecto a un plano vertical de 45 grados versus los 30 grados exigidos como mínimo en la norma.
- Se consideró una altura máxima de las especies arbóreas del sector en 20 m. y terreno con pendiente suave, por lo que la franja debe quedar de un ancho mínimo de 58,52 m. en el lugar donde se produce el punto más bajo de la catenaria en cada tramo.
- La distancia mínima en que deben ubicarse las edificaciones futuras en el sector es de 4,7 m.

Figura N° 1.



Fuente: plano de roce y servidumbre emitido por REICH ingeniería a ABENGOA CHILE.

8.4 Construcción de fundaciones

Para la construcción de fundaciones se consideró lo siguiente:

- De acuerdo al informe geotécnico emitido por FCQ GEOTECNIA-INGENIERÍA para el diseño de fundaciones y estructuras, el suelo donde se fundaron las estructuras corresponde al tipo 6 según clasificación Endesa.
- Las excavaciones fueron ejecutadas con retroexcavadora y sólo se utilizó el método manual para obtener el sello de fundación y el emparejamiento de las paredes de la excavación.
- Toda la enfierradura de refuerzo utilizada en las fundaciones es de calidad A63-42H, las formas de las armaduras fueron hechas en taller ubicado en las instalaciones de faena de la obra.
- Los hormigones utilizados fueron grado H-10 para los emplantillados y H30 para las fundaciones, todos elaborados en planta y trasladados a terreno en camiones tipo Mixer, la distancia máxima de traslado de hormigones fue de aproximadamente 2500 m., ya que dentro de las instalaciones de Celulosa Arauco se instaló una planta de hormigón premezclado.
- ABENGOA CHILE contó con los servicios en forma permanente de un laboratorio especializado, para todos los ensayos exigidos en el contrato por Celulosa Arauco, tanto de suelos como de hormigones, además en forma paralela se tomaron muestras aleatorias por parte del laboratorio de Ensayes de Materiales de Construcción (LEMCO), de la Universidad Austral de Chile, a quienes les correspondió la fiscalización de todo el proyecto de Celulosa Arauco.

Los volúmenes aproximados de obra ejecutados en el proyecto fueron las que indican a continuación:

| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Nº de estructuras | Total |
|------|-----------------------------|--------|----------|-------------------|-------|
| 1 | Excavación (suspensión). | m3 | 48 | 3 | 144 |
| 2 | Excavación (anclaje). | m3 | 98 | 5 | 490 |
| 3 | Enfierradura (suspensión). | Kg. | 650 | 3 | 1950 |
| 4 | Enfierradura (anclaje). | Kg. | 870 | 5 | 4350 |
| 5 | Hormigón H-10 (suspensión). | m3 | 0,95 | 3 | 2,85 |
| 6 | Hormigón H-10 (anclaje). | m3 | 1,65 | 5 | 8,25 |
| 7 | Hormigón H30 (Suspensión). | m3 | 13 | 3 | 39 |
| 8 | Hormigón H-30 (anclaje). | m3 | 19 | 5 | 95 |

8.5 Montaje de estructuras

El montaje de estructuras se realizó de acuerdo a los planos de montaje emitidos por REIC INGENIERÍA y el método de montaje que se utilizó en esta oportunidad fue con apoyo de una grúa de 25 Toneladas, izando estructuras prearmadas en el nivel de suelo y luego llevadas hasta su posición definitiva. Una vez que el alcance de grúa fue insuficiente se procedió a izar la estructura faltante por medio de pluma auxiliar hasta completar la torre, este procedimiento se repitió en todas las estructuras contempladas en el proyecto.

Descripción de las torres diseñadas para el proyecto:

| Ítem | Descripción | Cantidad | Kg. estructura | Tipo de pata | Altura (m.) |
|------|-------------------|----------|----------------|--------------|-------------|
| 1 | Torre suspensión. | 3 | 2800 | ± 0 | 28,01 |
| 2 | Torre anclaje. | 5 | 5800 | ± 0 | 27,76 |

La calidad del acero utilizado fue de A52-34ES para las barras de fundación y A37-24ES para los enrejados que conforman la estructura central, crucetas y canastillo de cable de guardia. Las dimensiones mínimas utilizadas en el proyecto

fueron: 40x40x3 para los perfiles “L”, 5 mm. de espesor para las planchas y diámetro de 5/8 para los pernos de fijación, todos estos elementos galvanizados en caliente según normas ASTM correspondientes.

8.6 Tendido de conductores

El método utilizado para el tendido de conductores fue el normal utilizado en este tipo de faenas, excepto en el cruce de la ruta 5 Sur, donde se procedió de la siguiente manera:

- Comunicación por escrito a la Empresa Concesionaria de la carretera y Carabineros de Chile de las características de las faenas, fecha, hora y duración de éstas.
- Luego se procedió a instalar la señalética exigida por la Dirección de Vialidad, cuando se ejecutan trabajos en la vía, en este caso se debió instalar señalización a partir de los 500 metros, antes y después, de la zona de cruzamiento.
- Con el objeto de proteger a los usuarios de la ruta, mientras se realizaban las maniobras de tendido de conductores y cable de guardia, se construyeron portales de madera a ambos lados de la carretera y en el badén, entre ambas vías, con una altura de 10 m. y 11 metros de luz.
- Por razones de seguridad cada vez que realizaron maniobras de tiro de los conductores y cable de guardia, se procedió a interrumpir el tráfico vehicular en la ruta, por medio de bandereros antes del cruzamiento en cada una de las vías de la carretera.

- Una vez finalizada las tareas de tendido se procedió al retiro de los portales y señalética instalada en las vías y posterior entrega del sector a la empresa concesionaria.

En la siguiente tabla se entrega información general del estado en que quedó la línea una vez entregada a Celulosa Arauco.

| Ítem | Punto | Tipo de estructura | Vano | Longitud vano | Progresiva | Ángulo de deflexión | Dist. Conductor al suelo | Dist. Conductor a ruta 5 y FF.CC. |
|------|-------|--------------------|-----------|---------------|------------|---------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1 | PSPR | PSPR | | 0,00 | 0,00 | 0 | | |
| 2 | E1 | Anclaje | PSPR - E1 | 37,16 | 37,16 | 27 | 17,90 | |
| 3 | E2 | Suspensión | E1 - E2 | 216,42 | 253,58 | 0 | 8,50 | |
| 4 | E3 | Anclaje | E2 - E3 | 218,78 | 472,36 | -5 | 8,20 | |
| 5 | E4 | Suspensión | E3 - E4 | 296,45 | 768,81 | 0 | 10,50 | 11,6 |
| 6 | E5 | Anclaje | E4 - E5 | 311,99 | 1080,80 | 0 | 10,40 | 15,3 |
| 7 | E6 | Suspensión | E5 - E6 | 325,32 | 1406,12 | 0 | 10,80 | |
| 8 | E7 | Anclaje | E6 - E7 | 175,77 | 1581,89 | 0 | 12,30 | |
| 9 | E8 | Anclaje | E7 - E8 | 207,00 | 1788,89 | 0 | 14,50 | |
| 10 | PSPR | PSPR | E8 - PSPR | 39,31 | 1828,20 | 0 | 17,70 | |

Nota: se considera positivo el ángulo de deflexión en el sentido horario.

PSPR: corresponde a la estructura de salida y remate de las subestaciones (portal de salida-portal de remate).

8.7 Prueba y puesta en servicio

Las pruebas realizadas en la línea fueron las descritas en el capítulo 4.19, y la empresa responsable de estas fue PSP Ingeniería, luego la línea fue entregada a Celulosa Arauco para coordinar con Transelec la conexión del circuito al S.I.C.

8.8 Presupuesto

A continuación se entrega el costo de suministro y construcción de la línea 1x220, de interconexión entre subestación Ciruelos (Transelec) y la Subestación Principal (Arauco).

Presupuesto construcción línea 1x220 kV. S/E Arauco - S/E Ciruelos SIC

| Item | Descripción | Unidad | Cantidad | Nº de estructuras | Dólares | | Pesos | |
|------|--|---------|----------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| | | | | | Precio Unitario | Precio Total | Precio Unitario | Precio Total |
| 1 | Ingeniería | Gl | 1 | 1 | 31.961,17 | 31.961,17 | 17.099.226,34 | 17.099.226,34 |
| 2 | Instalación de faenas | Gl | 1 | 1 | 9.588,35 | 9.588,35 | 5.129.767,90 | 5.129.767,90 |
| 3 | Topografía | Gl | 1 | 1 | 15.980,59 | 15.980,59 | 8.549.613,17 | 8.549.613,17 |
| 4 | Suministro y construcción fundaciones estructuras de suspensión. | m3 | 12 | 3 | 265,00 | 9.540,00 | 141.775,00 | 5.103.900,00 |
| 5 | Suministro y construcción fundaciones estructuras de anclaje. | m3 | 19 | 5 | 265,00 | 25.175,00 | 141.775,00 | 13.468.625,00 |
| 6 | Suministro y montaje estructura de suspensión. | Kg. | 2800 | 3 | 4,00 | 33.600,00 | 2.140,00 | 17.976.000,00 |
| 7 | Suministro y montaje estructura de anclaje. | Kg. | 5800 | 5 | 4,00 | 116.000,00 | 2.140,00 | 62.060.000,00 |
| 8 | Suministro y montaje ferretería para conductor Flint para estructuras de suspensión. | c/u | 3 | 3 | 57,80 | 520,20 | 30.923,00 | 278.307,00 |
| 9 | Suministro y montaje ferretería para conductor Flint para estructuras de anclaje. | c/u | 6 | 5 | 57,80 | 1.794,00 | 30.923,00 | 927.690,00 |
| 10 | Suministro y montaje ferretería para cable de guardia OPGW. | c/u | 1 | 8 | 27,00 | 216,00 | 14.445,00 | 115.560,00 |
| 11 | Suministro y montaje aisladores de vidrio para estructura de Suspensión (13 discos). | c/u | 3 | 3 | 223,60 | 2.012,40 | 119.626,00 | 1.076.634,00 |
| 12 | Suministro y montaje aisladores de vidrio para estructura de anclaje (14 discos). | c/u | 6 | 5 | 240,80 | 7.224,00 | 128.828,00 | 3.864.840,00 |
| 13 | Suministro y montaje conductor Flint 740.8 MCM. | carrete | 3 | 1 | 15.400,00 | 46.200,00 | 8.239.000,00 | 24.717.000,00 |
| 14 | Suministro y montaje cable de guardia tipo OPGW. | mts. | 2000 | 1 | 8,33 | 16.660,00 | 4.456,55 | 8.913.100,00 |
| 15 | Pruebas y puesta en marcha | Gl | 1 | 1 | 3.200,00 | 3.200,00 | 1.712.000,00 | 1.712.000,00 |
| | Sub-Total | | | | | 319.611,71 | | 170.992.263,41 |
| | Gastos generales y utilidades | % | 30,0% | | | 95.883,51 | | 51.297.677,85 |
| | Total | | | | | 415.495,22 | | 222.289.941,26 |

CAPÍTULO IX

9.0 CONCLUSIONES

Luego de haber revisado diferentes fuentes bibliográficas, complementado a esto la experiencia del Tesista en este tipo de construcciones, se logró procesar esta información, obteniendo como resultado un manual que servirá de apoyo a profesionales y Supervisores del área Civil, que trabajen en proyectos de esta naturaleza, entregando una visión general de los aspectos más relevantes en la construcción de líneas de transmisión de energía eléctrica. Cumpliéndose de esta manera con el objetivo planteado en esta Tesis.

En el desarrollo de un proyecto de ingeniería, el Constructor Civil debe demostrar que su trabajo no sólo se remonta a la construcción propia de las fundaciones, sino que también debe interiorizarse en el macro del proyecto, esto con el fin de poder ser un profesional crítico y capaz de detectar las posibles incongruencias que se generan en la emisión de información, de las distintas etapas, por parte de ingeniería.

La importancia del control de calidad en el desarrollo de cualquier proyecto, radica en que toda construcción debe ejecutarse de acuerdo a las especificaciones técnicas, memorias de cálculo y normativa aplicable para la obra en particular. Además, dicho control de calidad debe hacerse de manera tal que asegure al mandante que cada etapa fue realizada cumpliendo los más altos estándares de calidad establecidos por la empresa.

La empresa debe mostrar al mercado que está realmente interesada en el cuidado de las personas y el medio donde se ejecutan sus procesos productivos, implantando una política eficiente en lo que respecta a la Prevención de Riesgos y la Protección del Medio Ambiente.

Las compañías que logran mejores resultados y se mantienen vigentes en el tiempo, son aquellas que implantan dentro de su organización una política integral de Control de Calidad, Prevención de Riesgos y Control de Impacto Medio Ambiental, ya que estas disciplinas aunque parezcan ser distintas apuntan en la misma dirección que no es otra que la **CALIDAD**.

Los procedimientos de trabajo, son una herramienta fundamental en la ejecución de las diferentes tareas de un proyecto, puesto que por este medio se informa hasta el último elemento productivo, de una organización, de lo que se quiere lograr, cómo debe ser ejecutado y los riesgos presentes en cada actividad; por lo tanto, al elaborar un procedimiento éste debe hacerse con la máxima rigurosidad, ya que de esta forma evitamos pérdidas por trabajos mal ejecutados o accidentes indeseados.

BIBLIOGRAFÍA

- ABENGOA CHILE. (2003). Estándares y procedimientos de trabajo seguro en línea 1x220 kV. Proyecto Valdivia, Celulosa Arauco y Constitución S.A.
- ABENGOA CHILE. (2004). Estándares y procedimientos de trabajo seguro en construcción de líneas 2x23 kV. Proyecto Transición Ujina-Rosario, Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.
- Checa, Luis María. (1988). Líneas de transporte de energía eléctrica. 3 ed. Barcelona: Marcombo.
- De Corral, Ignacio, Manuel de Villena. (1994). Topografía de obras. 1ª ed. México: Alfaomega.
- ENDESA (1970a). "Método para controlar templado". Manual del Liniero de alta tensión.
- ENDESA (1970b). "Normas de seguridad para trabajos en equipos de alta tensión desenergizados". Manual del Liniero de alta tensión.
- ENDESA (1977). "Distancias mínimas y faja de seguridad y servidumbre en líneas de transmisión". Manual de mantenimiento de líneas.
- ENDESA (1978). "Instalación de conductores y cables de guardia en líneas de transmisión". Especificaciones Técnicas Generales (ETG-6.501).
- ENDESA (1979). "Caminos de acceso a líneas de transmisión". Especificaciones Técnicas Generales (ETG-5.421).
- ENDESA (1980a). "Convenios y relaciones con propietarios y terceros afectados, durante la construcción de línea de transmisión". Especificaciones Técnicas Generales (ETG-4.132).
- ENDESA (1980b). "Ubicación de estructuras en líneas de transmisión". Especificaciones Técnicas Generales (ETG-0.521).
- ENDESA (1989). "Construcción de fundaciones para estructuras de líneas de transmisión y subestaciones de alta tensión". Especificaciones Técnicas Generales (ETG-5.221).
- Superintendencia de Electricidad y Combustible. (1971a). (Norma NSEG 5 E.n 71) "Reglamento de instalaciones eléctricas de corrientes fuertes"; (Norma NSEG 6 E.n 71) "Cruces y paralelismo de líneas eléctricas".
- Superintendencia de Electricidad y Combustible. (1971b). (Norma NSEG 6 E.n 71) "Cruces y paralelismo de líneas eléctricas".

- TRANSELEC (1996). “Roce y despeje de la franja de servidumbre en líneas de transmisión”. Especificaciones Técnicas Generales (ETG-4.703 A).
- TRANSELEC (2001). Montaje de estructuras de líneas de transmisión y subestaciones de alta tensión. Especificaciones Técnicas Generales (ETG-E.1.03).
- TRENER LTDA. (2002). Capacitación básica a personal de ABENGOA para trabajadores cerca de puntos energizados.

Referencias de información de Internet

- Acenor (2004). Historia de la electricidad. (Disponible en: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm. Consultado el: 11 de noviembre de 2004).
- Arroyo, Mercedes (1997). Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales. (Disponible en: <http://www.ub.es/geocrit/b3w-44.htm>. Consultado el: 20 de Noviembre de 2004).
- Chilectra (2004). Historia de Chilectra. (Disponible en: <http://www.chilectra.cl/link.exe/Compania/Historia/3564>. Consultado el: 20 de noviembre de 2004).).
- Elektra (2004). Breve historia de la electricidad. (Disponible en: <http://www.elektra.com.pa/preguntas.asp#3>. Consultado el: 11 de noviembre de 2004).
- Enciclopedia Microsoft® Encarta® Online (2005). Generación y transporte de electricidad. (Disponible en: http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761566999/Generación_y_transporte_de_electricidad.html. Consultado el 25 de abril de 2005).
- ENDESA (2005). Memoria anual 2004. (Disponible en: <http://library.corporate-ir.net/library/10/106/106239/items/161911/2004AnnualReport.pdf>. Consultado: 17 de Mayo de 2004).
- Explora (2004a). Etapas de transformación de la electricidad. (Disponible en: <http://www.explora.cl/otros/energia/electricidad2.html>. Consultado el: 17 de noviembre de 2004).
- Explora (2004b). Ruta de la Electricidad. (Disponible en: <http://www.explora.cl/otros/energia/ruta.html>. Consultado el: 11 de noviembre de 2004).

- Memoria Chilena (2004). La electricidad en Chile entre 1883-1930. (Disponible en:
http://www.memoriachilena.cl/mchilena01/temas/index.asp?id_ut=laelectricidadenchileentre1883-1930. Consultado el: 20 de noviembre de 2004).
- TRANSELEC (2004). Los sistemas de transmisión en Chile. (Disponible en:
http://www.transelec.cl/transelec/navegar_contenido.php?sec=20011227122438&c=20020325180500;
http://www.transelec.cl/transelec/navegar_contenido.php?sec=20011227124156&c=20020327125646. Consultado el: 17 de noviembre de 2004).
- UNESA (2004). La máquina del tiempo. (Disponible en:
<http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/aspectosgenerales/lamaquina.htm>. Consultado el: 20 de noviembre de 2004).