

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**COMPARACIÓN TÉCNICA Y DE COSTOS DE LAS ESTRUCTURAS
DE LÍNEAS AÉREAS ELÉCTRICAS TENIENDO EN CUENTA LAS
EXIGENCIAS MECÁNICAS DEL CNE SUMINISTRO VERSUS EL
CÓDIGO ANTIGUO**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:
RAFAEL TOVAR DIAZ**

**PROMOCIÓN
1997 - II**

**LIMA – PERÚ
2008**

**COMPARACIÓN TÉCNICA Y DE COSTOS DE LAS ESTRUCTURAS DE LÍNEAS
AÉREAS ELÉCTRICAS TENIENDO EN CUENTA LAS EXIGENCIAS
MECÁNICAS DEL CNE SUMINISTRO VERSUS EL CÓDIGO ANTIGUO**

Agradezco a Jehová Dios que mediante su palabra me ha dado el conocimiento y las fuerzas necesarias para superar toda dificultad y también a mi familia que siempre me ha apoyado.

SUMARIO

El presente informe muestra de manera simple y sencilla el análisis efectuado entre la normativa anterior versus la normativa vigente para realizar el diseño mecánico de estructuras de una línea aérea de transmisión de energía eléctrica con torres metálicas. Para ello, el informe se ha dividido en cuatro capítulos:

En el capítulo I "Planteamiento del Informe", se muestran los antecedentes, objetivo, síntesis y la terminología empleada en el informe.

En el capítulo II "Consideraciones Generales", se detallan las consideraciones generales, la normatividad aplicables y las consideraciones del proyecto que se ha tomado como base para efectuar la comparación, indicando las características geográficas de la zona del proyecto, las características geográficas del terreno y vías de acceso, las características de la Línea de Transmisión, las características técnicas del equipamiento y los requerimientos eléctricos.

En el capítulo III "Consideraciones de Diseño", se muestra los requerimientos de diseño eléctrico solicitados por las normativas, teniendo en cuenta las distancias mínimas de seguridad; y los requerimientos de diseño mecánico, considerando los cálculos mecánicos de conductores y los cálculos mecánicos de estructuras.

En el capítulo IV "Comparación Técnica y de Costos", se muestra la comparación técnica, el valor referencial y por último el análisis comparativo de costos.

En la parte final del informe se muestran las observaciones y conclusiones, así como se incluyen los anexos necesarios y la bibliografía empleada para el desarrollo del informe.

INDICE

PROLOGO	1
1. CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL INFORME DE INGENIERIA	2
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. OBJETIVO	2
1.3. SISTESIS DEL TRABAJO	2
1.4. TERMINOLOGÍA EMPLEADA	4
2. CAPITULO II CONSIDERACIONES GENERALES	6
2.1. CONSIDERACIONES GENERALES	6
2.2. NORMATIVIDAD APLICABLES.....	6
2.3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DEL PROYECTO....	7
2.3.1. Ubicación	7
2.3.2. Condiciones Ambientales	7
2.3.3. Características Geográficas del Terreno y Vías de Acceso.....	7
2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.....	8
2.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO.....	8
2.5.1. Estructuras Soporte	8
2.5.2. Conductores.....	9
2.6. REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS	10
2.6.1. Aislamiento	10
2.6.2. Puesta a Tierra	10
3. CAPITULO III CONSIDERACIONES DE DISEÑO	11
3.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO ELÉCTRICO	11
3.1.1. Distancias Mínimas de Seguridad.....	11
3.1.1.1. Según Normativa Anterior.....	11
3.1.1.2. Según Normativa Vigente: CNE - Suministro	12
3.2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO MECÁNICO	13
3.2.1. Asentamiento del conductor (CREEP).....	13

3.2.2. Cálculo Mecánico de Conductor e Hipótesis de Cálculos.....	15
3.2.2.1. Cálculo Mecánico de Conductor	15
3.2.2.2. Cálculo Mecánico del Cable de Guarda.....	16
3.2.2.3. Hipótesis de Cálculo Según Normativa Anterior	17
3.2.2.4. Hipótesis de Cálculo Según Normativa Vigente	19
3.2.3. Determinación del Árbol de Cargas	22
3.2.3.1. Cargas de Diseño de Estructuras	22
3.2.3.2. Según la Normativa Anterior	23
3.2.3.3. Según la Normativa Vigente, CN E- Suministro.....	23
3.2.4. Resultados de Cálculos	24
3.2.4.1. Según Normativa Anterior.....	24
3.2.4.2. Según Normativa Vigente: CNE - Suministro	25
3.2.5. Diagrama de cargas de estructuras	26
4. CAPITULO IV COMPARACIÓN TÉCNICA Y DE COSTOS	27
4.1. COMPARACION TÉCNICA	27
4.2. COMPARACIÓN DE COSTO	28
4.2.1. Estimación de pesos de estructuras	28
4.2.2. Comparación de Pesos.....	29
4.2.3. Comparación de Costos	30
CONCLUSIONES.....	31
ANEXOS.....	32
ANEXO A: CÁLCULOS SEGÚN NORMATIVA ANTERIOR.....	33
ANEXO B: CÁLCULOS SEGÚN EL CNE - SUMINISTRO	40
ANEXO C: ÁRBOL DE CARGAS	47
ANEXO D: NORMA DE REFERENCIA	54
BIBLIOGRAFIA	66

PRÓLOGO

El presente informe muestra que la normativa vigente empleada para el diseño mecánico de estructuras de una línea aérea de transmisión de energía eléctrica es más exigente que la anterior normativa.

El informe se ha estructurado de modo que se busca explicar de manera simple y sencilla el análisis efectuado entre la anterior normativa versus la normativa vigente y de esta manera poder verificar que en la normativa vigente del Código Nacional de Electricidad – Suministro, los requerimientos de diseño mecánico de estructuras son más exigentes que la anterior normativa anterior. Esto hace que las estructuras diseñadas bajo la normativa vigente se encuentren algo sobredimensionadas respecto a las diseñadas con la normativa anterior.

Como era de espera, los costos generados como consecuencia de la utilización de ambas normativas son mayores con el Código Nacional de Electricidad – Suministro, tal como se muestran en los cuadros contenidos en la comparación de costos. Esto se da debido a que los requerimientos de la normativa vigente son mas exigentes en el diseño de la estructura, trayendo por consiguiente mayores pesos de las estructuras diseñadas que con la normativa anterior.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL INFORME DE INGENIERIA

1.1. ANTECEDENTES

Las mejoras hechas a las normas, códigos y demás documentos que sirven de base o referencia para el diseño de las instalaciones eléctricas y mecánicas en nuestro país, debido a las disposiciones legales vigentes, cambios tecnológicos, la nueva estructura del sector eléctrico y los aspectos de bienestar y seguridad requeridos para el ejercicio de la actividad eléctrica, han hecho que estas hayan sido actualizadas, mejoradas o modificadas, trayendo como consecuencia algunos cambios en los requerimientos y exigencias que todo proyectista debe de cumplir. Este es el caso del Código Eléctrico Nacional que fuera actualizado en el año 2001 dando como resultado el Código Nacional de Electricidad – Suministro, cuya aplicación se inició a partir del 01 de julio de 2002.

Por otro lado, hay que mencionar que en el diseño de estructuras de líneas de transmisión se recomienda el uso de esta normativa, motivo por el cual se toman en cuenta los requerimientos mecánicos y eléctricos solicitados.

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, nace la inquietud de determinar y mostrar las diferencias que existen entre la normativa anterior respecto la normativa vigente contenida en el Código Nacional de Electricidad - Suministro respecto a los requerimientos de diseño mecánico de estructuras de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica y las implicancias económicas debido a estas diferencias.

1.2. OBJETIVO

Mostrar las diferencias existentes en la aplicación de las exigencias para el diseño mecánico de estructuras metálicas de las líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, teniendo en cuenta la normativa anterior versus la normativa vigente contenida en el Código Nacional de Electricidad – Suministro.

1.3. SISTESIS DEL TRABAJO

En el presente informe se muestra de manera simple y sencilla el análisis efectuado entre la normativa anterior versus la normativa vigente para realizar el diseño mecánico de estructuras de una línea aérea de transmisión de energía eléctrica. Para ello, se ha dividido

el informe en cuatro capítulos, el presente capítulo y tres más que a continuación se mencionan:

En el capítulo II “Consideraciones Generales”, se muestra los antecedentes del proyecto, las normativas aplicables y las consideraciones del proyecto que se ha tomado como base para efectuar la comparación, indicando las características geográficas del terreno y de la zona del proyecto, las vías de acceso, las características técnicas de la línea de transmisión, de su equipamiento y de los requerimientos eléctricos.

Cabe mencionar que para el desarrollo del presente informe se ha tomado como base el proyecto desarrollado para la empresa minera Barrick S.A., el cual consistió en la ejecución de una línea de transmisión en 138 kV para dotar de energía eléctrica a sus instalaciones y de esta manera garantizar la operación de la Mina Alto Chicama mediante la construcción de una línea que va desde la Subestación Trujillo Norte hasta la Subestación Alto Chicama.

Las estructuras son de tipo autoportante, metálicas, de acero galvanizado, con perfiles de celosía metálica cuyos tipos, alturas y diagramas de cargas fueron definidos de acuerdo a las condiciones geográficas y climáticas del terreno.

Los tipos de estructuras utilizadas en el proyecto fueron los siguientes: estructura tipo S de suspensión, estructura tipo A de ángulo y estructura tipo T terminal.

En el capítulo III “Consideraciones de Diseño”, se muestra los requerimientos de diseño eléctrico solicitados por las normativas, teniendo en cuenta las distancias mínimas de seguridad; así como los requerimientos de diseño mecánico, considerando los cálculos mecánicos de conductores y los cálculos mecánicos para el diseño de las estructuras.

En el capítulo IV “Comparación Técnica y de Costos”, se muestra la comparación técnica entre cada diseño y el valor referencial generado con cada diseño a manera de comparación de costos.

Como resultado se ha podido verificar que en la normativa vigente del Código Nacional de Electricidad – Suministro, los requerimientos de diseño mecánico de estructuras son más exigentes, ya que solicitan mayores valores que la anterior normativa anterior, haciendo que las estructuras diseñadas bajo esta normativa se encuentren “sobredimensionadas” con respecto a las que fueron diseñadas bajo la normativa anterior, trayendo como consecuencia un mayor costo por tipo de torre analizada, lo cual se vera reflejada en el proyecto final.

En la parte final del informe se muestran las observaciones y conclusiones, así como los anexos necesarios y la bibliografía utilizada en el informe.

1.4. TERMINOLOGÍA EMPLEADA

Si bien es cierto no se esta introduciendo nuevas o diferentes terminologías a las ya conocidas, se considera necesario mencionar algunos de los términos empleados, con miras a que el lector tenga claro acerca de lo que se esta hablando en el informe.

A continuación se muestran los algunos términos que se considera necesario mencionar:

Carga de trabajo.- Carga derivada de hipótesis de cargas definidas excluyendo los factores de seguridad o de sobrecarga.

Carga especial (anormal).- Carga producida por operaciones normales de construcción y mantenimiento de la línea, y/o la carga y que se origina debido a una falla de un elemento cualquiera de la línea.

Carga normal.- Carga generada a partir de la acción del viento y de la gravedad sobre los conductores, aisladores y los apoyos, con o sin acumulación de hielo.

Carga de rotura.- Carga que causa la rotura de un elemento.

Carga longitudinal.- Componentes longitudinales de una carga cualquiera aplicada a un punto determinado del apoyo en un sistema tridimensional de coordenadas relacionadas con el apoyo.

Carga transversal.- Componentes transversales de una carga cualquiera aplicada a un punto determinado del apoyo en un sistema tridimensional de coordenadas relacionadas con el apoyo.

Carga vertical.- Componentes verticales de una carga cualquiera aplicada a un punto dado del apoyo en un sistema tridimensional de coordenadas relacionadas con el apoyo.

Carga de viento.- Carga horizontal ejercida por la presión del viento sobre un elemento cualquiera de la línea aérea, con o sin carga de hielo.

Carga de hielo.- Carga adicional que resulta del aumento del hielo en un elemento de la línea

Hipótesis de carga.- Grupo de condiciones de carga, definidas por normas nacionales o regulaciones establecidas por la ley o de un estudio de datos meteorológicos que se utilizan para diseñar cada elemento de una línea

Grado de construcción.- Grado de seguridad de una construcción tomando como base los requerimientos de resistencia mecánica. El Código Nacional de Electricidad – Suministro considera tres grados: B, C y N. Siendo el grado B el mayor.

Vano equivalente.- El vano que determina la altura y la distribución de estructuras.

Vano gravante.- La distancia horizontal entre los puntos más bajos (reales o ficticios)

del perfil del conductor en los dos vanos adyacentes a la estructura y que determina la reacción vertical sobre la estructura en el punto de amarre del conductor.

Vano máximo.- El vano más largo admisible de los adyacentes a la estructura, que determina las dimensiones geométricas.

Vano peso.- Distancia horizontal entre los puntos más bajos de un conductor a cada lado de un apoyo. En terrenos bastante escarpados, los puntos más bajos de la curva catenaria de ambos vanos adyacentes pueden estar en el mismo lado de apoyo.

Vano viento.- Es la semisuma de los vanos adyacentes (para el cálculo de la carga debida al viento). Distancia horizontal entre los puntos a mitad de vano de cada lado del apoyo.

CAPITULO II

CONSIDERACIONES GENERALES

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la elaboración del presente informe se ha tomado como base el proyecto desarrollado para la empresa minera Barrick S.A., el cual consistió en la ejecución de una línea de transmisión en 138 kV para dotar de energía eléctrica a sus instalaciones y con esto garantizar la operación de la Mina Alto Chicama, mediante la utilización de postes de madera tratada que van desde la Subestación Trujillo Norte hasta la Subestación Motil y torres metálicas de celosía en el resto del recorrido hasta la Subestación Alto Chicama.

La línea de transmisión se inicia en la Subestación Trujillo Norte llegando hasta la Subestación Alto Chicama y en su recorrido atraviesa altitudes que van desde 1 000, 2 950 a 4 300 m.s.n.m.

Para efectos de comparación y cumplir con el objetivo del informe, se esta tomando la misma distribución de estructuras a lo largo del perfil topográfico. Es decir, para mostrar de manera más clara y sencilla, se esta considerando que el número de estructuras metálicas es constante, tanto para los cálculos efectuados con la normativa anterior así como con la normativa vigente.

Por otro lado, hay que mencionar que la mayor cantidad de estructuras metálicas consideradas en el proyecto se encuentran por encima de los 2 950 m.s.n.m. a la altura de la Subestación Motil y por debajo de los 4 000 m.s.n.m. poco antes de llegar a la Subestación Alto Chicama, por consiguiente las hipótesis de cálculo serán consideradas para este rango de altitud.

2.2. NORMATIVIDAD APLICABLES

Básicamente para el análisis de comparación técnica y de costos contenida en el presente informe se considera las siguientes normativas:

- Código Eléctrico Nacional
- Norma alemana VDE 0210
- Código NESC, REA – Bulletin 62-1
- Código Nacional de Electricidad – Suministro

2.3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DEL PROYECTO

2.3.1. Ubicación

El área donde se desarrolla el proyecto se encuentra ubicada en la sierra del departamento de La Libertad, en las provincias de Otuzco y Huamachuco.

La Subestación Trujillo Norte se encuentra ubicada aproximadamente en las coordenadas 723681E, 9107658N, la Subestación Motil se encuentra ubicada aproximadamente en las coordenadas 775756E, 9115380N y por último la Subestación Alto Chicama se encuentra ubicada aproximadamente en las coordenadas 804406E, 9119929N.

2.3.2. Condiciones Ambientales

El clima de la zona es típico de las cumbres de la Cordillera de los Andes, con temperaturas que varían entre -15 y 20°C y precipitaciones pluviales altas, siendo el período de mayor precipitación pluvial de diciembre a abril.

En general de acuerdo a las características climatológicas de nuestro país, en los lugares ubicados a más de 4 000 m.s.n.m. pueden resumirse de la manera siguiente: La temperatura no excede usualmente los 20°C durante el día, pero durante las noches puede descender debajo de 0 °C.

En cuanto a los otros parámetros meteorológicos, como son la velocidad y dirección del viento, así como las horas de sol se puede decir que estos varían en relación a los factores climáticos y a las presiones atmosféricas.

El clima de la zona es en general frío y seco, lo cual corresponde a la región Puna con presencia estacional de grandes precipitaciones pluviales.

Las condiciones ambientales para la línea de transmisión son las siguientes:

- Altitud : 2 950 a 4 300 m.s.n.m.
- Temperatura
 - Máxima : 20 °C
 - Promedio : 8 °C
 - Mínima : -5 °C
- Máxima velocidad del viento : 80 km/h
- Humedad relativa promedio : 60 - 80 %
- Hielo : 6 mm
- Nivel isoceraúnico : 40 días de tormenta al año (mapa CIER)

2.3.3. Características Geográficas del Terreno y Vías de Acceso

Para efectos del presente informe la zona tomada como referencia es la que se encuentra situada entre los 2 900 a la altura de la Subestación Motil y los 4 300 m.s.n.m.,

a la altura de la Subestación Alto Chicama.

La zona de estudio se halla integrada dentro de la provincia biogeográfica denominada "Puna Tropical", la cual presenta una superficie suave con extensas áreas planas a ligeramente onduladas.

Existen vías de acceso que facilitaron el transporte y montaje de la infraestructura eléctrica de transmisión.

La vía principal de acceso a la zona del proyecto es la carretera Panamericana Norte Lima – Trujillo, desde Trujillo se sigue por la Carretera Trujillo-Otuzco hasta el desvío a Huamachuco, de donde se sigue hasta llegar a la zona de Alto Chicama, pasando previamente por los centros mineros de Shorey y Quiruvilca.

2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

El suministro eléctrico fue establecido en 138 kV desde la Subestación Trujillo Norte pasando cerca de la Subestación Motil y teniendo como punto final la Subestación Alto Chicama. La capacidad de transmisión proyectada fue de 30 MW a un factor de potencia de 0,95.

El sistema eléctrico en 138 kV presentará las siguientes características:

- Tensión nominal : 138 kV rms
- Frecuencia nominal : 60 Hz
- Máxima tensión entre fases : 145 kV rms
- Número de ternas : 1
- Máximo flujo de potencia : 30 MW

El trazo de ruta de la línea presenta las siguientes características:

- Longitud Total : 60,25 km (aprox.)
- Número de vértices : 10
- Altitud S.E. Trujillo Norte : 100 m.s.n.m. (punto de inicio)
- Altitud S.E. Motil : 2 950 m.s.n.m. (punto de referencia)
- Altitud S.E. Alto Chicama : 4 300 m.s.n.m. (punto de llegada)

2.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO

2.5.1. Estructuras Soporte

Las estructuras tomadas en cuenta para el desarrollo del presente informe son metálicas de acero galvanizado tipo celosía y se utilizaron los tipos, alturas y diagramas de cargas que se definieron de acuerdo a las condiciones geográficas y climáticas del terreno.

La parte inferior de cada tipo de estructura fue diseñada de manera de poder variar fácilmente su altura normal por tramos fijos de 3 m, sin modificar el cuerpo básico de la

estructura.

Tipo de estructuras

La selección de estructuras fue de tipo autoportante, con perfiles de celosía metálica, en disposición triangular alternada como más adecuada para soportar las exigencias de las cargas de los conductores y la magnitud de los vanos.

Las estructuras fueron definidas en función de los ángulos de trazo, y de los vanos encontrados en la distribución de la línea.

Los tipos de estructuras utilizadas en el proyecto fueron los siguientes:

S : Suspensión (0° - 2°)

A : Angulo (2° - 30°)

T : Terminal

2.5.2. Conductores

a) Conductor Principal

El conductor utilizado es de aleación de aluminio de las siguientes características:

Tipo de conductor	: Aleación de aluminio
Denominación	: AAAC
Norma de fabricación	: ASTM/IEC
Sección nominal	: 240 mm ²
Área transversal	: 235,8 mm ²
Número de hilos x diámetro	: 19 x 3,98 mm ²
Diámetro exterior	: 19,88 mm
Peso por unidad de longitud	: 0,654 kg/m
Tensión de rotura	: 69,563 kN
Módulo de la elasticidad final	: 57 kN/mm ²
Coefficiente de dilatación térmica	: 23 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Resistencia eléctrica en C.C a 20 °C	: 0,142 Ohm/km

b) Cable de Guarda

La línea lleva instalado un cable de guarda de las siguientes características:

Tipo de material	: Acero galvanizado, grado EHS
Norma de fabricación	: ASTM A363
Sección nominal	: 50 mm ²
Sección real	: 51,08 mm ²
Número de hilos x diámetro	: 7 x 3,05 mm ²

Diámetro exterior	:	9,53 mm
Peso por unidad de longitud	:	0,407 kg/m
Tensión de rotura	:	68,05 kN
Módulo de elasticidad final	:	158,63 kN/mm ²
Coefficiente de dilatación térmica	:	11,5 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Resistencia eléctrica en C.C a 20 °C	:	4,52 Ohm/km

2.6. REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS

A manera de información a continuación se menciona algunas características eléctricas de la línea de transmisión.

2.6.1. Aislamiento

De acuerdo a los requerimientos de diseño eléctrico del proyecto el aislamiento de la línea esta compuesto por cadenas de suspensión y anclaje con aisladores cerámicos tipo estándar, de acuerdo con los siguientes valores:

- Máxima tensión de operación : 145 kV
- Frecuencia nominal : 60 Hz
- Nivel Básico de Aislamiento (BIL) : 650 kV

Los aisladores están compuestos de material de porcelana con acoplamiento ball & socket.

2.6.2. Puesta a Tierra

Los valores de resistencia de puesta a tierra fueron diseñados para los siguientes valores:

- Área accesible a peatones : 20 Ohm
- Área no accesible a peatones : 25 Ohm

Establecidos las condiciones a tener en cuenta en el desarrollo del informe y de las características de la línea de transmisión tomada como base para comparación de las normativas anterior y vigente en el presente informe, en los siguientes capítulos se procede a mostrar los cálculos mecánicos bajo los requerimientos de diseño mecánico solicitados por ambas normativas: la normativa anterior y de la normativa vigente en el Código Nacional de Electricidad – Suministro, así como el análisis técnico y de costos.

CAPITULO III CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO ELÉCTRICO

3.1.1. Distancias Mínimas de Seguridad

Los requerimientos de seguridad respecto al cumplimiento de las distancias mínimas respecto al suelo y otras instalaciones u objetos son parte específica de cada normativa. Por tal motivo, a continuación se enuncian los requerimientos solicitados por cada normativa:

3.1.1.1. Según Normativa Anterior

Distancia entre conductores

Los valores mínimos entre fases serán revisados a mitad de vano de acuerdo con la fórmula (proviene de la norma VDE 0210/12.85).

$$D = K \cdot \sqrt{f + L_c} + S \quad (3.1)$$

Siendo:

- D = Distancia entre fases (m)
- K = Constante que depende de la configuración de la estructura
- F = Flecha máxima a mitad de vano (m)
- L_c = Longitud de la cadena de aisladores (m)

Distancia a terreno e instalaciones (bajo la línea)

La mínima distancia será usada para el peor de los casos con el máximo valor de la flecha del conductor:

Distancia mínima al suelo sobre vías férreas	: 9,7 m
Distancia mínima sobre carreteras, avenidas	: 7,2 m
Distancia mínima al suelo sobre terrenos de cultivo	: 7,2 m
Distancia mínima al suelo sobre caminos de solo acceso peatonal	: 5,7 m
Distancia mínima sobre calles y caminos en zona rural	: 6,6 m
Distancia mínima sobre calles y caminos en zona urbana	: 7,2 m
Distancia mínima vertical a líneas de comunicación	: 2,7 m

Distancia vertical mínima a líneas de transmisión menores a 46 kV	:	2,1 m
- Techo de una edificación no accesible a peatones	:	5,1 m
- Techo de una edificación accesible a peatones	:	5,7 m

Distancia Horizontal (desde la línea a objetos)

La mínima distancia será usada para el peor caso, con el máximo balanceo del conductor:

- Vías férreas	:	5,2 m
- Edificios, puentes, señales, antenas de televisión	:	3,6 m
- Soportes de luminarias, señales de tráfico	:	2,8 m

3.1.1.2. Según Normativa Vigente: CNE - Suministro

Distancia entre conductores

Los valores mínimos entre fases son calculados utilizando la siguiente ecuación:

$$D = 1,00 \cdot \left[\frac{V \cdot (PU) \cdot a}{500 \cdot K} \right]^{1,667} \cdot b \cdot c \quad (3.2)$$

Siendo:

- D = Distancia entre fases (m)
- V = Máxima tensión de operación de cresta de c.a. a tierra (kV)
- PU = Máximo factor de sobre tensión transitoria de conmutación (o maniobra) expresado por la máxima tensión por unidad a tierra y definido como un nivel de sobre tensión transitoria de conmutación para los interruptores.
- K = Factor de configuración para la distancia entre el conductor y la superficie plana, cuyo valor es igual a 1,15.
- a = Tolerancia para tres desviaciones estándares cuyo valor es igual a 1,15.
- b = Tolerancia para las condiciones atmosféricas no estándares, cuyo valor es igual a 1,03.
- c = Margen de seguridad, cuyo valor es igual a 1,2.

El valor de D se incrementa en 3% por cada 300 m que sobrepasen los 450 m.s.n.m.

Distancia a terreno e instalaciones (bajo la línea)

La mínima distancia será usada para el peor de los casos con el máximo valor de la flecha del conductor:

Distancia mínima al suelo sobre vías férreas	:	11,0 m
Distancia mínima sobre carreteras, avenidas	:	8,5 m

Distancia mínima al suelo sobre terrenos de cultivo	: 8,5 m
Distancia mínima al suelo sobre caminos de solo acceso peatonal	: 7,0 m
Distancia mínima sobre calles y caminos en zona rural	: 8,5 m
Distancia mínima sobre calles y caminos en zona urbana	: 8,5 m
Distancia mínima vertical a líneas de comunicación	: 3,5 m
Distancia vertical mínima a líneas de transmisión menores	: 3,0 m
- Techo de una edificación no accesible a peatones	: 5,1 m
- Techo de una edificación accesible a peatones	: 5,7 m

Distancia Horizontal (desde la línea a objetos)

La mínima distancia será usada para el peor caso, con el máximo balanceo del conductor:

- Vías Férreas	: 5,5 m
- Edificios, Puentes, señales, antenas de televisión	: 4,0 m
- Soportes de Luminarias, señales de tráfico	: 3,0 m

3.2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO MECÁNICO

Los requerimientos de diseño mecánico son parte específica de cada normativa. Por tal motivo, a partir de los numerales 3.2.2 se enuncian los requerimientos solicitados por cada normativa:

3.2.1. Asentamiento del conductor (CREEP)

El módulo de elasticidad de un material se define por el valor numérico de la relación constante para dicho material de la fatiga unitaria a la deformación unitaria que le acompaña.

El límite de elasticidad tiene importancia en el cálculo mecánico de los conductores de una línea de transmisión, pues en ellos se acepta que la fatiga máxima de trabajo alcance el límite de elasticidad.

El motivo para lo anterior es que si la fatiga en los conductores calculados e instalados para la condición indicada, alcanza un valor ligeramente superior al límite de elasticidad, debido a solicitaciones imprevistas, el cable sufrirá un alargamiento permanente y la flecha quedará también aumentada para todas las temperaturas, lo cual provocará una reducción de las tensiones correspondientes.

De estudios realizados sobre la influencia del módulo de elasticidad sobre las tensiones se deduce que:

- Bajo cargas iniciales crecientes, un cable no tiene módulo de elasticidad constante, pero para los esfuerzos posteriores, inferiores a la carga máxima

inicial, el módulo es constante; el primero se llama módulo de elasticidad inicial y el segundo módulo de elasticidad final o permanente.

- El módulo de elasticidad de un cable es diferente de la hebra y varía con el tipo de cableado. El módulo final tiene el valor del módulo de la hebra del mismo material, que es el valor que normalmente proporciona el fabricante. Las curvas fatiga-deformación de los cables muestran el estiramiento elástico e incluso el estiramiento no elástico o aumento significativo de la carga. Este estiramiento que se desarrolla gradualmente bajo una carga constante se llama comúnmente Creep.

El valor del Creep varía con la tensión y el tiempo, y será mayor a temperaturas más altas. Mientras mayor es la tensión, más rápido será el crecimiento del Creep y a cualquier tensión dada su proporción, será máxima cuando la carga es aplicada por primera vez y disminuye rápidamente a medida que transcurre el tiempo.

El cálculo del Creep es de suma importancia ya que es un fenómeno irreversible cuya consecuencia práctica es un aumento de la flecha en cualquier estado.

Siempre es posible calcular una temperatura adicional equivalente "por Creep", lo que permitirá corregir la flecha máxima para la localización de estructuras.

El cálculo del Creep puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = k (\phi) \phi (\sigma) \square (\tau) \mu \quad (3.3)$$

Donde:

ε = Creep

k = Factor que depende de la composición del material

k = $0,04 + 0,24(m)/(m+1)$

m = (Sección de Aleación de Aluminio) / (Sección del acero)

ϕ = Temperatura (° C)

σ = Esfuerzo

τ = Tiempo transcurrido (horas)

ϕ, \square, μ = Factores iguales a 1,4, 1,3 y 0,16

El incremento de temperatura ($\Delta\tau$) equivalente del Creep se da por la siguiente expresión:

$$\Delta\tau = \varepsilon/\alpha \quad (3.4)$$

Donde:

ε = Creep

τ = Tiempo transcurrido (horas)

α = Coeficiente de dilatación lineal del cable

En el cuadro 3.1 se presentan los resultados del análisis del efecto Creep para 10

años, el cual representa un incremento de temperatura equivalente de 10 °C.

Cuadro 3.1: Cálculo del Alargamiento del Conductor (Creep)

Años	Horas	Alargam.	Teq (°C)
0.0	0	0.00	0.0
0.5	4380	75.22	3.3
1.0	8760	87.92	3.8
1.5	13140	96.03	4.2
2.0	17520	102.12	4.4
2.5	21900	107.03	4.7
3.0	26280	111.18	4.8
3.5	30660	114.78	5.0
4.0	35040	117.97	5.1
4.5	39420	120.85	5.3
5.0	43800	123.46	5.4
5.5	48180	125.87	5.5
6.0	52560	128.10	5.6
6.5	56940	130.17	5.7
7.0	61320	132.12	5.7
7.5	65700	133.96	5.8
8.0	70080	135.69	5.9
8.5	74460	137.33	6.0
9.0	78840	138.90	6.0
9.5	83220	140.39	6.1
10.0	87600	141.82	6.2
10.5	91980	143.20	6.2
11.0	96360	144.51	6.3
11.5	100740	145.78	6.3
12.0	105120	147.00	6.4
12.5	109500	148.18	6.4
13.0	113880	149.32	6.5
13.5	118260	150.43	6.5
14.0	122640	151.50	6.6
14.5	127020	152.54	6.6
15.0	131400	153.55	6.7

3.2.2. Cálculo Mecánico de Conductor e Hipótesis de Cálculos

Para el cálculo mecánico de conductor de la línea de transmisión se han considerado las hipótesis de cálculo de acuerdo a las condiciones ambientales de la zona del proyecto y a lo especificado en las normativas anterior y vigente, las cuales se mencionan a continuación:

3.2.2.1. Cálculo Mecánico de Conductor

Estos cálculos tienen por finalidad determinar los esfuerzos de trabajo de los conductores para las diversas condiciones de operación.

Los cálculos mecánicos del conductor, denominado también cálculos de cambio de estado se han efectuado mediante la ecuación cúbica cuya expresión es:

$$T_2^3 - [T_1 - \frac{d^2 EW_1^2}{24 S^2 T_1} - \alpha E(t_2 - t_1)] T_2^2 = \frac{d^2 EW_2^2}{24 S^2} \quad (3.5)$$

Donde:

T_1 = Esfuerzo en el conductor en su punto más bajo, para la condición 1, en kg/mm²

d = Vano de cálculo en m.

E = Módulo de elasticidad final del conductor en kg/mm².

S = Sección del conductor en mm²

W_i = Carga en el conductor en la condición i, en kg/m

t_i = Temperatura en la condición i

α = Coeficiente de dilatación (1/°C)

Se han considerado longitudes de vanos desde 100 m hasta 1 300 m para la relación desnivel vano = 0,0.

Los resultados de los cálculos obtenidos son mostrados en el Anexo A.

3.2.2.2. Cálculo Mecánico del Cable de Guarda

Los esfuerzos de cada día (EDS) del conductor y cable de guarda se han coordinado de tal manera que la flecha del cable de guarda debe estar entre el 80 y 90% de la flecha en el conductor. Se adoptó el 85%.

La formulación que permite determinar el esfuerzo de cada día del cable de guarda es la siguiente:

$$fcg \leq k * fc \quad (3.6)$$

Donde: $k = 0,8$ a $0,9$

$$fcg = \text{flecha del cable de guarda} = \frac{Tcg}{Wcg} * \left[\text{Cosh} \left(\frac{\text{Vano} * Wcg}{2 * Tcg} \right) - 1 \right] \quad (3.7)$$

$$fc = \text{flecha del conductor} = \frac{Tc}{Wc} * \left[\text{Cosh} \left(\frac{\text{Vano} * Wc}{2 * Tc} \right) - 1 \right] \quad (3.8)$$

Tc : Tiro horizontal del conductor (EDS)

Wc : Peso unitario del conductor

Tcg : Tiro horizontal del cable de guarda (EDS)

Wcg : Peso unitario del cable de guarda.

Con la aplicación de un programa realizado en lenguaje C, para cálculo mecánico de conductores se determina el EDS del cable de guarda que cumpla con la formulación descrita, obteniéndose un valor de 12% del tiro de rotura, con $k = 0,81$.

Los resultados de los cálculos obtenidos son mostrados en el Anexo B.

3.2.2.3. Hipótesis de Cálculo Según Normativa Anterior

Los cálculos para la línea de transmisión bajo la normativa anterior se realizaron de acuerdo a las siguientes hipótesis:

Para el Conductor Activo

- Hipótesis I: E.D.S.
 - Temperatura media : 8 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Esfuerzo de trabajo : 6,0 kg/mm²
- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 1(Viento máximo)
 - Temperatura mínima : 0 °C
 - Velocidad del viento : 80 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura
- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 2 (Hielo)
 - Temperatura mínima : -15 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Espesor de hielo : 8 mm
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura

Para la hipótesis II - 2 se considero un esfuerzo en EDS del conductor de 5,4 kg/mm² (52,958 Mpa).

- Hipótesis III: Flecha Máxima
 - Temperatura : 45 °C + ΔT
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - $\Delta T = 10$ °C Equivalente térmico por efecto Creep
- Hipótesis IV: Oscilación de cadena
 - Temperatura : 0 °C
 - Velocidad del viento : 60 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 30% de Tiro de Rotura
- Hipótesis V: Flecha mínima
 - Temperatura : -15 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 30% de Tiro de Rotura

Para el Cable de Guarda

- Hipótesis I: E.D.S.
 - Temperatura media : 8 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Esfuerzo de trabajo : 20,39 kg/mm²

- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 1(Viento máximo)
 - Temperatura mínima : 0 °C
 - Velocidad del viento : 80 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura
- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 2 (Hielo)
 - Temperatura mínima : -15 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Espesor de hielo : 8 mm
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura

Para la hipótesis II - 2 se considero un esfuerzo en EDS del cable de guarda de 18, 5 kg/mm² (181,43 Mpa).

- Hipótesis III: Flecha Máxima
 - Temperatura : 25 °C + ΔT
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - $\Delta T = 10$ °C Equivalente térmico por efecto Creep
- Hipótesis IV: Oscilación de cadena
 - Temperatura : -15 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 30% de Tiro de Rotura
- Hipótesis V: Flecha mínima
 - Temperatura : -15 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 30% de Tiro de Rotura

Cuadro 3.2: Hipótesis de Cálculo Según Normativa Anterior

Descripción	Condiciones	Conductor	C. de Guarda
HIPOTESIS I	E.D.S.		
Temperatura	°C	8	8
Velocidad de viento	km/h	0	0
Esfuerzo	kg/mm ²	6	20.39
Hipótesis II	Máximo Esfuerzos - 1		
Temperatura	°C	0	0
Velocidad de viento	km/h	80	80
Tense Máximo	% de Tr	40	40
Hipótesis II ⁽¹⁾	Máximo Esfuerzos - 2		
Temperatura	°C	-15	-15
Velocidad de viento	km/h	0	0
Hielo	mm	8	8
Tense Máximo	% de Tr	40	40
Hipótesis III	Flecha Máxima		
Temperatura ⁽²⁾	°C	55	35
Velocidad de viento	km/h	0	0
Hipótesis IV	Oscilación de Cadena		
Temperatura	°C	0	
Velocidad de viento	km/h	60	
Tense Máximo	% de Tr	40	
Hipótesis V	Mínima Temperatura		
Temperatura	°C	-15	-15
Velocidad de viento	km/h	0	0
Tense Máximo	% de Tr	40	40

(1) La Hipótesis II, con hielo se considera para altitudes mayores a 4000 m.s.n.m. y el esfuerzo en EDS para esta condición será de 5,4 kg/mm² para el conductor principal y de 18,5 kg/mm² para el cable de guarda.

(2) La temperatura en la Hipótesis III considera 10 °C de incremento ficticio por efecto Creep.

3.2.2.4. Hipótesis de Cálculo Según Normativa Vigente

Los cálculos para la línea de transmisión bajo la normativa vigente se realizaron de acuerdo a las siguientes hipótesis:

Para el Conductor Activo

➤ Hipótesis I: E.D.S.

- Temperatura media : 10 °C
- Velocidad del viento : 0 km/h
- Esfuerzo de trabajo : 6,0 kg/mm²

- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 1(Viento máximo)
 - Temperatura mínima : 5 °C
 - Velocidad del viento : 104 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura
- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 2 (Hielo)
 - Temperatura mínima : 0 °C
 - Velocidad del viento : 0km/h
 - Espesor de hielo : 6 mm
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura

Para la hipótesis II - 2 se considero un esfuerzo en EDS del conductor de 5,4 kg/mm²

- Hipótesis III: Flecha Máxima
 - Temperatura : 45 °C + ΔT
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - $\Delta T = 10$ °C Equivalente térmico por efecto Creep
- Hipótesis IV: Oscilación de cadena
 - Temperatura : 0 °C
 - Velocidad del viento : 60 km/h
- Hipótesis V: Flecha mínima
 - Temperatura : -15 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 30% de Tiro de Rotura

Para el Cable de Guarda

- Hipótesis I: E.D.S.
 - Temperatura media : 10 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Esfuerzo de trabajo : 20,39 kg/mm²
- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 1(Viento máximo)
 - Temperatura mínima : 5 °C
 - Velocidad del viento : 104 km/h
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura
- Hipótesis II: Esfuerzo Máximo 2 (Hielo)
 - Temperatura mínima : 0 °C
 - Velocidad del viento : 0 km/h
 - Espesor de hielo : 6 mm
 - Máximo esfuerzo de trabajo : 40% de Tiro de Rotura

Para la hipótesis II - 2 se considero un esfuerzo en EDS del cable de guarda de 18,5

kg/mm².➤ Hipótesis III: Flecha Máxima

- Temperatura : 35 °C
- Velocidad del viento : 0 km/h

➤ Hipótesis IV: Flecha mínima

- Temperatura : -15 °C
- Velocidad del viento : 0 km/h
- Hielo : 0 mm
- Máximo esfuerzo de trabajo : 30% de Tiro de Rotura

Cuadro 3.3: Hipótesis de Cálculo Según Normativa Vigente

Descripción	Condiciones	Conductor	C. de Guarda
HIPOTESIS I	E.D.S.		
Temperatura	°C	10	10
Velocidad de viento	km/h	0	0
Esfuerzo	kg/mm ²	6	20.39
Hipótesis II	Máximo Esfuerzos - 1		
Temperatura	°C	5	5
Velocidad de viento	km/h	104	104
Tense Máximo	% de Tr	40	40
Hipótesis II ⁽¹⁾	Máximo Esfuerzos - 2		
Temperatura	°C	0	0
Velocidad de viento	km/h	0	0
Hielo	mm	6	6
Tense Máximo	% de Tr	40	40
Hipótesis III	Flecha Máxima		
Temperatura ⁽²⁾	°C	55	35
Velocidad de viento	km/h	0	0
Hipótesis IV	Oscilación de Cadena		
Temperatura	°C	0	
Velocidad de viento	km/h	60	
Tense Máximo	% de Tr	40	
Hipótesis V	Mínima Temperatura		
Temperatura	°C	-15	-15
Velocidad de viento	km/h	0	0
Tense Máximo	% de Tr	40	40

(1) La Hipótesis II, con hielo se considera para altitudes mayores a 4000 m.s.n.m. y el esfuerzo en EDS para esta condición será de 5,4 kg/mm² para el conductor

principal y de 18,5 kg/mm² para el cable de guarda.

- (2) La temperatura en la Hipótesis III considera 10 °C de incremento ficticio por efecto Creep.

3.2.3. Determinación del Árbol de Cargas

3.2.3.1. Cargas de Diseño de Estructuras

Se tomo en cuenta lo siguiente:

a) Cargas Normales

En condiciones de cargas normales se admitió que la estructura está sujeta a la acción simultánea de las siguientes fuerzas:

a.1 Cargas Verticales

El peso del conductor, el cable de guarda, los aisladores y los accesorios para el vano gravante correspondiente.

El peso propio de la estructura.

a.2 Cargas transversales horizontales:

La presión del viento sobre el área total neta proyectada de los conductores y cadena de aisladores para el vano medio correspondiente.

La presión del viento sobre la estructura

La componente horizontal transversal de la máxima tensión del conductor y cable de guarda determinada por el ángulo máximo de desvío.

b) Cargas Anormales o Cargas Excepcionales

En condiciones de carga excepcional se admito que la estructura esta sujeta, además de las cargas normales, a una fuerza horizontal correspondiente a la rotura de un conductor o cable de guarda.

Esta fuerza tendrá el valor siguiente:

- Para estructura de suspensión : 50 % de la máxima tensión del conductor y 100% del cable de guarda.
- Para estructura angular 100% de la máxima tensión del conductor y 100% del cable de guarda.
- Para estructura de retención 67% de la máxima tensión del conductor y 67 % del cable de guarda.
- Para estructura Terminal 100% de la máxima tensión del conductor y 100% del cable de guarda.

Esta fuerza fue determinada en sus componentes longitudinales y transversales según el correspondiente ángulo de desvío.

3.2.3.2. Según la Normativa Anterior

El diseño bajo esta normativa considera un factor de seguridad para condiciones normales y otro para condiciones de emergencia:

FSn Factor de seguridad para condiciones Normales

FS_e Factor de seguridad para condiciones de Emergencia (Rotura de conductor)

Cargas en Condiciones Normales (Régimen Permanente)

$$T = \frac{F_T * FSn}{Fr} \quad (3.9)$$

$$V = \frac{F_V * FSn}{Fr} \quad (3.10)$$

$$L = \frac{F_L * FSn}{Fr} \quad (3.11)$$

Cargas en Condiciones de Emergencia (Rotura del Conductor)

$$T = \frac{F_T * FS_e}{Fr} \quad (3.12)$$

$$V = \frac{F_V * FS_e}{Fr} \quad (3.13)$$

$$L = \frac{F_L * FS_e}{Fr} \quad (3.14)$$

Siendo en ambos casos:

F_T : Fuerza transversal resultante

F_V : Fuerza Vertical Resultante

F_L : Fuerza Longitudinal Resultante

T_H : Tiro Horizontal

Fr : Factor de Resistencia

Cuando una estructura es sometida a una carga correspondiente a cualquiera las condiciones en el punto (a) multiplicada por el factor de seguridad correspondiente, no deberá ocurrir ninguna deformación permanente ni avería en los perfiles, placas o pernos.

3.2.3.3. Según la Normativa Vigente, CN E- Suministro

El Código Nacional de Electricidad - Suministro, considera un factor de sobrecarga diferente para las cargas originadas por el viento y aquellas originadas por la tensión del conductor, del mismo modo consideran factores de sobrecarga distintos para las cargas verticales y trasversales. Por otro lado también considera un factor de resistencia de acuerdo al tipo de material de la estructura.

De acuerdo a ello y para efectos de este manual técnico, se ha establecido la siguiente nomenclatura:

FS_{TC} : Factor de sobrecarga para cargas debidas a la tensión del conductor

FS_{VT} : Factor de sobrecarga para cargas debidas al viento

FS_V : Factor de sobrecarga para cargas verticales

FS_L : Factor de sobrecarga para cargas Longitudinales

Fr : Factor de resistencia (depende del tipo de material)

Cargas en Condiciones Normales (Régimen Permanente)

$$T = \frac{F_{TC} * FS_{TC} + (F_{VC} + F_{VA}) * FS_{VT}}{Fr} \quad (3.15)$$

$$V = \frac{F_V * FS_V}{Fr} \quad (3.16)$$

$$L = \frac{F_L * FS_L}{Fr} \quad (3.17)$$

Cargas en Condiciones de Emergencia (Rotura del Conductor)

$$T = \frac{\frac{F_{TC}}{2} * FS_{TC} + (\frac{F_{VC}}{2} + F_{VA}) * FS_{VT}}{Fr} \quad (3.18)$$

$$V = \frac{F_V * FS_V}{Fr} \quad (3.19)$$

$$L = \frac{F_L * FS_L}{Fr} \quad (3.20)$$

Cabe mencionar que el Código Nacional de Electricidad – Suministro considera tres grados de construcción B, C y N tomando como base los requerimientos de construcción para la seguridad de las instalaciones eléctricas. Siendo el grado B el más alto.

El grado de construcción establecido para la línea de transmisión es el grado C. Motivo por el cual el diseño de las estructuras de la línea de transmisión se efectuó en base a este grado.

3.2.4. Resultados de Cálculos

3.2.4.1. Según Normativa Anterior

Los resultados son mostrados en el Anexo A. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de cálculos:

Cuadro 3.4: Resumen de Cálculos – Según Normativa Anterior

Condiciones Normales	T	V	L
Estructura Tipo S			
Cable Principal, kg	284,91	850,10	0,00
Cable de Guarda	157,41	452,82	0,00
Estructura Tipo A			
Cable Principal, kg	1 094,51	1 103,47	0,00
Cable de Guarda	746,32	597,09	0,00
Estructura Tipo T			
Cable Principal, kg	2 454,06	1 103,47	0,00
Cable de Guarda	1 743,71	597,09	0,00
Condiciones Anormales	T	V	L
Estructura Tipo S			
Cable Principal, kg	148,50	460,05	846,37
Cable de Guarda	84,75	226,41	1 227,81
Estructura Tipo A			
Cable Principal, kg	553,10	586,73	1 635,31
Cable de Guarda	379,00	298,54	1 186,16
Estructura Tipo T			
Cable Principal, kg	1 231,49	586,73	1 248,21
Cable de Guarda	876,32	298,54	905,38

Notas:

- 1.- A los valores obtenidos hay que aplicarles los siguientes factores de seguridad:
 - En condiciones normales : 1,8 (aplicado a todas las cargas)
 - En condiciones anormales : 1,3 (aplicado a todas las cargas)
- 2.- Los resultados son mostrados en el cuadro 4.1.

3.2.4.2. Según Normativa Vigente: CNE - Suministro

Los resultados son mostrados en el Anexo B. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de cálculos:

Cuadro 3.5: Resumen de Cálculos – Según Normativa Vigente CNE - Suministro

Condiciones Anormales	T	V	L
Estructura Tipo S			
Cable Principal	1 059,56	1 789,81	0,00
Cable de Guarda	561,05	897,21	0,00
Estructura Tipo A			
Cable Principal	2 350,99	2 341,41	0,00
Cable de Guarda	1 542,27	1 186,28	0,00
Estructura Tipo T			
Cable Principal	4 416,99	2 341,41	0,00
Cable de Guarda	3 153,40	1 186,28	0,00
Condiciones Anormales	T	V	L
Estructura Tipo S			
Cable Principal, kg	555,59	947,40	1 371,29
Cable de Guarda	306,34	448,60	2 066,69
Estructura Tipo A			
Cable Principal, kg	1 200,43	1 223,20	2 649,53
Cable de Guarda	796,07	593,14	1 996,57
Estructura Tipo T			
Cable Principal, kg	2 227,53	815,47	2 022,35
Cable de Guarda	1 595,73	395,43	1 523,95

Notas:

1.- Los valores obtenidos incluyen los siguientes factores de sobrecarga:

Carga transversal (T)	:	2,2 (debido al viento)
		1,3 (debido al conductor)
Carga vertical (V)	:	1,5
Carga longitudinal (L)	:	1,3

2.- El factor de resistencia de la estructura es igual a la unidad.

3.2.5. Diagrama de cargas de estructuras

Para elaborar el diagrama de cargas de estructuras o árbol de cargas, se toma en consideración los valores obtenidos en los cuadros 3.1 y 3.2 bajo los criterios de diseño presentados en el capítulo III. En el anexo C se presentan los gráficos correspondientes a los árboles de carga de acuerdo a cada normativa.

CAPITULO IV
COMPARACIÓN TÉCNICA Y DE COSTOS

4.1. COMPARACION TÉCNICA

En el presente capítulo se muestra la comparación efectuada entre los resultados obtenidos de las prestaciones de estructuras bajo los requerimientos de ambas normativas:

Cuadro 4.1: Comparación de Cargas sobre la estructura

Condiciones Normales	Según Normativa Anterior ⁽¹⁾			Según CNE – Suministro ⁽²⁾		
	T	V	L	T	V	L
Estructura Tipo S						
Cable Principal, kg	512,83	1 530,18	0,00	1 059,56	1 789,81	0,00
Cable de Guarda	283,33	815,07	0,00	561,05	897,21	0,00
Estructura Tipo A						
Cable Principal, kg	1 970,12	1 986,24	0,00	2 350,99	2 341,41	0,00
Cable de Guarda	1 343,37	1 074,76	0,00	1 542,27	1 186,28	0,00
Estructura Tipo T						
Cable Principal, kg	4 417,31	1 986,24	0,00	4 416,99	2 341,41	0,00
Cable de Guarda	3 138,69	1 074,76	0,00	3 153,40	1 186,28	0,00
Condiciones Anormales	T	V	L	T	V	L
Estructura Tipo S						
Cable Principal, kg	193,05	598,06	1 100,28	555,59	947,40	1 371,29
Cable de Guarda	110,18	294,33	1 596,16	306,34	448,60	2 066,69
Estructura Tipo A						
Cable Principal, kg	719,03	762,75	2 125,91	1 200,43	1 223,20	2 649,53
Cable de Guarda	492,70	388,11	1 542,00	796,07	593,14	1 996,57
Estructura Tipo T						
Cable Principal, kg	1 600,94	762,75	1 622,67	2 227,53	815,47	2 022,35
Cable de Guarda	1 139,21	388,11	1 176,99	1 595,73	395,43	1 523,95

Notas:

(1).- Los valores de las cargas incluyen los factores de seguridad.

(2).- Los valores de las cargas incluyen los factores de sobrecarga.

Según el cuadro 4.1, podemos apreciar un incremento en los valores de las cargas obtenidas bajo la normativa vigente, CNE - Suministro.

4.2. COMPARACIÓN DE COSTO

4.2.1. Estimación de pesos de estructuras

Los pesos han sido estimados utilizando un método práctico, denominado método MARJERRISON, el cual consiste en determinar unas constantes para cada tipo de estructura, tomando como base el diagrama de cargas y el peso de estructuras de una línea existente que presenten condiciones ambientales similares al del proyecto en ejecución.

Una vez calculadas estas constantes son empleadas para estimar el peso de las estructuras del proyecto analizado. Hay que notar que para efectos del informe solo se tomo como comparación las torres siguientes: S \pm 0, A \pm 0 y T \pm 0.

En el cuadro 4.2 se presenta el valor del peso estimado para las estructuras del proyecto según la normativa anterior:

Cuadro 4.2: Estimación de los Pesos - Cargas Según Normativa Anterior

Descripción	S Suspensión	A Angular	T Terminal
Altura del conductor mas bajo = H1 (m)	23,00	21,00	21,00
Altura del conductor medio = H2 (m)	25,00	23,00	23,00
Altura del conductor alto = H3 (m)	27,00	25,00	25,00
Altura del cable de guarda = H4 (m)	30,00	30,00	30,00
Longitud de la cruceta = L (m)	5,90	6,90	6,90
Altura media - hm (m)	33,63	30,55	30,55
$K_s (m) = \left(1.44 + \frac{(3.28 \times L)^2}{400}\right)^{0.5}$	1,542		
$K_a (m) = \left(2.89 + \frac{(3.28 \times L)^2}{1260}\right)^{0.5}$		1,816	1,816
Carga Transversal = T (Kg)	689.33	2 649.78	5 942.02
Carga Vertical = V (Kg)	2 088.52	2 676.36	2 676.36
Carga Longitudinal = L (Kg)	4 897.00	7 919.72	6 045.01
Condición	Viento	Viento	Viento
C = Constante Marjerrison	0,212	0,179	0,139
$W = c \cdot K \cdot hm [T^2/3 + 0.876V^{1/2} + L^2/3]$ (kg)	4 497	6 323	5 453

En el cuadro 4.3 se presenta el valor del peso estimado para las estructuras del proyecto según la normativa vigente:

Cuadro 4.3: Estimación de los Pesos - Cargas Según Normativa Vigente

Descripción	S Suspensión	A Angular	T Terminal
Altura del conductor mas bajo = H1 (m)	23,00	21,00	21,00
Altura del conductor medio = H2 (m)	25,00	23,00	23,00
Altura del conductor alto = H3 (m)	27,00	25,00	25,00
Altura del cable de guarda = H4 (m)	30,00	30,00	30,00
Longitud de la cruceta = L (m)	5,90	6,90	6,90
Altura media - hm (m)	33,63	30,55	30,55
$(3.28 \times L)^2$ Ks (m) = $(1.44 + \frac{\dots}{400})^{0.5}$	1,542		
$(3.28 \times L)^2$ Ka (m) = $(2.89 + \frac{\dots}{1260})^{0.5}$		1,816	1,816
Carga Transversal = T (Kg)	1 973.10	4 397.37	8 278.32
Carga Vertical = V (Kg)	3 290.81	4 262.75	2 841.83
Carga Longitudinal = L (Kg)	6 180.56	7 919.72	6 045.01
Condición	Viento	Viento	Viento
C = Constante Marjerrison	0,212	0,179	0,139
W=c* K* hm [T^2/3+0.876V^1/2+L^2/3] (kg)	6 020	7 212	6 090

4.2.2. Comparación de Pesos

Para efectos del informe solo se tomo como comparación las torres siguientes: S ± 0, A ± 0 y T ± 0. En el cuadro siguiente se muestran los costos obtenidos según los requerimientos mecánicos contenidos de cada normativa:

Cuadro 4.4: Pesos de las Estructuras

Tipo de Estructura	Peso Aproximado (kg) ⁽¹⁾	Peso Aproximado (kg) ⁽²⁾	Diferencias CNE-S v.s. N.A. (kg)
Estructura Tipo S ± 0	4 497	6 020	1 523
Estructura Tipo A ± 0	6 323	7 212	889
Estructura Tipo T ± 0	5 453	6 090	636

Notas:

(1) Según Normativa Anterior

(2) Según Normativa Vigente: CNE - Suministro

4.2.3. Comparación de Costos

Tal como se puede apreciar en el siguiente cuadro, se verifica que los costos obtenidos según los requerimientos mecánicos de diseño de la normativa vigente son mayores que los costos obtenidos según la normativa anterior.

Cuadro 4.5: Comparación de Costos

Tipo de Estructura	Costo de la Estructura ⁽¹⁾ (US\$)	Costo de la Estructura ⁽²⁾ (US\$)	Diferencias CNE-S v.s. N.A. (US\$)
Estructura Tipo S ± 0	11 242	15 051	3 808
Estructura Tipo A ± 0	15 808	18 031	2 223
Estructura Tipo T ± 0	13 633	15 224	1 591

Notas:

- (1) Según normativa anterior
- (2) Según normativa vigente: CNE – Suministro
- (3) Costo aproximado del metal 2,5 US\$

Por último, cabe mencionar que el proyecto considera 117 estructuras tipo S, 48 estructuras tipo A y 7 estructuras tipo T, lo que da como resultado las diferencias mencionadas en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6: Comparación de Costos de acuerdo al Metrado del Proyecto

Tipo de Estructura	Diferencias CNE-S v.s. N.A. (US\$)	Cantidad de Estructuras (Unid.)	Diferencia de Costo ⁽¹⁾ (US\$)
Estructura Tipo S ± 0	3 808	117	445 653
Estructura Tipo A ± 0	2 223	48	106 704
Estructura Tipo T ± 0	1 591	7	11 137

Notas:

- (1) Incremento de Costos de acuerdo al metrado del proyecto.

CONCLUSIONES

1. Se puede verificar que la normativa vigente, Código Nacional de Electricidad – Suministro, es más exigente en cuanto a los requerimientos de diseño mecánico de estructuras puesto que solicita mayores valores que la normativa anterior, trayendo por consiguiente que los pesos de las estructuras diseñadas con la normativa anterior sean mayores y por consiguiente mayores costos.
2. Esto hace que las estructuras diseñadas bajo la normativa vigente se encuentren sobredimensionadas respecto a las diseñadas con la normativa anterior. Los cuadros obtenidos en el capítulo IV muestran los resultados de las cargas, pesos y costos obtenidos mediante el diseño de ambas normativas. En los cuadros 4.4 y 4.5 está claro que existen mayores pesos y costos en cada una de las estructuras metálicas diseñadas bajo la normativa vigente, debido a lo mencionado al inicio.
3. Se menciona que antes de la publicación del Código Nacional de Electricidad – Suministro no se contaba con una guía en el estudio de líneas de transmisión puesto que anterior al código vigente no estaban definidas las normas en niveles de tensión mayor a 10 kV en nuestro país.
4. Los cálculos mecánicos del conductor y cable de guarda nos permite elaborar el diagrama de cargas que sirve para diseñar las cimentaciones y estimar el peso de las estructuras.
5. Por último, podemos mencionar que si bien es cierto el Código Nacional de Electricidad – Suministro establece requerimientos mas exigentes que la normativa anterior también permite al proyectista utilizar valores o condiciones diferentes siempre y cuando estén debidamente justificadas.

ANEXOS

ANEXO A:
Cálculos Según Normativa Anterior

CALCULO DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

TIPO DE TORRE : S

CONDICION : VIENTO MAXIMO, S/HIELO

PRESTACIONES:

Vano viento (av)	400 m
Vano gravante (vg)	900 m
Angulo de desviación (α)	2°

DATOS:

		CONDUCTOR 240 mm ²		CABLE DE GUARDA 50 mm ²	
		Sin hielo	Con hielo	Sin hielo	Con hielo
Diámetro de conductor (Dc)	mm	19.88	35.88	9.53	25.53
Peso unitario	kg/m	0.654	1.30	0.407	0.81
Tiro max. del conductor (TC)	kg	1693.00	2476.00	1228.00	1758.00
Velocidad del viento (V)	km/h	80.00	0.00	80.00	0.00
$Pvp = Pvc = 0.0042 * v^2$	kg/m ²	26.88	0.00	26.88	0.00
Carga debido al viento	kg/mm ²	0.53	0.00	0.26	0.00
Peso resultante (W)	kg/mm ²	0.845	1.301	0.481	0.814
			0.65		0.407

CONDUCTOR

CONDICIONES NORMAL

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	59.09 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	213.72 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>12.09 kg</u>
TOTAL	=	284.91 kg

CABLE DE GUARDA

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	42.86 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	102.45 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>12.09 kg</u>
TOTAL	=	157.41 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	760.10 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	850.10 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CONDICIONES ANORMAL**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	29.55 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	106.86 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>12.09 kg</u>
TOTAL	=	148.50 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	380.05 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	460.05 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	50%	<u>846.37</u>
TOTAL	=	846.37 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	432.82 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	452.82 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	21.43 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	51.23 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>12.09 kg</u>
TOTAL	=	84.75 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	216.41 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	226.41 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1227.81</u>
TOTAL	=	1227.81 kg

CALCULO DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

TIPO DE TORRE : A

CONDICION : VIENTO MAXIMO, S/HIELO

PRESTACIONES:

Vano viento (av)	400 m
Vano gravante (vg)	1200 m
Angulo de desviación (α)	30 °

DATOS:

		CONDUCTOR 240 mm ²		CABLE DE GUARDA 50 mm ²	
		Sin hielo	Con hielo	Sin hielo	Con hielo
Diámetro de conductor (Dc)	mm	19.88	35.88	9.53	25.53
Peso unitario	kg/m	0.654	1.30	0.407	0.81
Tiro max. del conductor (TC)	kg	1693.00	2476.00	1228.00	1758.00
Velocidad del viento (V)	km/h	80.00	0.00	80.00	0.00
$P_{vp} = P_{vc} = 0.0042 * v^2$	kg/m ²	26.88	0.00	26.88	0.00
Carga debido al viento	kg/mm ²	0.53	0.00	0.26	0.00
Peso resultante (W)	kg/mm ²	0.845	1.301	0.481	0.814
			0.65		0.407

CONDUCTOR

CONDICIONES NORMAL

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	876.36 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	206.47 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>11.68 kg</u>
TOTAL	=	1094.51 kg

CABLE DE GUARDA

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	635.66 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	98.98 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>11.68 kg</u>
TOTAL	=	746.32 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	1013.47 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	1103.47 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CONDICIONES ANORMAL**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	438.18 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	103.23 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>11.68 kg</u>
TOTAL	=	553.10 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	506.73 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	586.73 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1635.31</u>
TOTAL	=	1635.31 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	577.09 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	597.09 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	317.83 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	49.49 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>11.68 kg</u>
TOTAL	=	379.00 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	288.54 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	298.54 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1186.16</u>
TOTAL	=	1186.16 kg

CALCULO DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

TIPO DE TORRE : T

CONDICION : VIENTO MAXIMO, S/HIELO

PRESTACIONES:

Vano viento (av)	400 m
Vano gravante (vg)	1200 m
Angulo de desviación (α)	85 °

DATOS:

		CONDUCTOR 240 mm ²		CABLE DE GUARDA 50 mm ²	
		Sin hielo	Con hielo	Sin hielo	Con hielo
Diámetro de conductor (Dc)	mm	19.88	35.88	9.53	25.53
Peso unitario	kg/m	0.654	1.30	0.407	0.81
Tiro max. del conductor (TC)	kg	1693.00	2476.00	1228.00	1758.00
Velocidad del viento (V)	km/h	80.00	0.00	80.00	0.00
$P_{vp} = P_{vc} = 0.0042 * v^2$	kg/m ²	26.88	0.00	26.88	0.00
Carga debido al viento	kg/mm ²	0.53	0.00	0.26	0.00
Peso resultante (W)	kg/mm ²	0.845	1.301	0.481	0.814
			0.65		0.407

CONDUCTOR

CONDICIONES NORMAL

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	2287.55 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	157.59 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>8.92 kg</u>
TOTAL	=	2454.06 kg

CABLE DE GUARDA

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	1659.25 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	75.55 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>8.92 kg</u>
TOTAL	=	1743.71 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	1013.47 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	1103.47 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CONDICIONES ANORMAL**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	1143.77 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	78.80 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>8.92 kg</u>
TOTAL	=	1231.49 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	506.73 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	586.73 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1248.21</u>
TOTAL	=	1248.21 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	577.09 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	597.09 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	829.62 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	37.77 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>8.92 kg</u>
TOTAL	=	876.32 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	288.54 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	298.54 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>905.38</u>
TOTAL	=	905.38 kg

ANEXO B:
Cálculos Según el CNE - Suministro

CALCULO DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

TIPO DE TORRE : S

CONDICION : VIENTO MAXIMO, S/HIELO

PRESTACIONES:

Vano viento (av)	400 m
Vano gravante (vg)	900 m
Angulo de desviación (α)	2 °

DATOS:

		CONDUCTOR 240 mm ²		CABLE DE GUARDA 50 mm ²	
		Sin hielo	Con hielo	Sin hielo	Con hielo
Diámetro de conductor (Dc)	mm	19.88	31.88	9.53	21.53
Peso unitario	kg/m	0.654	1.10	0.407	0.68
Tiro max. del conductor (TC)	kg	2110.00	2000.00	1590.00	1670.00
Velocidad del viento (V)	km/h	104.00	0.00	104.00	0.00
$P_{vp} = P_{vc} = 0.613 * v^2$	kg/m ²	52.15	0.00	52.15	0.00
Carga debido al viento	kg/mm 2	1.04	0.00	0.50	0.00
Peso resultante (W)	kg/mm 2	1.226	1.104	0.642	0.677
			0.45		0.270

CONDUCTOR

CONDICIONES NORMAL

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	95.74 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	912.19 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>51.62 kg</u>
TOTAL	=	1059.56 kg

CABLE DE GUARDA

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	72.15 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	437.28 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>51.62 kg</u>
TOTAL	=	561.05 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	1103.20 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	1789.81 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CONDICIONES ANORMAL**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	47.87 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	456.10 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>51.62 kg</u>
TOTAL	=	555.59 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	551.60 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	947.40 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	50%	<u>1054.84</u>
TOTAL	=	1371.29 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	578.14 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	897.21 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	36.07 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	218.64 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>51.62 kg</u>
TOTAL	=	306.34 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	289.07 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	448.60 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1589.76</u>
TOTAL	=	2066.69 kg

CALCULO DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

TIPO DE TORRE : A

CONDICION : VIENTO MAXIMO, S/HIELO

PRESTACIONES:

Vano viento (av)	400 m
Vano gravante (vg)	1200 m
Angulo de desviación (α)	30 °

DATOS:

		CONDUCTOR 240 mm ²		CABLE DE GUARDA 50 mm ²	
		Sin hielo	Con hielo	Sin hielo	Con hielo
Diámetro de conductor (Dc)	mm	19.88	31.88	9.53	21.53
Peso unitario	kg/m	0.654	1.10	0.407	0.68
Tiro max. del conductor (TC)	kg	2110.00	2000.00	1590.00	1670.00
Velocidad del viento (V)	km/h	104.00	0.00	104.00	0.00
$P_{vp} = P_{vc} = 0.613 * v^2$	kg/m ²	52.15	0.00	52.15	0.00
Carga debido al viento	kg/mm ²	1.04	0.00	0.50	0.00
Peso resultante (W)	kg/mm ²	1.226	1.104	0.642	0.677
			0.45		0.270

CONDUCTOR**CONDICIONES NORMAL****CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	1419.88 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	881.24 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>49.87 kg</u>
TOTAL	=	2350.99 kg

CABLE DE GUARDA**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	1069.96 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	422.45 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>49.87 kg</u>
TOTAL	=	1542.27 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	1470.94 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	2341.41 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CONDICIONES ANORMAL**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	709.94 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	440.62 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>49.87 kg</u>
TOTAL	=	1200.43 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	735.47 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	1223.20 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>2038.10</u>
TOTAL	=	2649.53 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	770.85 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	1186.28 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	534.98 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	211.22 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>49.87 kg</u>
TOTAL	=	796.07 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	385.43 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	593.14 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1535.82</u>
TOTAL	=	1996.57 kg

CALCULO DE CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

TIPO DE TORRE : T

CONDICION : VIENTO MAXIMO, S/HIELO

PRESTACIONES:

Vano viento (av)	400 m
Vano gravante (vg)	1200 m
Angulo de desviación (α)	85 °

DATOS:

		CONDUCTOR 240 mm ²		CABLE DE GUARDA 50 mm ²	
		Sin hielo	Con hielo	Sin hielo	Con hielo
Diámetro de conductor (Dc)	mm	19.88	31.88	9.53	21.53
Peso unitario	kg/m	0.654	1.10	0.407	0.68
Tiro max. del conductor (TC)	kg	2110.00	2000.00	1590.00	1670.00
Velocidad del viento (V)	km/h	104.00	0.00	104.00	0.00
$Pvp = Pvc = 0.613 * v^2$	kg/m ²	52.15	0.00	52.15	0.00
Carga debido al viento	kg/mm ²	1.04	0.00	0.50	0.00
Peso resultante (W)	kg/mm ²	1.226	1.104	0.642	0.677
		0.45		0.270	

CONDUCTOR**CONDICIONES NORMAL****CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	3706.29 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	672.64 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>38.06 kg</u>
TOTAL	=	4416.99 kg

CABLE DE GUARDA**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	2792.89 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	322.45 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>38.06 kg</u>
TOTAL	=	3153.40 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	1470.94 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	2341.41 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CONDICIONES ANORMAL**CARGAS TRANSVERSALES (T)**

1.-Debido al tense del conductor	=	1853.14 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	336.32 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>38.06 kg</u>
TOTAL	=	2227.53 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	735.47 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	70 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	815.47 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1555.66</u>
TOTAL	=	2022.35 kg

CARGAS VERTICALES (V)

1.-Debido al peso del conductor	=	770.85 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0.00 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>20.00 kg</u>
TOTAL	=	1186.28 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	=	<u>0.00 kg</u>
TOTAL	=	0.00 kg

CARGAS TRANSVERSALES (T)

1.-Debido al tense del conductor	=	1396.44 kg
2.-Debido al Viento sobre el conductor	=	161.22 kg
3.-Debido al viento sobre la cadena	=	<u>38.06 kg</u>
TOTAL	=	1595.73 kg

CARGAS VERTICALES (V)

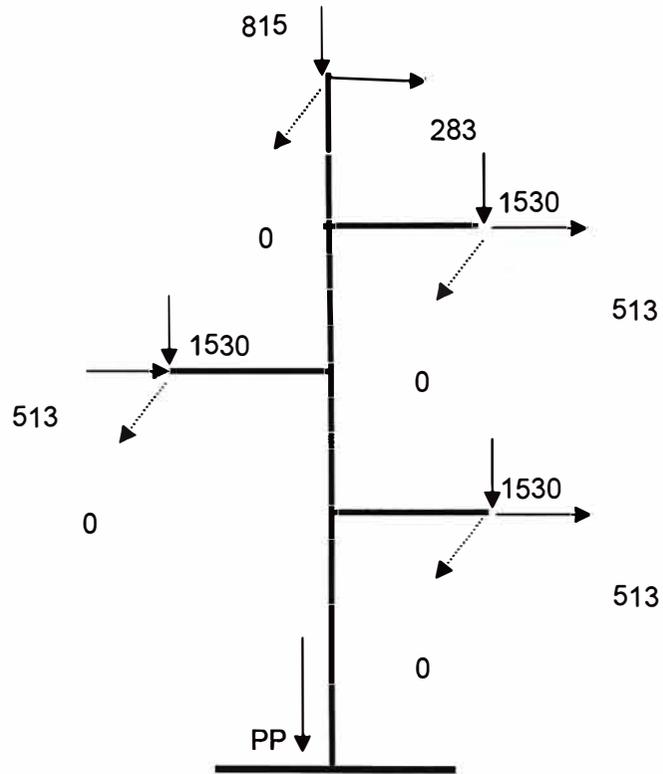
1.-Debido al peso del conductor	=	385.43 kg
2.-Debido al peso de las cadenas	=	0 kg
3.-Debido al peso de amortiguadores	=	<u>10 kg</u>
TOTAL	=	395.43 kg

CARGAS LONGITUDINALES (L)

1.-Debido a las diferencias de tiros	100%	<u>1172.27</u>
TOTAL	=	1523.95 kg

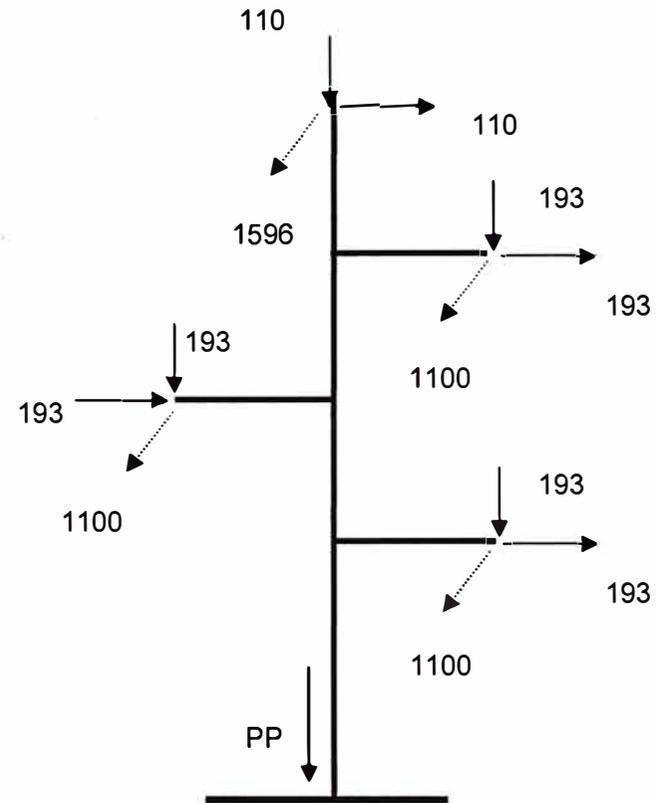
**ANEXO C:
Árbol de Cargas**

CONDICIONES NORMALES
Normativa Anterior
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo S



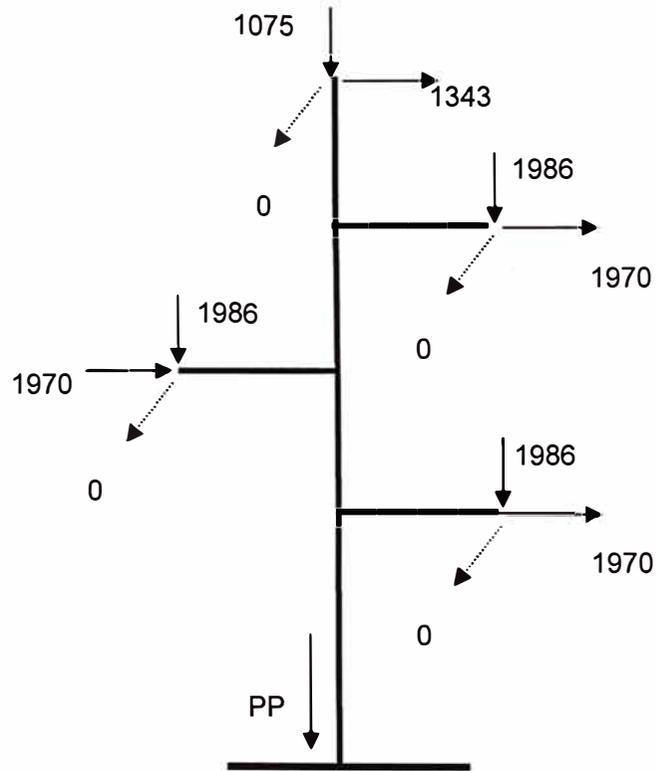
CONDICION NORMAL : (F.S.=1,8)
 PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES ANORMALES
Normativa Anterior
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo S



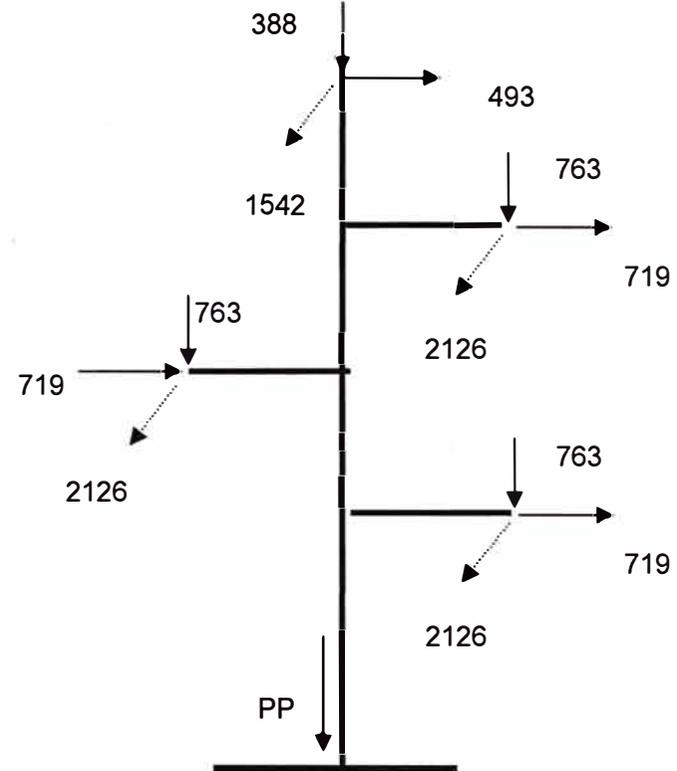
CONDICION ANORMAL: (F.S.=1,3)
 PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES NORMALES
Normativa Anterior
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo A



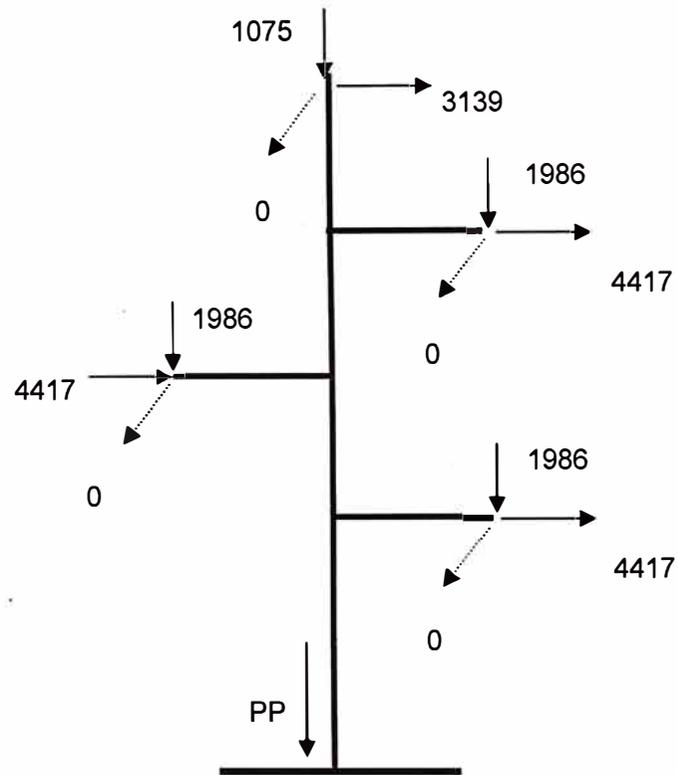
CONDICION NORMAL : (F.S.=1,8)
 PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES ANORMALES
Normativa Anterior
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo A



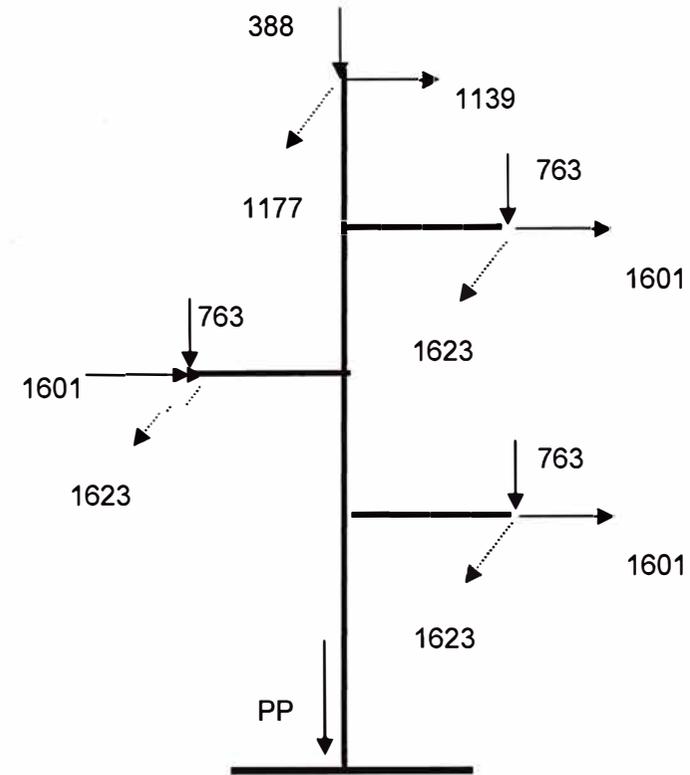
CONDICION ANORMAL : (F.S.=1,3)
 PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES NORMALES
Normativa Anterior
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo T



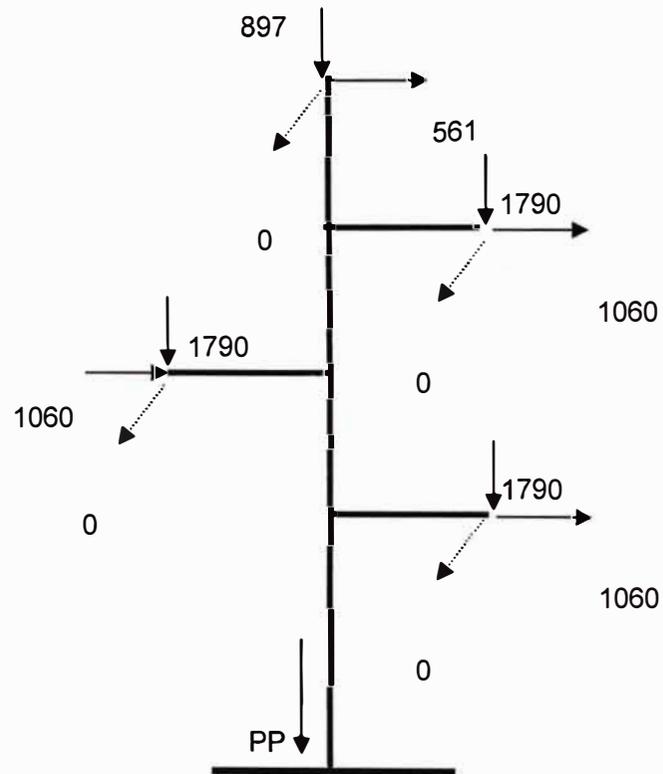
CONDICION NORMAL : (F.S.=1,8)
 PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES ANORMALES
Normativa Anterior
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo T



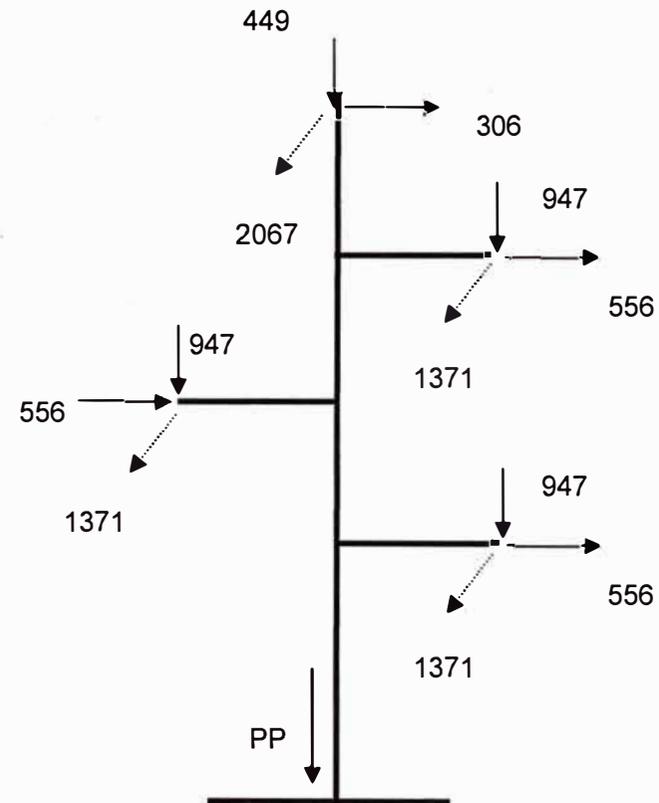
CONDICION ROTURA : (F.S.=1,3)
 PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES NORMALES
Normativa Vigente CNE-S
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo S



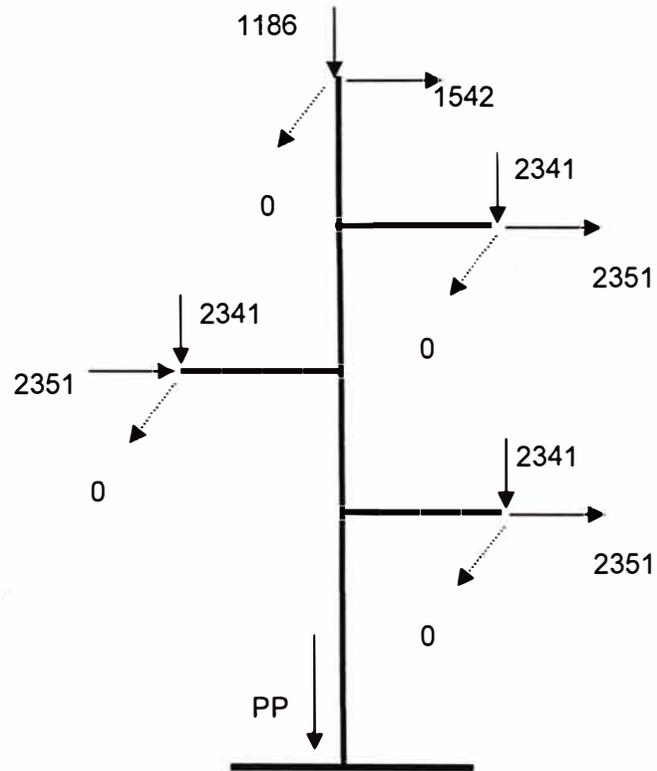
PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES ANORMALES
Normativa Vigente CNE-S
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo S



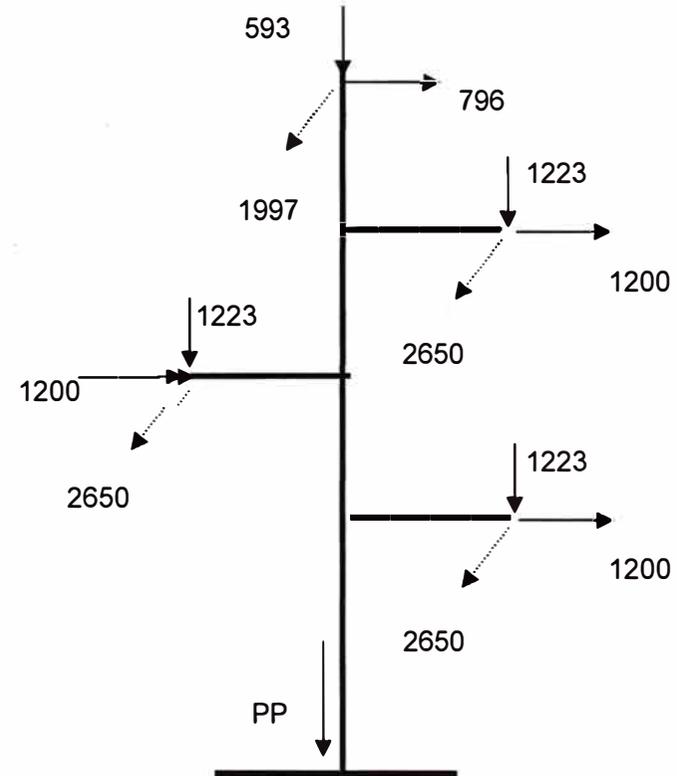
PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES NORMALES
Normativa Vigente CNE-S
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo A



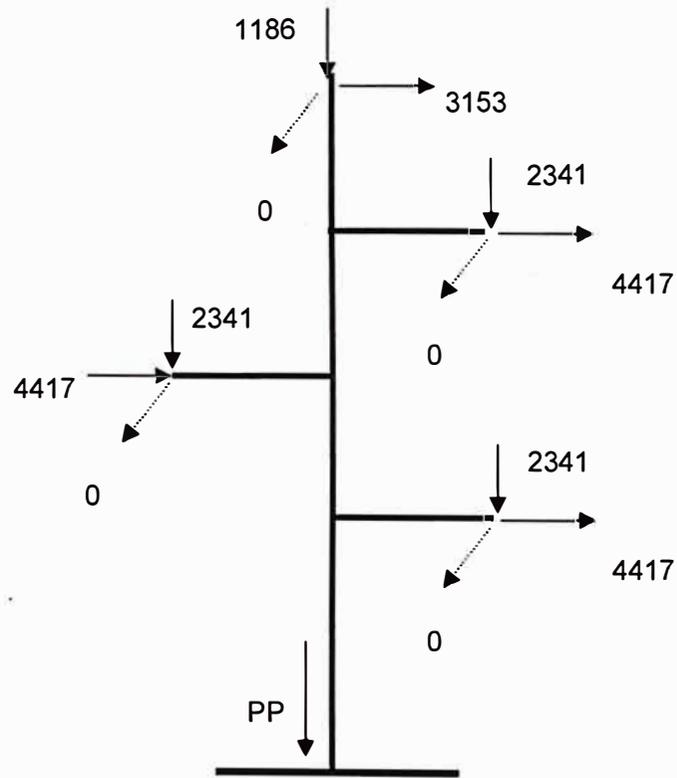
PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES ANORMALES
Normativa Vigente CNE-S
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo A



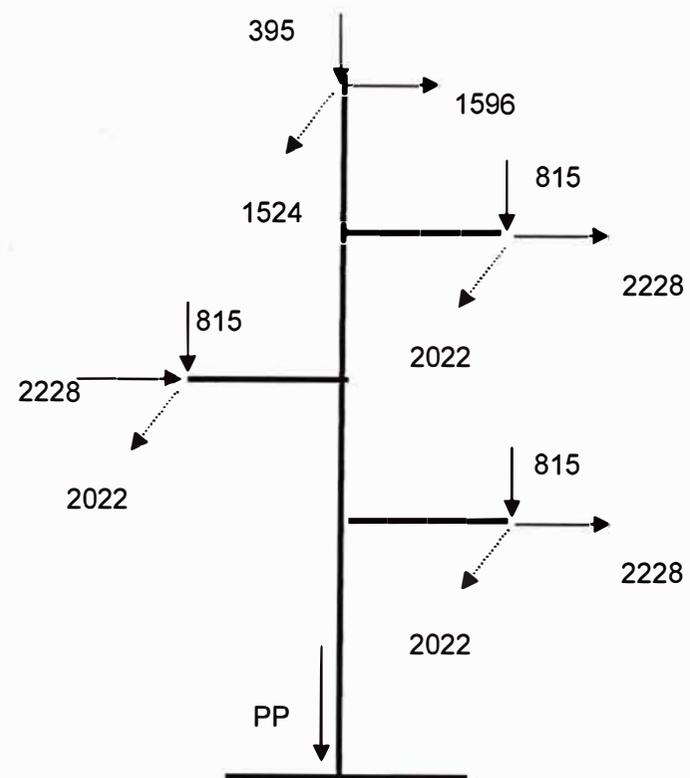
PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES NORMALES
Normativa Vigente CNE-S
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo T



PP = PESO DE LA TORRE

CONDICIONES ANORMALES
Normativa Vigente CNE-S
(Hipótesis con Viento)
Torre Tipo T



PP = PESO DE LA TORRE

**ANEXO D:
Normas de Referencia**

Tabla 234-4, no considerada en esta edición.

234.G. Distancias de seguridad adicionales para tensiones que exceden de 23 kilovolts para alambres, conductores, cables y partes rígidas bajo tensión no protegidas del equipo

Se deberá proporcionar distancias de seguridad mayores que las especificadas en las reglas 234.B, 234.C, 234.D, 234.E, 234.F y 234.J cuando sea necesario según lo siguiente:

- 234.G.1.** Para tensiones entre 23 y 242 kV, la distancia de seguridad especificada en las reglas 234.B, 234.C, 234.D, 234.E, 234.F y 234.J deberá ser incrementada a razón de 10 mm por kV que sobrepase de 23 kV. Todas las distancias de seguridad para las líneas de más de 50 kV deberán basarse en la máxima tensión de operación.

EXCEPCIÓN 1: Para las tensiones que sobrepasen de 98 kV de c.a. a tierra, se permiten distancias de seguridad menores a aquellas requeridas anteriormente para sistemas con un factor de máxima sobretensión transitoria de conmutación conocido. (Véase la regla 234.H).

- 234.G.2.** Para las tensiones que excedan de 50 kV, se incrementará la distancia adicional especificada en la regla 234.G.1 en un 3 % por cada 300 m que sobrepase de 1 000 m sobre el nivel del mar.

- 234.G.3.** Para las tensiones que excedan de 98 kV de c.a. a tierra, se incrementará las distancias de seguridad, o se reducirá el campo eléctrico o los efectos de los mismos serán reducidos utilizando otros medios, según sea necesario, a fin de limitar la corriente de régimen permanente debido a los efectos electrostáticos a 5 mA, rms, si es que ha ocurrido cortocircuito a tierra en un cerco metálico, edificación, letrero, cartelera, chimenea, antena de radio y televisión, tanque u otra instalación no puesta a tierra, o cualquier accesorio metálico de los mismos no puestos a tierra. Para esta determinación, el conductor deberá estar en una flecha final sin carga a 50 °C.

234.H. Distancias de seguridad alternativas para tensiones que exceden de 98 kilovolts de corriente alterna a tierra

Las distancias de seguridad especificadas en las reglas 234.B, 234.C, 234.D, 234.E, 234.F, 234.G y 234.J pueden reducirse para los circuitos con factores conocidos de sobretensión transitoria de conmutación, pero no deberán ser menores que la distancia alternativa, la cual se calcula añadiendo la distancia de referencia de la regla 234.H.2 al componente eléctrico de la distancia de seguridad de la regla 234.H.3.

234.H.1. Condiciones de flecha de los conductores de línea

Las distancias de seguridad verticales, horizontales y diagonales, deberán mantenerse en condiciones de temperatura y carga del conductor que se indica en la regla 234.A.

234.H.2. Distancias de referencia

La distancia de referencia deberá ser seleccionada de la Tabla 234-5.

234.H.3. Componente eléctrico de la distancia de seguridad

234.H.3.a. El componente eléctrico (D) deberá ser calculado utilizando las siguientes ecuaciones. Los valores seleccionados de D se indican en la Tabla 234-4

$$D = 1,00 [V(PU)^a/500K]^{1,667} b c \quad (\text{m})$$

Donde

V = máxima tensión de operación de cresta de c.a. a tierra en kilovolts;

PU = máximo factor de sobretensión transitoria de conmutación expresado por la máxima tensión por unidad a tierra y definido como el nivel de sobretensión de conmutación para los interruptores que corresponden a un 98 % de probabilidad que la máxima sobretensión de conmutación generada por la operación del interruptor no exceda de este nivel de sobretensión, o el máximo nivel de sobretensión de conmutación esperado debido a otros medios, cualquiera sea mayor;

$a = 1,15$, la tolerancia para las tres desviaciones estándares;

$b = 1,03$, la tolerancia para las condiciones atmosféricas no estándares;

c = el margen de seguridad:

1.2 para las distancias de seguridad verticales

1,0 para las distancias de seguridad horizontales;

$K = 1,15$, el factor de configuración para la distancia entre el conductor y la superficie plana.

234.H.3.b. El valor de D deberá incrementarse en un 3 % por cada 300 m que sobrepase de 450 m sobre el nivel del mar.

234.H.4. Límite

La distancia de seguridad alternativa no deberá ser menor que la distancia de seguridad especificada en la regla 234.B, la Tabla 234-1, Tabla 234-2 o la Tabla 234-3, según sea aplicable, calculada para 98 kV de c.a. rms a tierra según la regla 234.G.1.

Sección 24.

Grados de Construcción

240. Generalidades

240.A. En esta sección se especifican los grados de construcción tomando como base los requerimientos de resistencia mecánica para la seguridad. Cuando dos o más condiciones definen el grado de construcción requerido, el grado utilizado deberá ser el más alto requerido por cualquiera de las condiciones.

240.B. Para efectos de esta sección, los valores de tensión para los circuitos de corriente continua se considerará equivalentes a los valores rms para los circuitos de corriente alterna.

241. Aplicación de los grados de construcción para diferentes situaciones

241.A. Cables de suministro

A efectos de estas reglas, los cables de suministro se clasifican en dos tipos como sigue:

241.A.1. Tipo 1.- Los cables de suministro que se ajustan a las reglas 230.C.1, 230.C.2 o 230.C.3 serán instalados de acuerdo con la regla 261.I.

241.A.2. Tipo 2.- Para todos los demás cables de suministro se requiere que tengan el mismo grado de construcción que los conductores expuestos del mismo nivel de tensión eléctrica.

241.B Orden de los grados

El orden relativo de los grados para los conductores de suministro y comunicación y las estructuras de soporte es B, C, y N, siendo el Grado B el más alto.

241.C. En los cruces

Los alambres, conductores u otros cables de una línea que se consideran irán en los cruces cuando pasen sobre otra línea, estén o no en una misma estructura, o cuando se crucen o sobresalgan en una vía férrea o la calzada de una carretera de acceso limitado. El uso en común o la construcción colineal en sí no es considerado que irá en los cruces.

¹Las palabras "cable" y "expuesto" que aparecen en los encabezamientos tienen el siguiente significado que se aplican a los conductores de suministro: Cable significa los cables de Tipo 1 tal como se describe en la regla 241.A.1; expuesto significa el alambre desnudo y también los cables de Tipo 2, tal como se describe en la regla 241.A.2.

²Cuando los circuitos de corriente constante están en el cable de Tipo 1, el grado de construcción deberá basarse en la tensión nominal de plena carga. .

³El grado de construcción C puede utilizarse si es que la tensión del circuito abierto del transformador que suministra al circuito no excede de 2,9 kV.

⁴Ver la regla 242C.

⁵No es necesario el Grado B para las calles y carreteras comunes.

243. Grados de construcción para los soportes de línea

243.A. Estructuras

El grado de construcción deberá ser el requerido para el grado más alto de los conductores sostenidos salvo modificación de lo siguiente:

- 243.A.1.** El grado de construcción de las estructuras utilizadas en común o las estructuras utilizadas sólo por las líneas de comunicación, no necesita incrementarse simplemente debido a los alambres de comunicación conducidos en dichas estructuras a través de los conductores de contacto de trole hasta 750 V a tierra.
- 243.A.2.** Las estructuras que conducen acometidas hasta 750 V a tierra deberán tener un grado de construcción no menor que el requerido para los conductores de línea de suministro de la misma tensión.
- 243.A.3.** Cuando las líneas de comunicación crucen los conductores de suministro y una vía férrea en el mismo vano y el Grado B es requerido según la regla 241.C.3.b para los conductores de comunicación, debido a la presencia de las vías férreas, el grado de las estructuras deberá ser B.
- 243.A.4.** El grado de construcción requerido para una estructura en conflicto (primer circuito) deberá ser determinado a partir de los requerimientos de la regla 242 para los cruces. Se asumirá que los conductores (primer circuito) de la estructura en conflicto cruzan los conductores de otro circuito (segundo circuito) con el fin de determinar el grado de construcción requerido para la estructura en conflicto.

NOTA: El requerimiento del grado de la estructura resultante podría determinar un grado superior de construcción para la estructura y no para los conductores.

243.B. Crucetas y brazos de soporte

Sección 25.

Cargas para los Grados B y C

250. Requerimientos de carga generales y mapas

250.A. Generalidades

- 250.A.1.** Es necesario suponer las cargas de viento y hielo que puedan ocurrir sobre una línea. En las reglas 250.B y 250.C se especifican dos cargas atmosféricas. Cuando se apliquen ambas reglas, la carga requerida deberá ser la que tenga mayores efectos.
- 250.A.2.** Cuando las cargas de construcción o mantenimiento excedan aquellas impuestas por la regla 250.A.1, cualquiera ocurra con mayor frecuencia en las áreas de carga ligera, las supuestas cargas se incrementarán de manera coherente.
- 250.A.3.** Se sabe que las cargas que realmente se experimentan en algunas áreas pueden ser diferentes a aquellas especificadas en estas reglas. Las cargas indicadas deberán ser consideradas como cargas mínimas de aplicación. En las áreas donde se conocen las cargas más fuertes o se sospecha de su existencia, se deberá aplicar las cargas más fuertes además de las cargas especificadas en estas reglas.

250.B. Cargas de viento, hielo y hielo combinado con viento

Se reconocen tres zonas de carga generales, denominadas:

- Zona A - Ligera,
- Zona B - Regular
- Zona C - Fuerte

Existen cuatro áreas de carga dependientes de la altitud superpuestas en estas zonas, denominadas como:

- Área 0, menor de 3 000 m.s.n.m.,
- Área 1 - de 3 000 a 4 000 m.s.n.m.,
- Área 2 - de 4 001 a 4 500 m.s.n.m.,
- Área 3 - sobre los 4 500 m.s.n.m.,

Las zonas de carga A, B y C incluyen cargas de viento y las áreas de carga 1, 2 y 3 incluyen las cargas de viento incrementadas con las cargas de hielo. En la Figura 250-1 se aprecia las ubicaciones donde se aplican estas cargas.

Las tablas 250-1.A y 250-1.B muestran la presión del viento y el grosor radial del hielo que se utilizarán para calcular las cargas. Se supone que el hielo tiene una densidad de 913 kg/m³.

250.C. Carga debida al viento

Las cargas de viento horizontales o presiones debidas al viento deberán aplicarse a las áreas proyectadas de los alambres que están siendo sostenidos y a las estructuras de soporte y aisladores. Se deberá utilizar la siguiente fórmula para calcular las cargas de viento en las áreas proyectadas:

$$P_v = K \times V^2 \times S_f \times A$$

Donde: P_v = Carga en Newtons

K = Constante de presión

K = 0,613 para las elevaciones hasta 3 000 m.s.n.m.

K = 0,455 para las elevaciones mayores de 3 000 m.s.n.m.

V = Velocidad del viento en m/s

S_f = Factor de forma (véase las reglas 251.A.2 y 252.B.2)

A = Área proyectada en m²

En la Tabla 250-2 se enumera la conversión de las velocidades a presión para las velocidades de viento típicas calculado según la fórmula antes mencionada con un factor de forma de 1,0.

Tabla 250-1.A
Viento y temperatura para las zonas de carga A, B y C
(Para ser utilizado con la regla 250.B)

Zona de Carga	A Ligera	B Regular	C Fuerte
Velocidad horizontal del viento	19,5 m/s (70 km/h)	22,2 m/s (80 km/h)	25 m/s (90 km/h)
Temperatura	20 °C	15 °C	10 °C

NOTA. Pueden presentarse casos especiales donde las condiciones climatológicas extremas sean diferentes a las indicadas en este código. Podrán utilizarse valores diferentes siempre y cuando se disponga del sustento técnico de un estudio de ingeniería reconocido por los años de experiencia suficientes para garantizar la vida de la instalación dentro de los estándares internacionales. Así mismo, se podrá utilizar valores diferentes a los indicados en este código siempre y cuando la experiencia dentro de lo práctico posible haya demostrado suficiencia en lo



MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD

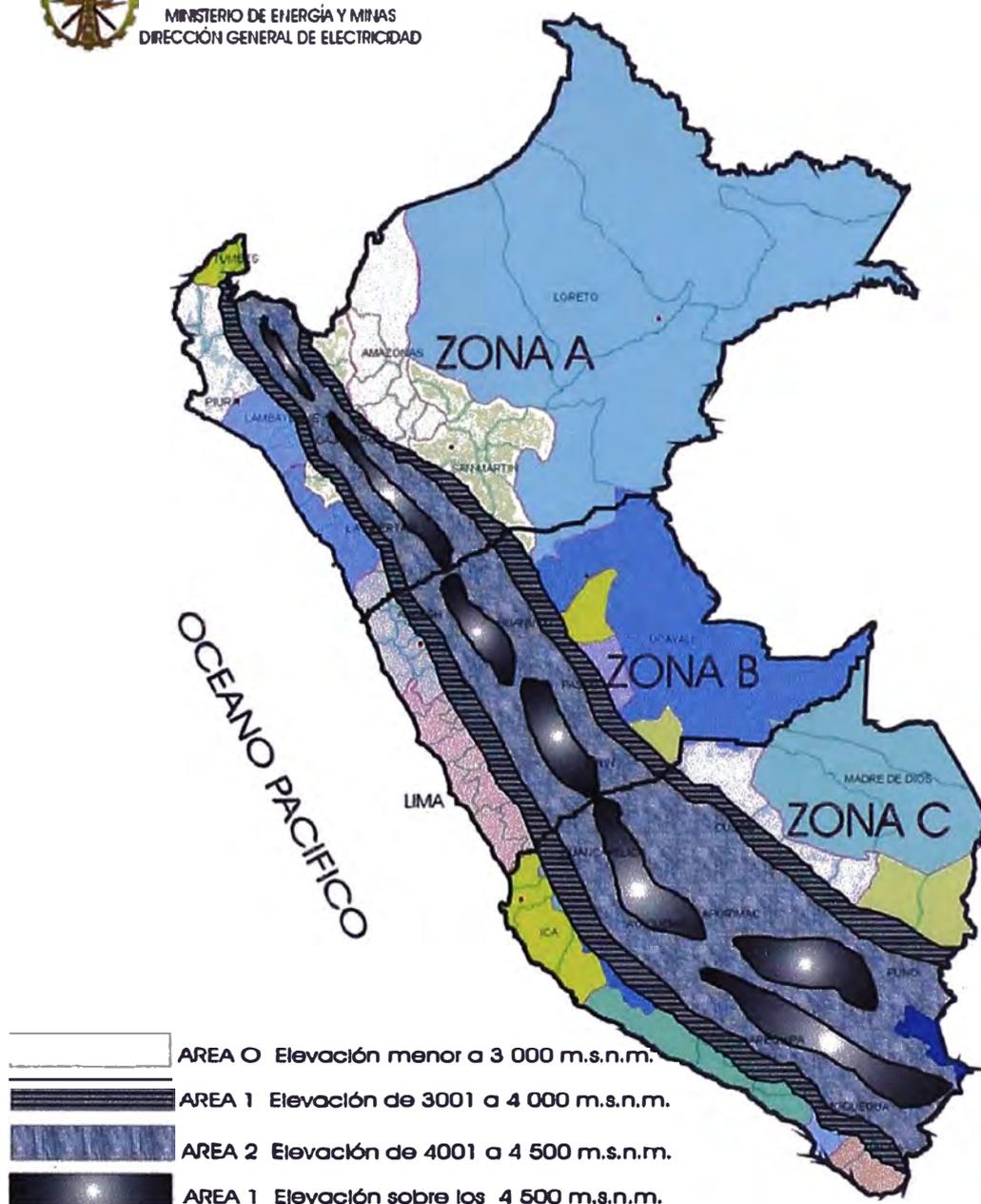


Figura 250-1
 Ubicación de las zonas de carga en el Perú

Tabla 250-1-B
Viento, hielo y temperatura para las áreas de carga 1, 2 y 3
(Para ser utilizado con la regla 250.B)

Zona de carga	Área 0 elevación menor de 3 000 m.s.n.m.	Área 1 elevación 3 000-4 000 m.s.n.m.	Área 2 elevación 4 001-4 500 m.s.n.m.	Área 3 elevación a partir de 4 500 m.s.n.m.
Caso de sólo viento				
Velocidad horizontal del viento	26 m/s (94 km/h)	29 m/s (104 km/h)	31,5 m/s (113 km/h)	33,5 m/s (120 km/h)
Temperatura °C	10 °C	5 °C	0 °C	-5 °C
Caso de sólo hielo				
Grosor radial del hielo mm	No hay	6 mm	25 mm	50 mm
Temperatura	0 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C
Caso combinado de hielo y viento				
Grosor radial del hielo	No hay	3 mm	12 mm	25 mm
Velocidad horizontal del viento	14 m/s (50 km/h)	14,5 m/s (52 km/h)	15,5 m/s (56 km/h)	17 m/s (61 km/h)
Temperatura	5 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C

NOTA 1: Pueden presentarse casos especiales donde las condiciones climatológicas extremas sean diferentes a las indicadas en este código. Podrán utilizarse valores diferentes siempre y cuando se disponga del sustento técnico de un estudio de ingeniería reconocido por los años de experiencia suficientes para garantizar la vida de la instalación dentro de los estándares internacionales. Así mismo, se podrá utilizar valores diferentes a los indicados en este código siempre y cuando la experiencia dentro de lo práctico posible haya demostrado suficiencia en lo que se haya venido utilizando, pero –en todo caso– siempre deberá tenerse presente la posibilidad de los cambios climatológicos que se viene suscitando.

NOTA 2: En el caso de la costa de Lima, hasta una altitud de 1000 m.s.n.m., podrá continuarse utilizando una velocidad de 50 km/h, mientras los estudios de vientos no indique lo contrario.

Tabla 253-1
**Factores de sobrecarga para estructuras¹, crucetas, retenidas,
 cimentaciones y anclajes que se utilizarán con los factores de resistencia de
 la Tabla 261-1.A**

	Factores de sobrecarga	
	Grado B	Grado C
Cargas de la regla 250.B cargas verticales ³	1,50	1,50
Cargas transversales		
Viento	2,50	2,20 ⁴
Tensión del alambre	1,65 ²	1,30 ⁵
Cargas longitudinales		
En los cruces		
En general	1,10	Ningún requerimiento
En los amarres (anclajes)	1,65 ²	1,30 ⁵
En cualquier lugar		
En general	1,00	Ningún requerimiento
En los amarres	1,65 ²	1,30 ⁵
Cargas, regla 250.C	1,00	1,00

¹Incluye poste.

²Para retenidas y anclajes asociados con las estructuras que sostienen sólo conductores y cables de comunicación, este factor puede reducirse a 1,33.

³Cuando las cargas verticales reduzcan significativamente la tensión del miembro de una estructura se deberá utilizar un factor de sobrecarga de 1,0 para el diseño de dicho miembro. Dicho miembro deberá ser diseñado para el caso de peor carga.

⁴Este factor puede reducirse a 1,75 para las estructuras de madera y concreto armado (no pretensado) cuando el vano que se está sosteniendo no está en un cruce.

⁵Para las estructuras y crucetas de metal y concreto pretensado, retenidas, cimentaciones y anclajes, utilice un valor de 1,10.

Sección 26

Requerimientos de Resistencia

260. Generalidades (véase la Sección 20)

260.A. Premisas

260.A.1. Se sabe que la deformación, deflexiones o desplazamiento de las partes de la estructura pueden cambiar los efectos de las cargas de diseño. Cuando se calcule los esfuerzos, se puede admitir tolerancias para dichas deformaciones, deflexiones o desplazamiento de las estructuras de soporte incluyendo postes, torres, retenidas, crucetas, espigas, sujetadores de conductores y aisladores cuando puedan evaluarse los efectos. Dicha deformación, deflexión o desplazamiento deberá calcularse utilizando las cargas de la regla 250, antes de la aplicación de los factores de sobrecarga establecidos en la regla 253. Para los cruces o conflictos, los cálculos estarán sujetos a mutuo acuerdo.

260.A.2. Se puede disponer de materiales tecnológicamente nuevos. Mientras estos materiales estén en proceso de desarrollo, deberán ser probados y evaluados. Se permite instalaciones de prueba siempre y cuando sean supervisadas por personal calificado.

260.B. Aplicación de los factores de resistencia

260.B.1 Las estructuras deberán ser diseñadas para soportar cargas apropiadas multiplicadas por los factores de sobrecarga de la Sección 25, sin exceder de su resistencia multiplicadas por los factores de resistencia de la Sección 26.

261. Construcción de Grados B y C

261.A. Estructuras de soporte

Los requerimientos de resistencia para las estructuras de soporte pueden ser cumplidos sólo por las estructuras o con la ayuda de retenidas o brazos o ambos.

261.A.1 Estructuras de metal, de concreto armado y pretensado

261.A.1.a. Estas estructuras deberán ser diseñadas para soportar las cargas indicadas en la regla 252 multiplicadas por los factores de sobrecarga apropiados de la Tabla 253-1, o de la Tabla 253-2, sin excederse de la carga permitida.

Tabla 261-1A
Factores de resistencia para las
estructuras¹, crucetas, retenidas, cimentaciones y anclajes para
ser utilizados con factores de sobrecarga de la Tabla 253-1

	Grado B	Grado C
Factores de resistencia para ser utilizados con cargas de la regla 250.B		
Estructuras de metal y concreto pretensado	1,0	1,0
Estructuras de madera y concreto armado ^{2,4}	0,65	0,85
Alambre de retenida ⁵	0,9	0,9
Anclaje y cimentaciones de retenida	1,0	1,0
Factores de resistencia para ser utilizados con cargas de la regla 250.C		
Estructuras de metal y concreto pretensado	1,0	1,0
Estructuras de madera y concreto armado ^{3,4}	0,75	0,75
Alambre de retenida ⁵	0,9	0,9
Anclaje y cimentaciones de retenida	1,0	1,0

¹ Incluye postes.

² Las estructuras de madera y concreto armado, deberán ser reemplazadas o rehabilitadas, cuando el deterioro reduzca la resistencia de la estructura a 2/3 de la requerida cuando sean instaladas. Si una estructura es reemplazada, ésta deberá cumplir con la resistencia requerida según la Tabla 261-1A. Las partes rehabilitadas de las estructuras deberán tener resistencia no mayor a 2/3 de la requerida cuando sean instaladas.

³ Las estructuras de madera y concreto armado deberán ser reemplazadas o rehabilitadas cuando el deterioro reduzca la resistencia de la estructura a 3/4 de la requerida cuando sean instaladas. Si una estructura es reemplazada, ésta deberá cumplir con la resistencia requerida según la Tabla 261-1A. Las partes rehabilitadas de las estructuras deberán tener una resistencia no mayor de 3/4 de la requerida cuando sean instaladas.

⁴ Cuando se construya una estructura de madera o concreto armado para servicio temporal, la resistencia de la estructura puede reducirse a valores menores permitidos por la nota (2), siempre que la resistencia de la estructura no disminuya por debajo de la mínima requerida durante la vida útil proyectada de la estructura.

⁵ Para los requerimientos del aislador de retenida, véase la regla 279.

BIBLIOGRAFIA

1. Código Eléctrico Nacional, Capítulos: XXXI - LI – 1955.
2. Código Nacional de Electricidad – Suministro, Sección 23: “Distancias de Seguridad, Sección 24: Grados de Construcción, Sección 25: Cargas para los Grados B y C y Sección 26: Requerimientos de Resistencia. Contenidas en la Parte 2: Reglas de Seguridad para la Instalación y Mantenimiento de Líneas Aéreas de Suministro Eléctrico y Comunicaciones. Publicado el 6 de agosto de 2001 y vigente a partir del 1 de julio de 2002.
3. Norma DGE Terminología en Electricidad Sección 9: “Líneas Aéreas” de de la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas. Aprobada el 11 de febrero de 2002 y vigente a partir del 1 de abril de 2002.
4. Re a Bulletin 62-1, Desing Manual for High Voltage Transmission Lines. Rural Electrification Administration, Diciembre 1 981.
5. Re a Bulletin 62-1, Desing Manual for High Voltage Transmission Lines. Rural Electrification Administration, Diciembre 1 981.
6. Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP), Unidades de Base del Sistema Internacional de Unidades (SI), Ley N° 23560
7. Curso Profesional: Diseño de Líneas de Transmisión Aérea de Altas Tensiones, por Ing. Hernán Untiveros Z. 1 998.
8. VNR del sistema de transmisión Sierra - ELP. ETECEN S.A., Octubre 2000.
9. DIN VDE 0210/12.85. Construcción de Líneas Aéreas de Energía Eléctrica de Tensiones Nominales mayores de 1 kV. Versión en Español. Diciembre 1 985.
10. <http://www.minem.gob.pe/electricidad/>