



pág. 1

DOCUMENTO N° 2: MEMORIA

## Memoria

### Índice

1. Características
  - 1.1. Características generales
    - 1.1.1. Conductores
    - 1.1.2. Aislamiento y herrajes
    - 1.1.3. Apoyos
    - 1.1.4. Cimentaciones
    - 1.1.5. Vientos o retenidas
    - 1.1.6. Puesta a tierra
    - 1.1.7. Dispositivos de maniobra y protección
      - 1.1.7.1. Dispositivos de maniobra
      - 1.1.7.2. Dispositivos de protección
    - 1.1.8. Derivaciones
    - 1.1.9. Numeración y avisos de peligro
  - 1.2. Características particulares
    - 1.2.1. Memoria
    - 1.2.2. Planos
      - 1.2.2.1. Plano de situación y emplazamiento
      - 1.2.2.2. Plano de perfil
      - 1.2.2.3. Otros planos
    - 1.2.3. Presupuesto
2. Conductores

- 2.1. Cálculo eléctrico
  - 2.1.1. Densidad máxima de corriente
  - 2.1.2. Resistencia
  - 2.1.3. Reactancia inductiva
  - 2.1.4. Caída de tensión
  - 2.1.5. Potencia a transportar
  - 2.1.6. Pérdidas de potencia
- 2.2. Cálculo mecánico
  - 2.2.1. Curva de equilibrio de un hilo
  - 2.2.2. Características de la catenaria
    - 2.2.2.1. Componente horizontal de la tensión del cable
    - 2.2.2.2. Tensión del cable
    - 2.2.2.3. Flecha
  - 2.2.3. Tablas de cálculo mecánico
    - 2.2.3.1. Límite estático
    - 2.2.3.2. Límites dinámicos
      - 2.2.3.2.1. Hipótesis CHS (Cold Hours Stress)
      - 2.2.3.2.2. Hipótesis EDS (Everyday Stress)
  - 2.2.4. Vanos ideales de regulación
  - 2.2.5. Tablas de regulación
  - 2.2.6. Curvas de replanteo
- 3. Aislamiento
  - 3.1. Características eléctricas
  - 3.2. Características radioeléctricas
  - 3.3. Características dimensionales
  - 3.4. Características mecánicas
- 4. Distancias de seguridad
  - 4.1. Distancias de seguridad entre elementos soportados en la misma estructura
    - 4.1.1. Distancia entre conductores de línea

- 4.1.2. Distancia de conductores o elementos energizados a soportes y demás elementos conectados normalmente a tierra
- 4.1.3. Distancias entre conductores energizados de distinta fase del mismo o diferente circuito
- 4.2. Distancia vertical sobre suelo de equipo de servicio eléctrico instalado en estructuras
- 4.3. Cruzamientos
  - 4.3.1. Líneas eléctricas y de telecomunicación soportadas por diferentes estructuras
    - 4.3.1.1. Distancia horizontal
    - 4.3.1.2. Distancia vertical
  - 4.3.2. Carreteras, caminos y vías de ferrocarril sin electrificar
  - 4.3.3. Ríos y canales, navegables o flotables
- 4.4. Paso por zonas
  - 4.4.1. Zona urbana
    - 4.4.1.1. De conductores y partes energizadas a edificios, chimeneas, carteles, antenas, excepto puentes
    - 4.4.1.2. De conductores a otras estructuras de soporte
  - 4.4.2. Bosques, árboles y masas de arbolado
- 4.5. Paralelismos
  - 4.5.1. Con líneas eléctricas
  - 4.5.2. Con líneas de telecomunicación
  - 4.5.3. Con retenidas y mensajeros sujetos a la misma estructura
  - 4.5.4. Carreteras, caminos y calles
  - 4.5.5. Vías de ferrocarril

- 4.6. Espacio para escalar
- 4.7. Espacio para trabajar
- 5. Apoyos
  - 5.1. Clasificación de los apoyos
  - 5.2. Crucetas
  - 5.3. Cimentaciones
    - 5.3.1. Cimentaciones cilíndricas
    - 5.3.2. Cimentaciones monobloque
  - 5.4. Vientos o retenidas
  - 5.5. Puesta a tierra
    - 5.5.1. Línea de tierra
    - 5.5.2. Resistencia de puesta a tierra
    - 5.5.3. Electrodo de puesta a tierra
      - 5.5.3.1. Electrodo de difusión vertical
      - 5.5.3.2. Anillos cerrados
  - 5.6. Cálculo mecánico de apoyos
    - 5.6.1. Hipótesis normales
      - 5.6.1.1. Esfuerzos verticales
        - 5.6.1.1.1. Teoría del gravivano
        - 5.6.1.1.2. Cargas permanentes
      - 5.6.1.2. Esfuerzos horizontales transversales
        - 5.6.1.2.1. Teoría del eolovano
        - 5.6.1.2.2. Sobrecargas motivadas por el viento
        - 5.6.1.2.3. Apoyos de alineación
        - 5.6.1.2.4. Apoyos de ángulo
        - 5.6.1.2.5. Apoyos de anclaje
        - 5.6.1.2.6. Apoyos de fin de línea
      - 5.6.1.3. Esfuerzos horizontales longitudinales
        - 5.6.1.3.1. Apoyos de anclaje
        - 5.6.1.3.2. Apoyos de fin de línea

- 5.6.1.4. Esfuerzo equivalente en el apoyo
- 5.6.2. Hipótesis anormales
  - 5.6.2.1. Esfuerzos verticales
  - 5.6.2.2. Esfuerzos horizontales longitudinales por desequilibrio de tracciones
    - 5.6.2.2.1. Apoyos de alineación
    - 5.6.2.2.2. Apoyos de ángulo
  - 5.6.2.3. Esfuerzo longitudinal por rotura de conductores
    - 5.6.2.3.1. En apoyos de anclaje y fin de línea
  - 5.6.2.4. Esfuerzo equivalente en el apoyo
- 5.7. Recopilación de apoyos
- 6. Tablas y gráficos
  - 6.1. Tablas de cálculo mecánico de conductores ASCR
  - 6.2. Tablas de tendido de conductores ASCR
  - 6.3. Gráficos de caída de tensión
  - 6.4. Gráficos de potencia máxima de transporte en función de la longitud
  - 6.5. Gráficos de pérdidas de potencia
  - 6.6. Tablas de cimentaciones
  - 6.7. Eolovanos admisibles por los apoyos
  - 6.8. Tablas de utilización de retenidas
  - 6.9. Tablas de esfuerzos en ángulos

## 1. CARACTERÍSTICAS

### 1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las características generales comunes en todos los Proyectos Específicos que se realicen según el presente Proyecto Tipo serán las indicadas a continuación:

#### 1.1.1. Conductores

Los conductores a emplear serán de aluminio – acero (ACSR), y quedarán definidos por la correspondiente Especificación Técnica.

Las características principales se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1

Denominación		477 MCM (Hawk)	336,4 MCM (Linnet)	266 MCM (Partridge)	4/0 (Penguin)	1/0 (Raven)	
Sección transversal	Total (mm <sup>2</sup> )	280,86	198,03	157,22	125,10	62,46	
	Aluminio (mm <sup>2</sup> )	241,53	170,3	135,19	107,22	53,54	
	Acero (mm <sup>2</sup> )	39,33	27,72	22,02	17,87	8,92	
Composición	Aluminio	Nº Alambres	26	26	26	6	6
		Diámetro	3,44	2,89	2,57	4,77	3,37
	Acero	Nº Alambres	7	7	7	1	1
		Diámetro	2,67	2,25	2,00	7,77	3,37
Diámetro nominal del cable (mm)		21,793	18,29	16,307	14,310	10,109	
Peso (daN/m)		0,956	0,676	0,535	0,433	0,212	
Carga de rotura (daN)		≥ 8 677	≥ 6 270	≥ 5 028	≥ 3 716	≥ 1 949	
Módulo de elasticidad (daN/mm <sup>2</sup> )		7 700	7 700	7 700	8100	8 100	
Coeficiente dilatación lineal (°C <sup>-1</sup> )		18,9·10 <sup>-6</sup>	18,9·10 <sup>-6</sup>	18,9·10 <sup>-6</sup>	19,1·10 <sup>-6</sup>	19,1·10 <sup>-6</sup>	
Resistencia eléctrica en C.C. a 20 °C (Ω/km)		0,1171	0,1661	0,2092	0,2611	0,5232	
Resistencia eléctrica en C.A. a 20 °C (Ω/km)		0,1182	0,1677	0,2112	0,2636	0,5281	
Resistencia eléctrica en C.A. a 75 °C (Ω/km)		0,1439	0,2041	0,2570	0,3904	0,7169	
Intensidad máx. admisible (A)	Tª ambiente 25 °C	678	546	473	410	267	
	Tª ambiente 35 °C	597	481	417	362	236	

### 1.1.2. Aislamiento y herrajes

El aislamiento se realizará mediante aisladores de suspensión para ángulos fuertes, amarres y finales de línea y mediante aisladores tipo poste para los apoyos de alineación y pequeños ángulos. Todos ellos se definen en la correspondiente Especificación Técnica de Materiales.

Los distintos herrajes, adecuados al conductor y al tipo de elemento aislador que se utilice, también quedarán definidos por las correspondientes Especificaciones Técnicas.

Las características principales de aisladores y herrajes se indican en el capítulo 3 "Aislamiento" del presente documento y su colocación y uso se muestra en los planos de montaje del Documento nº 3 Planos.

### 1.1.3. Apoyos

Los apoyos serán de hormigón, metálicos y madera, de resistencia adecuada al esfuerzo que hayan de soportar y estarán descritos en las respectivas Especificaciones Técnicas.

Las características principales de los apoyos y crucetas se indican en el capítulo 5 "Apoyos" del presente documento y en los planos de apoyos y crucetas del Documento nº 3 Planos.

### 1.1.4. Cimentaciones

Se utilizarán dos tipos de cimentación dependiendo de los esfuerzos que deba soportar el poste.

- La cimentación básica se realizará introduciendo el apoyo directamente en el terreno en un hoyo practicado para tal fin y, posteriormente, rellenando el hueco restante mediante capas alternas de grava y tierra, que serán apisonadas para darle consistencia a la cimentación.



- Cuando los esfuerzos que deba soportar el poste así lo aconsejen, se utilizará la cimentación del tipo monobloque en hormigón en masa. Para realizar este tipo de cimentación también se introducirá el poste en un hueco excavado para tal fin, pero dicho hueco se rellenará con hormigón, para conseguir una cimentación más firme del apoyo. En el caso de postes metálicos, el poste irá atornillado en pernos firmemente unidos a la cimentación, o puede ser empotrado en el terreno como los postes de otros materiales.

El cálculo y las características de las cimentaciones se indican el apartado 5.3 del capítulo 5 "Apoyos" del presente documento y en los planos de cimentaciones incluidos en el Documento nº 3 Planos.

#### 1.1.5. Vientos o retenidas

Se instalarán vientos cuando las cargas a las que estén sometidos los apoyos sean mayores que las que puede soportar con seguridad. Se recomienda reducir su número al mínimo posible y, si es económicamente practicable, se dará preferencia a las construcciones sin vientos.

Las características de los vientos se indican el apartado 5.4 del capítulo 5 "Apoyos" del presente documento y en los planos correspondientes del Documento nº 3 Planos.

#### 1.1.6. Puesta a tierra

La puesta a tierra de los apoyos se realizará con electrodos de difusión vertical o con anillo cerrado alrededor del apoyo.

Las características principales de las diferentes puesta a tierra de los apoyos se indican en el apartado 5.5 del capítulo 5 "Apoyos" del presente documento y en los planos adecuados del Documento nº 3 Planos.

### 1.1.7. Dispositivos de maniobra y protección

Los dispositivos de maniobra son aquellos elementos que se emplean para conectar o desconectar partes de la red. A su vez, los dispositivos de protección ante condiciones indeseadas tales como sobrecargas, cortocircuitos, etc. desconectan automáticamente la menor parte posible de la red, evitando daños a las instalaciones “aguas arriba” de la falla o situación anormal además de evitar, en la medida de lo posible, interrupciones del servicio. Serán los siguientes:

- Seccionador fusible de expulsión (cut out).
- Fusible.
- Seccionador unipolar.
- Autoseccionador (seccionalizador).
- Reconectador (recloser).
- Interruptor / Interruptor telecontrolado.
- Pararrayos.

#### 1.1.7.1. Dispositivos de maniobra

Las partes en tensión de estos dispositivos de intemperie estarán siempre situados a una altura del suelo superior a cinco metros, que los haga inaccesibles en condiciones normales, y se montarán de tal forma que no puedan cerrarse por gravedad. Sus características serán las adecuadas a las del punto de la red donde hayan de instalarse.

Se clasifican en dos grupos según su capacidad para operar con o sin carga.

- a) Interruptor: Permite la apertura o cierre de la intensidad nominal.
- b) Seccionador: Son capaces de abrir o cerrar un circuito por el que circulan corrientes despreciables.

#### 1.1.7.2. Dispositivos de protección

Además de las protecciones existentes en cabecera de línea, cuyas características y disposición se recogerán en el proyecto de la

subestación suministradora, se dispondrán las protecciones necesarias de acuerdo con lo definido en el documento "Criterios de arquitectura de red". Estas serán:

- a) Reconectador (recloser).
- b) Autoseccionador (seccionalizadores).
- c) Seccionador fusible de expulsión (cut out).
- d) Fusible.
- e) Pararrayos.

Las características principales de los sistemas de protección y de los dispositivos de maniobra se indican en las correspondientes Especificaciones Técnicas.

En el documento "Criterios de Arquitectura de Red Área Caribe" se señala en qué situaciones se instalarán los dispositivos descritos en este apartado, mientras que en los planos adecuados del Documento n° 3 Planos se muestra su montaje.

#### 1.1.8. Derivaciones

Todas las derivaciones se realizarán utilizando el apoyo más cercano al lugar donde se quiera situar dicha derivación, empleando para las conexiones los conectores de cuña a presión adecuados y colocando los elementos de protección y maniobra indicados en el documento "Criterios de Arquitectura de Red Área Caribe".

La descripción del montaje de los distintos elementos utilizados en las derivaciones se indica en los planos de montaje correspondientes del Documento n° 3 Planos.

#### 1.1.9. Numeración y avisos de peligro

En cada apoyo se marcará el número de orden que le corresponda, comenzando por el origen de la línea que normalmente será la subestación.

La instalación se señalará con el lema corporativo de **DISNORTE-DISSUR**, en los cruces con vías de comunicación (carreteras, vías de ferrocarril y ríos navegables).

## 1.2. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

Cada Proyecto Específico, diseñado basándose en el presente Proyecto Tipo, deberá aportar los siguientes documentos característicos del mismo:

### 1.2.1. Memoria

El formato de la Memoria del Proyecto Específico se ajustará al establecido en el Documento nº 6 Proyecto Específico. En ella se justificará la finalidad de la instalación, razonando su necesidad o conveniencia.

A continuación se describirá el trazado de la línea, indicando las provincias y términos municipales afectados.

Se pondrán de manifiesto las características particulares y la descripción de la instalación indicando la siguiente información:

- Tensión nominal.
- Frecuencia.
- Potencia máxima de transporte.
- Tipos de conductores y configuraciones.
- Nº de circuitos.
- Tipo de aisladores empleados.
- Zona climática de la línea.
- Tipos de apoyos utilizados.

Así mismo se adjuntarán una serie de cuadros que indicarán los resultados de los cálculos eléctricos y cálculos mecánicos, indicando la siguiente información técnica:

- Resistencia y reactancia por unidad de longitud.
- Corrientes de cortocircuito.
- Caídas de tensión.
- Pérdidas de potencia.
- Nivel de aislamiento.
- Distancias de los conductores al terreno.
- Distancia entre conductores.
- Resumen de apoyos.
- Resumen de vanos ideales de regulación.
- Tablas de regulación.
- Cálculo de eolovanos y gravivanos.

- Solicitaciones combinadas en apoyo.
- Cimentaciones y retenidas.
- Relación de apoyos con coeficientes de seguridad mecánico de apoyo, crucetas y cadenas de aisladores.

Se incluirá una relación de cruzamientos, paralelismos y demás situaciones con los datos necesarios para su localización e identificación del propietario, entidad u organismo afectado.

## 1.2.2. Planos

### 1.2.2.1. Plano de situación y emplazamiento

El plano de situación representará el trazado de la línea en un plano a escala 1:50.000, 1:25.000 ó 1:10.000 en donde sea perfectamente identificable la situación y emplazamiento de la línea.

En caso necesario se podrán utilizar otras escalas equivalentes a las indicadas en función de la cartografía disponible en el país.

### 1.2.2.2. Plano de perfil

Todos los Proyectos Específicos que describan una línea rural incluirán, en el plano de perfil, la planta de la línea utilizando una escala 1:2.000 y el alzado utilizando una escala horizontal 1:2.000 y una escala vertical 1:500. Cuando el Proyecto Especifico represente una línea urbana bastará con incluir el plano de planta de la línea.

El plano estará estructurado en hojas de formato normalizado para facilitar su manejo.

Se situarán en la planta todos los servicios que existan en una franja de terreno de 25 m de anchura (50 m para autovías) a cada lado del eje de la línea, tales como calles, avenidas, carreteras, ferrocarriles, cursos de agua, líneas eléctricas, de telecomunicación, teleféricos y edificios.

El plano de planta también incorporará los detalles de cruzamientos, paralelismos, pasos y demás situaciones,

numerándose cada uno de ellos correlativamente y señalándose en cada uno de ellos el cumplimiento de las separaciones mínimas reglamentarias, empleándose las hojas del plano en donde aparezcan estas situaciones en la elaboración de separatas de diversos organismos afectados.

Debajo del alzado de la línea se incluirá una tabla en la cual se indicará debajo de cada apoyo de la línea la numeración del apoyo, el perfil longitudinal, la longitud del vano, ángulo del trazado (si es aplicable al apoyo en cuestión), la distancia al origen y la altura del punto de aplicación tomando como referencia la cota + 0,00 m sobre el nivel del mar.

En cuanto a los apoyos, la nomenclatura a emplear para designar los apoyos en los perfiles de las líneas se compone de tres grupos de signos, indicando cada uno de ellos los siguientes conceptos:

#### 1º Grupo

En este grupo se indicará en primer lugar la naturaleza del apoyo:

- H: Hormigón.
- C: Metálico.
- M: Madera.

A continuación se indicará la función del apoyo, de acuerdo con las siguientes nomenclaturas:

- AL: Apoyo de alineación.
- AG: Apoyo de ángulo.
- AC: Apoyo de anclaje.
- FL: Apoyo de final de línea.
- AE: Apoyo especial (se definirá expresamente en el proyecto).

#### 2º Grupo

En este grupo se indicará la altura del apoyo y su esfuerzo principal, separados mediante una barra (XX/YYYY), y entendiendo el apoyo con coeficiente de seguridad reglamentario.

#### 3º Grupo

En este grupo se indicará el tipo de cruceta a disponer en el apoyo, el sistema de sujeción de los conductores así como el tipo de aislamiento de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

- PC: Aisladores tipo poste instalados en cruceta.
- PD: Aisladores tipo poste instalados en cruceta doble.
- PS: Aisladores tipo poste instalados en soporte.
- CS: Aislador tipo cadena de suspensión.
  
- I : Nivel de aislamiento I (13,2 kV).
- II: Nivel de aislamiento II (24,9 kV).
  
- N: Aislamiento normal.
- R: Aislamiento reforzado.

Ejemplo:

H AL - 10,5/300 – PS I N

Este código indicará un apoyo de hormigón de alineación de 10,5 m de altura y 300 daN de esfuerzo útil, con aisladores tipo poste instalados en soportes y nivel de aislamiento de 13,2 kV normal.

### 1.2.2.3. Otros planos

No será necesario incluir planos de ningún elemento constructivo: apoyos, aisladores, cimentaciones, puesta a tierra, etc., por ser los correspondientes al presente Proyecto Tipo, a no ser que se trate de apoyos o aplicaciones especiales que no estén reflejadas en este documento y sea necesaria su definición.

### 1.2.3. Presupuesto

El Presupuesto del Proyecto Específico de la instalación se realizará siguiendo la estructura establecida en el Documento nº 5 Presupuesto siendo el formato del mismo el establecido en el Documento nº 6 Proyecto Específico.

## 2. CONDUCTORES

### 2.1. CÁLCULO ELÉCTRICO

En el presente capítulo se indican los cálculos eléctricos a realizar en cualquier Proyecto Específico realizado según el presente Proyecto Tipo.

#### 2.1.1. Densidad máxima de corriente

La densidad máxima de corriente para cada conductor en régimen permanente de corriente alterna y frecuencia de 60 Hz se deducirán de las intensidades máximas de corriente permitidas, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2

CONDUCTOR	Densidad máxima de corriente (A/mm <sup>2</sup> )		Intensidad máxima (A)	
	25 °C	35 °C	25 °C	35 °C
477MCM (Hawk)	2,81	2,47	678	597
336,4 MCM (Linnet)	3,21	2,82	546	481
266 MCM (Partridge)	3,50	3,08	473	417
4/0 AWG (Penguin)	3,82	3,38	410	362
1/0 AWG (Raven)	4,99	4,41	267	236

(\*) NOTA: Los valores de intensidad máxima del conductor han sido calculados despejando estos valores de la ecuación de balance térmico entre efecto Joule y radiación solar por un lado y la radiación emitida por el conductor y refrigeración por convección por otro. Las condiciones empleadas en el cálculo han sido las siguientes:

- Temperatura ambiente: 25 y 35 °C.
- Temperatura de conductor: 75°C
- Velocidad del viento: 0,61 m/s (2 pies/s).

Cuando el conductor se instale en una situación y condiciones diferentes a las indicadas, se obtendrá la intensidad máxima admisible mediante el cálculo específico de la misma.



### 2.1.2. Resistencia

El valor de la resistencia por unidad de longitud, en corriente continua y a la temperatura  $\theta$ , vendrá dada por la siguiente expresión:

$$R'_{\theta} = R'_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)] \quad (\Omega/\text{km})$$

donde:

$R'_{\theta}$ : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura  $\theta$  °C ( $\Omega/\text{km}$ ).

$R'_{20}$ : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura de 20 °C ( $\Omega/\text{km}$ ).

$\alpha_{20}$ : Coeficiente de variación de la resistividad a 20 °C en función de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

$\theta$ : Temperatura de servicio del conductor ( $^{\circ}\text{C}$ ).

La resistencia del conductor, por unidad de longitud, en corriente alterna y a la temperatura  $\theta$ , vendrá dada por la siguiente expresión:

$$R_{\theta} = R'_{\theta} \cdot (1 + y_s) \quad (\Omega/\text{km})$$

donde:

$R_{\theta}$ : Resistencia del conductor con corriente alterna a la temperatura  $\theta$  °C ( $\Omega/\text{km}$ ).

$R'_{\theta}$ : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura  $\theta$  °C ( $\Omega/\text{km}$ ).

$y_s$ : Factor de efecto pelicular.

Los valores de  $R_{20}$ ,  $R'_{20}$ ,  $\alpha_{20}$  e  $y_s$  para los distintos conductores normalizados serán los siguientes:

Tabla 3

Conductor	477 MCM (Hawk)	336,4 MCM (Linnet)	266 MCM (Partridge)	4/0 (Penguin)	1/0 (Raven)
$R'_{20}$ ( $\Omega/\text{km}$ )	0,1171	0,1661	0,2092	0,2611	0,5232
$\alpha_{20}$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$8,75 \cdot 10^{-3}$	$6,50 \cdot 10^{-3}$
$R'_{50}$ ( $\Omega/\text{km}$ )	0,1310	0,1858	0,2340	0,3296	0,6252
$R'_{75}$ ( $\Omega/\text{km}$ )	0,1425	0,2022	0,2546	0,3868	0,7102
$y_s$	$9,40 \cdot 10^{-3}$	$9,40 \cdot 10^{-3}$	$9,40 \cdot 10^{-3}$	$9,40 \cdot 10^{-3}$	$9,40 \cdot 10^{-3}$
$R_{20}$ ( $\Omega/\text{km}$ )	0,1182	0,1677	0,2112	0,2636	0,5281
$R_{50}$ ( $\Omega/\text{km}$ )	0,1322	0,1875	0,2362	0,3327	0,6311
$R_{75}$ ( $\Omega/\text{km}$ )	0,1439	0,2041	0,2570	0,3904	0,7169

Se tendrá en cuenta la configuración del apoyo en simple o doble circuito, de forma que en un doble circuito la resistencia del doble circuito será la mitad de la resistencia del simple circuito.

### 2.1.3. Reactancia inductiva

La reactancia de una línea trifásica, por unidad de longitud y por fase, para líneas equilibradas, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (\Omega/\text{km})$$

siendo:

f: Frecuencia de la red (60 Hz).

L: Coeficiente de inducción mutua por unidad de longitud (H/km).

Además, el coeficiente de inducción mutua por unidad de longitud (L) vendrá dado por la expresión:

$$L = \left( K + 4,605 \cdot \log \frac{D_m}{r} \right) \cdot 10^{-4} \quad (\text{H/km})$$

donde:

K: Constante que, para conductores masivos es igual a 0,5 y para conductores cableados toma los siguientes valores:

Tabla 4

Constante en función del número de alambres		
Nº de alambres	7	33
K	0,64	0,55

$D_m$ : Distancia media geométrica entre conductores (mm).

r: Radio del conductor (mm).

El valor para la distancia media geométrica entre conductores dependerá de la configuración geométrica de la línea y será:

- Para simple circuito:

$$D_m = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \quad (\text{mm})$$

- Para doble circuito

$$D_m = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_3} \quad (\text{mm})$$

siendo:

$$D_1 = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \quad (\text{mm})$$

$$D_2 = \sqrt[3]{d_{1b} \cdot d_{2c} \cdot d_{3a}} \quad (\text{mm})$$

$$D_3 = \sqrt[3]{d_{1a} \cdot d_{2b} \cdot d_{3c}} \quad (\text{mm})$$

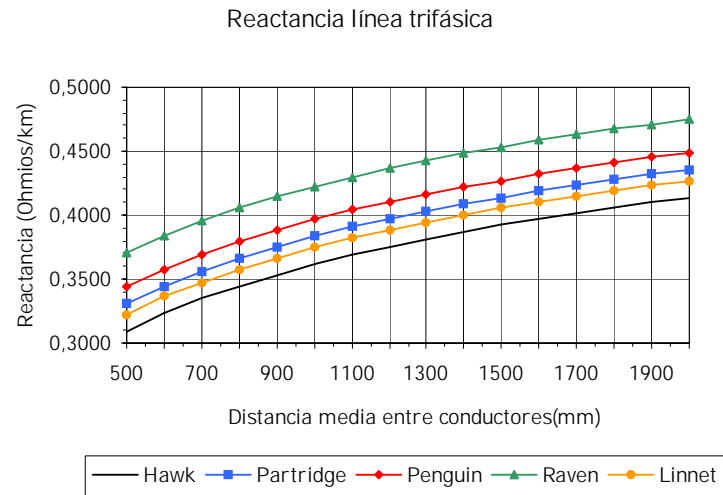
donde :

$d_{12}$ ,  $d_{23}$ ,  $d_{31}$ : Distancia entre los distintos conductores con la configuración de simple circuito (mm).

$d_{1a}, d_{2b}, d_{3c}, \dots$ : Distancia entre los conductores de distintos circuitos con la configuración de doble circuito (mm).

En el siguiente gráfico se indican los valores de la reactancia para una línea trifásica en función de la separación media geométrica entre los conductores y para los cuatro tipos de conductores utilizados en el presente Proyecto Tipo.

Gráfico 1



Una vez determinada la configuración de la línea, se calcula la distancia entre conductores y con la ayuda del gráfico se calcula la reactancia de la línea. En el caso de tratarse de una línea con doble circuito la reactancia equivalente indicada en la tabla del apartado 6.2 de este documento corresponde a la del conjunto de los dos circuitos y para la configuración de mínima impedancia.

En las líneas de doble circuito se utilizará la configuración de mínima impedancia.

A su vez, en una línea monofásica, la reactancia inductiva de la línea se calculará mediante la siguiente expresión:

$$X_L = 12,567 \cdot 10^{-4} \cdot f \cdot \ln \frac{D_m}{D_s} \quad (\Omega/\text{km})$$

siendo:

f: frecuencia de la red (60 Hz).

$D_m$ : Distancia equivalente entre el conductor de línea y el neutro (mm).

$D_s$ : Distancia media geométrica del conductor (mm).

La distancia equivalente entre el conductor de línea y el neutro es la distancia que hay entre los centros de los dos conductores. La distancia media geométrica para los conductores objeto del presente Proyecto Tipo toma los valores que se muestran en la siguiente tabla:

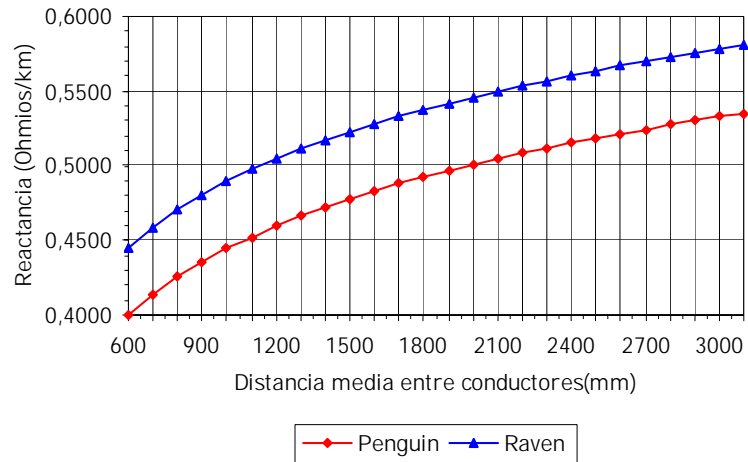
Tabla 5

Conductor	$D_s$ (mm)
4/0 (Penguin)	2,48
1/0 (Raven)	1,36

En el gráfico mostrado a continuación se indican los valores de la reactancia inductiva de una línea monofásica en función de la distancia entre el conductor de línea y el conductor neutro, para los dos tipos de conductores empleados en líneas monofásicas según el presente Proyecto Tipo.

Gráfico 2

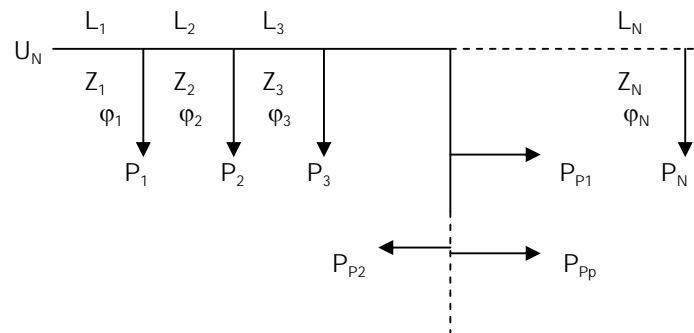
Reactancia línea monofásica



#### 2.1.4. Caída de tensión

Dadas las características particulares de distribución será necesario tener en cuenta la caída de tensión que se produce en la línea, debido a las cargas que estén conectadas a lo largo de esta.

Los cálculos serán aplicables a un tramo de línea, siendo la caída total de tensión la suma de las caídas en cada uno de los tramos intermedios.



La aplicación de este método permite llegar a resultados aproximados muy útiles cuando se quieren tantear diferentes soluciones con distintas configuraciones de línea. Se supone que la carga está concentrada en el punto final de la línea.

Podemos expresar la caída de tensión en una línea trifásica como:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot Z \cdot L \quad (V)$$

siendo:

$\Delta U$ : Caída de tensión compuesta (V).

I: Intensidad (A).

Z: Impedancia por fase y por kilómetro de línea ( $\Omega/\text{km}$ ).

L: Longitud del tramo de línea (km).

Para una línea monofásica la caída de tensión se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$\Delta U = I \cdot (Z_C \cdot L + Z_N \cdot L) = I \cdot L \cdot (Z_C + Z_N) \quad (V)$$

siendo:

$\Delta U$ : Caída de tensión compuesta (V).

I: Intensidad (A).

$Z_C$ : Impedancia por kilómetro de conductor de línea ( $\Omega/\text{km}$ ).

$Z_N$ : Impedancia por kilómetro de conductor neutro ( $\Omega/\text{km}$ ).

L: Longitud del tramo de línea (km).

También se sabe que en una línea trifásica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (A)$$

donde:

P: Potencia consumida la final de la línea (kW).

U: Tensión en el punto receptor de la línea (kV).

$\varphi$ : Ángulo de fase ( $^{\circ}$ ).

Sustituyendo para una línea trifásica:

$$\Delta U = \frac{P \cdot Z \cdot L}{1000 \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{P \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \operatorname{sen} \varphi) \cdot L}{1000 \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (\text{kV})$$

siendo:

R: Resistencia de la línea por fase y por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

X: Reactancia de la línea por fase y por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

Se simplifica la expresión definiendo la siguiente variable:

$$\Psi = R + X \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (\Omega/\text{km})$$

Por lo tanto, la expresión resultante será la siguiente:

$$\Delta U = \frac{P \cdot L \cdot \Psi}{1000 \cdot U} \quad (\text{kV})$$

Si realizamos el mismo proceso para las líneas monofásicas se llega a la siguiente expresión:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad (\text{A})$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot (Z_C + Z_N) \cdot L}{1000 \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{P \cdot [(R_C + R_N) \cdot \cos \varphi + (X_C + X_N) \cdot \operatorname{sen} \varphi] \cdot L}{1000 \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (\text{kV})$$

siendo:

P: Potencia consumida la final de la línea (kW).

U: Tensión en el punto receptor de la línea (kV).

$\varphi$ : Ángulo de fase ( $^{\circ}$ ).

$R_C$ : Resistencia del conductor de línea por fase y por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).



$R_N$ : Resistencia del conductor neutro por fase y por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

$X_C$ : Reactancia del conductor de línea por fase y por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

$X_N$ : Reactancia del conductor neutro por fase y por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

Se simplifica la expresión definiendo la siguiente variable:

$$\Psi = (R_C + R_N) + (X_C + X_N) \cdot \text{tg}\varphi \quad (\Omega/\text{km})$$

Por lo tanto la expresión resultante será la siguiente:

$$\Delta U = \frac{P \cdot L \cdot \Psi}{1000 \cdot U} \quad (\text{kV})$$

Finalmente se calcula la caída de tensión en porcentaje:

$$\Delta U(\%) = \frac{P \cdot L \cdot \Psi}{10 \cdot U^2}$$

donde:

P: Potencia activa total consumida por la/s carga/s conectada/s a la línea (kW).

L: Longitud del tramo de línea (km).

$\Psi$ : Impedancia del conductor entre el  $\cos \varphi$  de la línea ( $\Omega/\text{km}$ ).

U: Tensión compuesta de línea (kV).

En las siguientes tablas se muestran los valores de caída de tensión para los diferentes conductores y tensiones, en función de la potencia consumida por las cargas y de la longitud del tramo de línea. Se ha supuesto que la impedancia de cada tramo de línea sólo depende de la longitud de dicho tramo.

Tabla 6

Conductor	Tensión (kV)	Caída de tensión en línea trifásica ( $\Delta U$ %) (1)		
		$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,9$	$\cos \varphi = 1$
477 MCM (Hawk)	13,2	$2,337 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$1,802 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$8,259 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$
	24,9	$6,567 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$	$5,063 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$	$2,321 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$
336,4 MCM Linnnet)	13,2	$2,739 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$2,184 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$1,171 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$
	24,9	$7,698 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$	$6,137 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$	$3,292 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$
266 MCM (Partridge)	13,2	$3,080 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$2,512 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$1,475 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$
	24,9	$8,656 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$	$7,058 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$	$4,145 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$
4/0 (Penguin)	13,2	$3,903 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$3,314 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$2,241 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$
	24,9	$1,097 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$9,313 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$6,297 \cdot 10^{-5} \cdot P \cdot L$
1/0 (Raven)	13,2	$5,889 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$5,261 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$4,114 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$
	24,9	$1,655 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$1,478 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$1,156 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$

(1) Los valores de la impedancia de la línea (Z) utilizados en la realización de esta tabla se han calculado utilizando el valor de la resistencia del conductor en corriente alterna a 75 °C ( $R_{75}$ ) y la reactancia inductiva (X) para la configuración estándar con aisladores tipo poste en una línea de 24,9 kV.

$$3,338 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$$

Tabla 7

Conductor (1)	Tensión (kV)	Caída de tensión en línea monofásica ( $\Delta U$ %) (2)		
		$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,9$	$\cos \varphi = 1$
4/0 (Penguin)	13,2	$3,338 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$	$2,831 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$	$1,907 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$
	24,9	$9,380 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$7,955 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$5,358 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$
1/0 (Raven)	13,2	$3,959 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$	$3,431 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$	$2,469 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$
	24,9	$1,112 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot L$	$9,641 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$	$6,938 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot L$

(1) Las líneas monofásicas, tanto con conductor Penguin como conductor Raven, se usan con un conductor Raven como conductor neutro.

(2) Los valores de la impedancia de la línea (Z) utilizados en la realización de esta tabla se han calculado utilizando el valor de la resistencia del conductor en corriente alterna a 75 °C ( $R_{75}$ ) y la reactancia inductiva (X) para la configuración estándar con aisladores tipo poste instalados en un apoyo de 9 m.

En el apartado 6.3 del presente documento se muestra gráfica que indica la caída de tensión máxima para un número dado de cargas iguales y equidistantes en función de la potencia y la distancia entre ellas.

### 2.1.5. Potencia a transportar

La potencia máxima que puede transportar la línea vendrá limitada por la intensidad máxima admisible del conductor, determinada en el apartado 2.1.1, y por la caída de tensión máxima que se fija en el documento "Criterios de Arquitectura de Red Área Caribe".

La máxima potencia de transporte de una línea trifásica, limitada por la intensidad máxima admisible, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P_{\max} = m \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\max} \cdot \cos \varphi_m \quad (\text{kW})$$

siendo:

$P_{\max}$ : Potencia máxima que puede transportar la línea (kW).

m: N° de circuitos (1 ó 2).

U: Tensión nominal compuesta de la línea (kV).

$I_{\max}$ : Intensidad máxima admisible del conductor (A).

$\cos \varphi_m$ : Factor de potencia medio de las cargas receptoras.

En el caso de una línea monofásica, la expresión que se utiliza para calcular la máxima potencia de transporte es la siguiente:

$$P_{\max} = U_{\max} \cdot \cos \varphi_m \quad (\text{kW})$$

siendo:

$P_{\max}$ : Potencia máxima que puede transportar la línea (kW).

U: Tensión nominal de la línea (kV).

$I_{\max}$ : Intensidad máxima admisible del conductor (A).

$\cos \varphi_m$ : Factor de potencia medio de las cargas receptoras.

Hay que tener en cuenta que el punto crítico de la línea es el tramo situado antes de la primera carga, ya que después de esta la intensidad que circulará por la línea siempre será menor. En el caso de ramificaciones sucederá lo mismo, el punto más crítico estará al inicio de la ramificación.

En las siguientes tablas aparecen los valores de potencia máxima para simple y doble circuito, limitada únicamente por la intensidad máxima admisible del conductor, para los distintos niveles de tensión y para factores de potencia de 0,8, 0,9 y 1. Se tendrá en cuenta que la intensidad máxima admisible por el conductor dependen de diversos factores (temperatura ambiental, dirección y velocidad del viento, etc...). Los cálculos de esta tabla toman las intensidades máximas de los conductores indicadas en el apartado 1.1.1 de la presente Memoria, para las dos temperaturas ambiente definidas.

Tabla 8

Potencia máxima limitada por intensidad máxima (MW) Simple circuito monofásico					
U (kV)	cos $\varphi_m$	4/0 (Penguin)		1/0 (Raven)	
		25°C	35°C	25°C	35°C
13,2	0,8	2,50	2,21	1,63	1,44
	0,9	2,81	2,48	1,83	1,62
	1	3,12	2,76	2,03	1,80
24,9	0,8	4,72	4,16	3,07	2,71
	0,9	5,30	4,68	3,45	3,05
	1	5,89	5,20	3,84	3,39

Tabla 9

Potencia máxima limitada por intensidad máxima (MW) Simple circuito trifásico											
U (kV)	cos $\varphi_m$	477 MCM (Hawk)		336,4 MCM (Linnet)		266 MCM (Partridge)		4/0 (Penguin)		1/0 (Raven)	
		25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C
13,2	0,8	12,41	10,92	9,99	8,80	8,65	7,63	7,50	6,62	4,88	4,32
	0,9	13,96	12,29	11,23	9,90	9,73	8,58	8,44	7,45	5,49	4,86
	1	15,51	13,65	12,48	11,00	10,81	9,53	9,37	8,28	6,10	5,40
24,9	0,8	23,41	20,60	18,84	16,60	16,32	14,39	14,15	12,49	9,21	8,14
	0,9	26,33	23,17	21,19	18,68	18,36	16,19	15,91	14,05	10,36	9,16
	1	29,26	25,75	23,55	20,75	20,40	17,98	17,68	15,61	11,52	10,18

Tabla 10

Potencia máxima limitada por intensidad máxima (MW)											
Doble circuito trifásico											
U (kV)	cos φ <sub>m</sub>	477 MCM (Hawk)		336,4 MCM (Linnet)		266 MCM (Partridge)		4/0 (Penguin)		1/0 (Raven)	
		25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C
13,2	0,8	24,82	21,84	19,97	17,60	17,30	15,25	15,00	13,24	9,77	8,63
	0,9	27,92	24,57	22,47	19,80	19,47	17,16	16,87	14,90	10,99	9,71
	1	31,02	27,30	24,96	22,00	21,63	19,07	18,75	16,55	12,21	10,79
24,9	0,8	46,82	41,20	37,67	33,20	32,64	28,78	28,29	24,98	18,42	16,29
	0,9	52,67	46,35	42,38	37,35	36,72	32,37	31,83	28,10	20,73	18,32
	1	58,52	51,50	47,09	41,50	40,80	35,97	35,37	31,22	23,03	20,36

La potencia que podrá transportar la línea, tanto trifásica como monofásica, por carga dependiendo de la distancia entre cargas y de la caída de tensión máxima admisible será:

$$P = \frac{10 \cdot U^2}{\Psi} \cdot \frac{\Delta U\%}{L} \quad (\text{kW})$$

Operando para los distintos niveles de tensión y conductores obtenemos las siguientes tablas:

Tabla 11

SISTEMA TRIFÁSICO				
Conductor	Tensión (kV)	Potencia a transportar (kW) (1)		
		cos φ = 0,8	cos φ = 0,9	cos φ = 1
477 MCM (Hawk)	13,2	$4\,279,1 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$5\,550,4 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$12\,108,4 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
	24,9	$15\,226,6 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$19\,750,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$43\,086,2 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
336,4 MCM (Linnet)	13,2	$3\,650,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$4\,579,0 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$8\,537,0 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
	24,9	$12\,990,0 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$16\,293,7 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$30\,377,8 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
266 MCM (Partridge)	13,2	$3\,246,6 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$3\,981,6 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$6\,779,8 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
	24,9	$11\,552,6 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$14\,168,1 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$24\,124,9 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
4/0 (Penguin)	13,2	$2\,562,3 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$3\,017,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$4\,463,1 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
	24,9	$9\,117,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$10\,737,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$15\,881,4 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
1/0 (Raven)	13,2	$1\,698,0 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$1\,900,9 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$2\,430,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
	24,9	$6\,042,0 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$6\,764,1 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$8\,648,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$

(1) Los valores de la impedancia de la línea (Z) utilizados en la realización de esta tabla se han calculado utilizando el valor de la resistencia del conductor en corriente alterna a 75 °C ( $R_{75}$ ) y la reactancia inductiva (X) para la configuración estándar con aisladores tipo poste en una línea de 24,9 kV.

Tabla 12

SISTEMA MONOFÁSICO				
Conductor (1)	Tensión (kV)	Potencia a transportar (kW) (2)		
		$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,9$	$\cos \varphi = 1$
4/0 (Penguin)	13,2	$299,6 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$353,3 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$524,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
	24,9	$1\,066,1 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$1\,257,0 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$1\,866,4 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
1/0 (Raven)	13,2	$252,6 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$291,5 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$405,1 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$
	24,9	$898,9 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$1\,037,2 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$	$1\,441,4 \cdot \frac{\Delta U\%}{L}$

(1) Las líneas monofásicas, tanto con conductor Penguin como conductor Raven, se usan con un conductor Raven como conductor neutro.

(2) Los valores de la impedancia de la línea (Z) utilizados en la realización de esta tabla se han calculado utilizando el valor de la resistencia del conductor en corriente alterna a 75 °C ( $R_{75}$ ) y la reactancia inductiva (X) para la configuración estándar con aisladores tipo poste instalados en un apoyo de 9 m y a una tensión de 24,9 kV.

Si se supone que todas las cargas son iguales y están colocadas equidistantes, a la menor de las distancias reales entre las cargas, la potencia obtenida mediante este método es la potencia máxima de transporte por carga. Cuando alguna de las distancias sea mayor, la potencia a transportar tendrá que ser menor. Se tiene, por tanto, una cota superior.

Si se toma el valor de la mayor distancia entre cargas, se obtendrá un valor de potencia por carga que es una cota inferior. Para cualquier valor de distancia entre cargas menores que éste se podrá transportar una potencia mayor.

En el apartado 6.4 del presente documento se indica la potencia máxima de transporte en función de la distancia media entre las cargas y de la caída de tensión requerida.

### 2.1.6. Pérdidas de potencia

Las pérdidas de potencia en una línea serán las debidas al efecto Joule causado por la resistencia de la misma. Para una línea trifásica vendrán dadas por la siguiente expresión:

$$p = 3 \cdot R \cdot L \cdot I^2 \quad (W)$$

donde:

R: Resistencia de la línea por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

L: Longitud de la línea (km).

I: Intensidad de la línea (A).

Sin embargo, si la línea es monofásica:

$$p = (R_C + R_N) \cdot L \cdot I^2 \quad (W)$$

donde:

$R_C$ : Resistencia del conductor de línea por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

$R_N$ : Resistencia del conductor neutro por kilómetro ( $\Omega/\text{km}$ ).

L: Longitud de la línea (km).

I: Intensidad de la línea (A).

El porcentaje de potencia perdida depende de la potencia transportada por la línea, que para el caso de una línea trifásica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{kW})$$

siendo:

U: Tensión compuesta de la línea (kV).

I: Intensidad de la línea (A).

$\cos \varphi$ : Factor de potencia de la línea.



El porcentaje de potencia perdida en la línea vendrá dado por el cociente entre la potencia perdida y la potencia transportada. Ajustando unidades se obtiene la siguiente expresión:

$$\Delta P(\%) = \frac{p}{P} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot R \cdot L \cdot I}{10 \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (\%)$$

Sustituyendo el valor de la intensidad se deduce la expresión final:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (A)$$

$$\Delta P(\%) = \frac{P \cdot R \cdot L}{10 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\%)$$

siendo:

U: Tensión compuesta de línea (kV).

R: Resistencia de la línea por kilómetro ( $\Omega$ /km).

L: Longitud de la línea (km).

$\cos \varphi$ : Factor de potencia de la línea.

P: Potencia consumida (kW).

Si realizamos el mismo proceso para el caso de una línea monofásica obtenemos los siguientes resultados.

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (kW)$$

$$\Delta P(\%) = \frac{p}{P} \cdot 100 = \frac{(R_N + R_C) \cdot L \cdot I}{10 \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (\%)$$

Sustituyendo el valor de la intensidad se llega a la expresión final:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad (A)$$

$$\Delta P(\%) = \frac{P \cdot (R_N + R_C) \cdot L}{10 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\%)$$

En las siguientes tablas se muestran los porcentajes de pérdida de potencia en función de la potencia y de la distancia, para las dos tensiones objeto de este proyecto y para varios valores del factor de potencia.

Tabla 13

SISTEMA TRIFÁSICO				
Conductor	Tensión (kV)	Pérdida de potencia (%) (1)		
		cos $\varphi$ = 0,8	cos $\varphi$ = 0,9	cos $\varphi$ = 1
477 MCM (Hawk)	13,2	$\frac{P \cdot L}{7749,4}$	$\frac{P \cdot L}{9807,8}$	$\frac{P \cdot L}{12108,4}$
	24,9	$\frac{P \cdot L}{27575,1}$	$\frac{P \cdot L}{34899,8}$	$\frac{P \cdot L}{43086,2}$
336,4 MCM (linnet)	13,2	$\frac{P \cdot L}{5463,7}$	$\frac{P \cdot L}{6915,0}$	$\frac{P \cdot L}{8537,0}$
	24,9	$\frac{P \cdot L}{19441,8}$	$\frac{P \cdot L}{24606,0}$	$\frac{P \cdot L}{30377,8}$
266 MCM (Partridge)	13,2	$\frac{P \cdot L}{4339,1}$	$\frac{P \cdot L}{5491,6}$	$\frac{P \cdot L}{6779,8}$
	24,9	$\frac{P \cdot L}{15439,9}$	$\frac{P \cdot L}{19541,2}$	$\frac{P \cdot L}{24124,9}$
4/0 (Penguin)	13,2	$\frac{P \cdot L}{2856,4}$	$\frac{P \cdot L}{3615,1}$	$\frac{P \cdot L}{4463,1}$
	24,9	$\frac{P \cdot L}{10164,1}$	$\frac{P \cdot L}{12863,9}$	$\frac{P \cdot L}{15881,4}$
1/0 (Raven)	13,2	$\frac{P \cdot L}{1555,5}$	$\frac{P \cdot L}{1968,7}$	$\frac{P \cdot L}{2430,5}$
	24,9	$\frac{P \cdot L}{5535,0}$	$\frac{P \cdot L}{7005,3}$	$\frac{P \cdot L}{8648,5}$

(1) En la realización de esta tabla se ha utilizado el valor de la resistencia del conductor en corriente alterna a 75 °C ( $R_{75}$ ).

Tabla 14

SISTEMA MONOFÁSICO				
Conductor	Tensión (kV)	Pérdida de potencia (%) (1)		
		cos φ = 0,8	cos φ = 0,9	cos φ = 1
4/0 (Penguin)	13,2	$\frac{P \cdot L}{335,7}$	$\frac{P \cdot L}{424,9}$	$\frac{P \cdot L}{524,5}$
	24,9	$\frac{P \cdot L}{1194,5}$	$\frac{P \cdot L}{1511,8}$	$\frac{P \cdot L}{1866,4}$
1/0 (Raven)	13,2	$\frac{P \cdot L}{259,2}$	$\frac{P \cdot L}{328,1}$	$\frac{P \cdot L}{405,1}$
	24,9	$\frac{P \cdot L}{922,5}$	$\frac{P \cdot L}{1167,5}$	$\frac{P \cdot L}{1441,4}$

(1) En la realización de esta tabla se ha utilizado el valor de la resistencia del conductor en corriente alterna a 75 °C ( $R_{75}$ ).

Cuando se tiene una serie de cargas diferentes conectadas a diferentes intervalos, bastará con tomar la mayor potencia y la mayor distancia entre cargas para obtener una cota superior de las pérdidas de potencia.

En el apartado 6.5 del presente documento se indican de forma gráfica las pérdidas de potencia.

## 2.2. CÁLCULO MECÁNICO

En este apartado se indican los cálculos mecánicos de conductores a realizar en cualquier Proyecto Específico realizado según el presente Proyecto Tipo.

Los conductores de líneas eléctricas que se utilizan en la actualidad son heterogéneos, es decir, están compuestos de dos materiales, normalmente aluminio y acero. Debido a esta condición de los conductores, el cálculo mecánico hay que hacerlo en función del módulo de elasticidad y del coeficiente de dilatación correspondientes a la proporción en que se encuentren el aluminio y el acero.

Además, los cálculos mecánicos de conductores dependerán de:

- Las características meteorológicas y geográficas de la zona en la que se instalen las líneas.
- La flecha que tomarán los conductores en los diferentes vanos y para las distintas hipótesis.
- Las características mecánicas de apoyos y crucetas utilizados en el presente Proyecto Tipo.
- La tensión mecánica a la que se verán sometidos los conductores al variar las condiciones ambientales en las distintas hipótesis.
- Su comportamiento frente a la posible aparición de fenómenos vibratorios. Para estas condiciones, a la hora de establecer las condiciones del EDS y del CHS, el presente Proyecto Tipo se guiará de las recomendaciones establecidas por la IEEE en el campo de las vibraciones eólicas.

Teniendo en cuenta las características meteorológicas y geográficas de los países incluidos en este Proyecto Tipo, se han definido dos áreas con dos zonas cada una en las que variarán las condiciones en las que se realizan los cálculos mecánicos del conductor para las distintas hipótesis. Son las siguientes:

- Área A-Zona 1: Será de aplicación en las zonas con velocidades del viento de 100 km/h con altitudes inferiores a los 2000 m.



pág. 37

- Área A-Zona 2: Se aplicará cuando las líneas se instalen en zonas con velocidades del viento de 100 km/h con altitudes superiores a los 2000 m.
- Área B-Zona 1: Será de aplicación en las zonas con velocidades del viento de 120 km/h con altitudes inferiores a los 2000 m.
- Área B-Zona 2: Se aplicará cuando las líneas se instalen en zonas con velocidades del viento de 120 km/h con altitudes superiores a los 2000 m.

Una vez definidas las zonas, se precisarán las características de las hipótesis de cálculo mecánico que serán de aplicación en cada una de ellas.

En la siguiente tabla se resumen estas hipótesis con las correspondientes sobrecargas a considerar:

Tabla 15

Condición		Área A				Área B			
		Velocidad de viento 100 km/h				Velocidad de viento 120 km/h			
		Zona 1 Altitud menor de 2000 m		Zona 2 Altitud mayor de 2000 m		Zona 1 Altitud menor de 2000 m		Zona 2 Altitud mayor de 2000 m	
		Temperatura	Sobrecarga	Temperatura	Sobrecarga	Temperatura	Sobrecarga	Temperatura	Sobrecarga
Tracción máxima	Hipótesis viento	10 °C	Presión de viento de 47,24 daN/m <sup>2</sup> (1)	5 °C	Presión de viento de 47,24 daN/m <sup>2</sup> (1)	10 °C	Presión de viento de 68,02 daN/m <sup>2</sup> (2)	5 °C	Presión de viento de 68,02 daN/m <sup>2</sup> (2)
	Hipótesis temperatura	5 °C	Ninguna	-5 °C	Ninguna	5 °C	Ninguna	-5 °C	Ninguna
Flecha máxima	Hipótesis viento	20 °C	Presión de viento de 47,24 daN/m <sup>2</sup> (1)	20 °C	Presión de viento de 47,24 daN/m <sup>2</sup> (1)	20 °C	Presión de viento de 68,02 daN/m <sup>2</sup> (2)	20 °C	Presión de viento de 68,02 daN/m <sup>2</sup> (2)
	Hipótesis temperatura	50 °C	Ninguna	50 °C	Ninguna	50 °C	Ninguna	50 °C	Ninguna
	Hipótesis temperatura excepcional	75 °C	Ninguna	75 °C	Ninguna	75 °C	Ninguna	75 °C	Ninguna
Flecha mínima	Hipótesis temperatura	5 °C	Ninguna	-5 °C	Ninguna	5 °C	Ninguna	-5 °C	Ninguna
CHS		10 °C	Ninguna	0 °C	Ninguna	10 °C	Ninguna	0 °C	Ninguna
EDS		20 °C	Ninguna	15 °C	Ninguna	20 °C	Ninguna	15 °C	Ninguna

(1) La presión de viento de 47,24 daN/m<sup>2</sup> es la equivalente a la ejercida por un viento de 100 km/h.

(2) La presión de viento de 68,02 daN/m<sup>2</sup> es la equivalente a la ejercida por un viento de 120 km/h

Se calcularán las tensiones máximas de los conductores para las hipótesis de tracción máxima (hipótesis de viento y de temperatura), CHS (Cold Hours Stress), EDS (Everyday Stress), flecha máxima y flecha mínima. El resultado de estos cálculos aparecerá reflejado en las tablas incluidas en el apartado 6.1 del presente Proyecto Tipo.

### 2.2.1. Curva de equilibrio de un hilo

Se define la catenaria como la línea de equilibrio de un hilo pesado homogéneo, totalmente flexible, imaginado suspendido entre dos puntos y sometido a una fuerza constante por unidad de longitud ( $p$ ).

La curva de equilibrio de este hilo vendrá dada por la ecuación de la catenaria:

$$y = H \cdot \cosh\left(\frac{x}{H}\right) \quad (\text{m})$$

donde:

$$H = \frac{T_0}{p} \quad (\text{m})$$

es el parámetro de la catenaria, siendo:

$y$ : Coordenada en el eje  $y$  del cable (m).

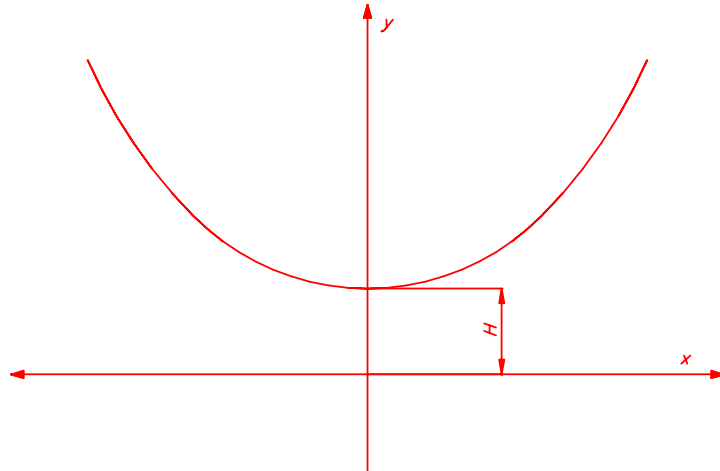
$x$ : Coordenada en el eje  $x$  del cable (m).

$T_0$ : Tensión en el punto tangencial a la catenaria (daN).

$p$ : Fuerza por unidad de longitud o peso aparente del cable (daN/m).

La catenaria se encontrará contenida en un plano paralelo a la fuerza por unidad de longitud.

La ecuación de la catenaria está referida a un sistema de coordenadas cartesiano ortogonal donde el eje " $y$ " es paralelo a la dirección de la fuerza por unidad de longitud ( $p$ ).



## 2.2.2. Características de la catenaria

### 2.2.2.1. Componente horizontal de la tensión del cable

La proyección horizontal de la tensión  $T_h$  en cualquier punto de la curva es constante e igual a la tensión del punto de tangencia horizontal  $T_0$  que denominamos vértice de la catenaria.

$$T \cdot \cos \alpha = \text{cte} = T_0 \quad (\text{daN})$$

siendo:

$\alpha$ : ángulo formado por la tensión del conductor  $T$  y su componente horizontal  $T_h$ .

### 2.2.2.2. Tensión del cable

La tensión a que se ve sometido un cable en un punto determinado de la catenaria vendrá dada por la siguiente expresión:

$$T = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{x}{H}\right) \quad (\text{daN})$$



siendo:

T: Tensión del cable (daN).

$T_0$ : Componente horizontal de la tensión del cable (daN).

H: Parámetro de la catenaria (m).

x: Coordenada en el eje x del cable (m).

La dirección de esta tensión en cualquier punto será tangente a la catenaria.

La tensión en el punto medio de un vano no nivelado vendrá dado por la siguiente expresión:

$$T_m = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{x_m}{H}\right) \quad (\text{daN})$$

donde:

$$x_m = H \cdot \operatorname{argsenh}\left(\frac{\frac{b}{2 \cdot H}}{\operatorname{senh}\frac{a}{2 \cdot H}}\right) \quad (\text{m})$$

siendo:

$T_m$ : Tensión del cable en el punto medio del vano (daN).

$T_0$ : Componente horizontal de la tensión del cable (daN).

H: Parámetro de la catenaria (m).

$x_m$ : Coordenada en el eje x del punto medio del vano (m).

a: Longitud del vano medido en la dirección longitudinal (m).

b: Desnivel del vano medido en la dirección vertical (m).

### 2.2.2.3. Flecha

La flecha máxima para un vano no nivelado vendrá dada por la siguiente expresión:

$$f = \frac{T_m}{p} \cdot \left[ \cosh\left(\frac{a}{2 \cdot H}\right) - 1 \right] \quad (\text{m})$$

donde:

f: Flecha (m).

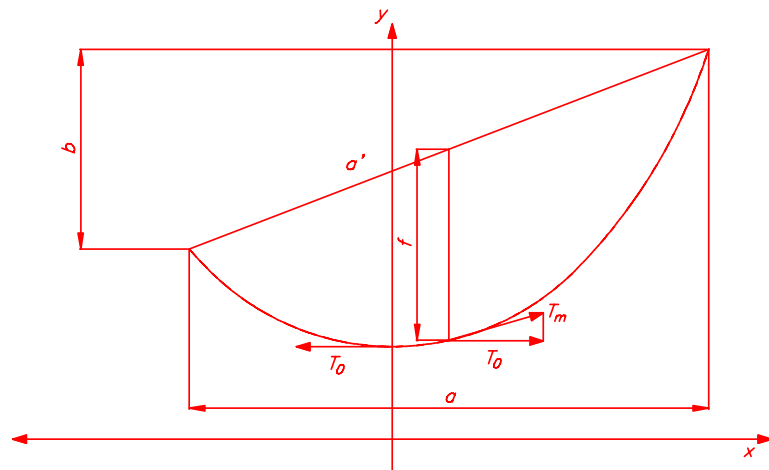
$T_m$ : Tensión del cable en el punto medio del vano (daN).

p: Fuerza por unidad de longitud o peso aparente del cable (daN/m).

a: Longitud del vano medido en la dirección longitudinal (m).

H: Parámetro de la catenaria (m).

b: Desnivel del vano medido en la dirección vertical (m).



### 2.2.3. Tablas de cálculo mecánico

La ecuación del cambio de condiciones permite calcular la tensión a que estará sometido un cable en unas condiciones determinadas de temperatura y sobrecarga, partiendo de una tensión hallada previamente para unas condiciones iniciales. Estas serán las condiciones de partida.

Estas condiciones de partida se fijarán teniendo en cuenta conjuntamente los límites estáticos y dinámicos, definidos en los apartados 2.2.3.1 y 2.2.3.2, de forma que la situación inicial será la que establezca las condiciones más desfavorables.

Las tablas de cálculo mecánico de conductores se determinarán mediante la ecuación de cambio de condiciones para vano nivelado:

$$T_{02}^3 + T_{02}^2 \cdot \left[ \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) \cdot S \cdot E + \frac{a^2 \cdot p_1^2 \cdot S \cdot E}{24 \cdot T_{01}^2} - T_{01} \right] = \frac{a^2 \cdot p_2^2 \cdot S \cdot E}{24}$$

El cálculo de la flecha para vanos nivelados se determinará mediante la siguiente expresión:

$$f_2 = \frac{T_{02}}{p_2} \cdot \left[ \cosh \left( \frac{a \cdot p_2}{2 \cdot T_{02}} \right) - 1 \right] \quad (\text{m})$$

siendo:

$T_{02}$ : Componente horizontal de la tensión del cable en las condiciones finales (daN).

$T_{01}$ : Componente horizontal de la tensión del cable en las condiciones iniciales (daN).

$\alpha$ : Coeficiente de dilatación del cable ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

$\theta_2$ : Temperatura del cable en las condiciones finales ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$\theta_1$ : Temperatura del cable en las condiciones iniciales ( $^{\circ}\text{C}$ ).

S: Sección total del cable ( $\text{mm}^2$ ).

E: Módulo de elasticidad del cable ( $\text{daN}/\text{mm}^2$ ).

a: Longitud del vano medido en la dirección longitudinal (m).  
 $p_1$ : Peso aparente del cable en las condiciones iniciales (daN/m).

$p_2$ : Peso aparente del cable en las condiciones finales (daN/m).

$f_2$ : Flecha del cable (m).

Al referirnos al peso aparente del cable hay que tener en cuenta las sobrecargas que están actuando sobre él en ese momento. Para eso se utilizarán las fórmulas indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 16

Areas	Sobrecarga viento (daN/m)
A (zonas 1 y 2)	$p_v = 47,24 \cdot d \cdot 10^{-3}$
B (zonas 1 y 2)	$p_v = 68,02 \cdot d \cdot 10^{-3}$
$p_a = \sqrt{p^2 + p_v^2}$	

siendo:

$p_v$ : Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m).

d: Diámetro del conductor (mm).

$p_a$ : Fuerza por unidad de longitud o peso aparente del cable con condiciones de sobrecarga (daN/m).

p: Peso por unidad de longitud del cable (daN/m).

Sustituyendo los valores en las condiciones iniciales se llega a una ecuación de tercer grado en función de  $T_2$ ,  $\theta_2$  y  $p_2$ . De esta forma, para cada temperatura final  $\theta_2$  y peso aparente final  $p_2$  predeterminados, se obtienen los valores de tensión final  $T_2$  y flecha final  $f_2$ .

### 2.2.3.1. Límite estático

La tensión máxima de los conductores en función de la zona donde se encuentre la línea serán las indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 17

Características mecánicas de los conductores			
Conductor	Carga rotura (daN)	Coef. Seguridad (C <sub>s</sub> )	Tensión máxima (daN)
477 MCM (Hawk)	8 677	3,00	2 892
336,4 MCM (Linnet)	6 270	3,00	2 090
266 MCM (Partridge)	5 028	3,00	1 676
4/0 (Penguin)	3 716	3,00	1 238
1/0 (Raven)	1 949	3,00	650

#### 2.2.3.2. Límites dinámicos

Los fenómenos vibratorios se tendrán presente en las siguientes hipótesis de carga:

##### 2.2.3.2.1. Hipótesis CHS (Cold Hours Stress)

La hipótesis de carga CHS tiene en cuenta el fenómeno de vibración eólica del cable en las condiciones de tensión más elevada que es probable que ocurra periódicamente (10 °C en la zona 1 y 0 °C en la zona 2) sin sobrecarga, de modo que la tensión del cable nunca supere un porcentaje de la carga de rotura.

Los porcentajes de la carga de rotura que no se pueden superar en las condiciones anteriormente citadas serán los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 18

<b>Hipótesis CHS – Porcentajes de la carga de rotura</b>		
<b>Conductor</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>
477 MCM (Hawk)	14 %	
336,4 MCM (Linnet)	14,5%	
266 MCM (Partridge)	15 %	
4/0 (Penguin)	15,5 %	
1/0 (Raven)	17 %	

En los casos donde sea necesario se estudiará la colocación de amortiguadores adecuados para la reducción de los fenómenos vibratorios de los conductores con el consiguiente aumento de la seguridad mecánica.

#### 2.2.3.2.2. Hipótesis EDS (Everyday Stress)

La hipótesis de carga EDS tiene en cuenta el fenómeno de vibración eólica del cable en condiciones de temperatura normales (20 °C en la zona 1 y 15 °C en la zona 2) sin sobrecarga, de modo que la tensión del cable nunca supere un porcentaje de la carga de rotura.

Los porcentajes de la carga de rotura que no se pueden superar en las condiciones anteriormente citadas serán los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 19

<b>Hipótesis EDS – Porcentajes de la carga de rotura</b>		
<b>Conductor</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>
477 MCM (Hawk)	12 %	
336,4 MCM (Linnet)	12,5%	
266 MCM (Partridge)	13 %	
4/0 (Penguin)	13,5 %	
1/0 (Raven)	15 %	

Teniendo en cuenta lo expuesto, en el apartado 6.1 del presente documento se incluyen las tablas de cálculo mecánico y tendido de conductores.

#### 2.2.4. Vanos ideales de regulación

El comportamiento de la componente horizontal de la tensión del cable en un cantón, o conjunto de vanos comprendidos entre dos apoyos de anclaje, de la línea se puede asemejar al comportamiento del mismo cable en un único vano tipo llamado vano ideal de regulación.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i^3}{a_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{a_i}}$$

$$a'_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad (\text{m})$$

donde:

$a_i$ : Longitud del vano  $i$  medido en la dirección longitudinal (m).

$b_i$ : Desnivel del vano  $i$  medido en la dirección vertical (m).

La longitud del vano ideal de regulación se determinará mediante la siguiente expresión:

$$a_r = k \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum \frac{a_i^2}{a_i}}} \quad (\text{m})$$

La ecuación de cambio de condiciones se determinará mediante la siguiente expresión:

$$(k \cdot T_{02})^3 + (k \cdot T_{02})^2 \left[ \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) \cdot S \cdot E + \frac{a_r^2 \cdot p_1^2 \cdot S \cdot E}{24 \cdot (k \cdot T_{01})^2} - k \cdot T_{01} \right] = \frac{a_r^2 \cdot p_2^2 \cdot S \cdot E}{24}$$

siendo:

$T_{02}$ : Componente horizontal de la tensión del cable en las condiciones finales (daN).

$T_{01}$ : Componente horizontal de la tensión del cable en las condiciones iniciales (daN).

$\alpha$ : Coeficiente de dilatación del cable ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

$\theta_2$ : Temperatura del cable en las condiciones finales (°C).

$\theta_1$ : Temperatura del cable en las condiciones iniciales (°C).

S: Sección total del cable (mm<sup>2</sup>).

E: Módulo de elasticidad del cable (daN/mm<sup>2</sup>).

$a_r$ : Longitud del vano ideal de regulación (m).

$p_1$ : Peso aparente del cable para las condiciones iniciales (daN/m).

$p_2$ : Peso aparente del cable para las condiciones finales (daN/m).

Operando de esta forma, se obtiene un cuadro de valores en el formato que se adjunta en las correspondientes tablas del Documento n° 6 Proyecto Específico.

#### 2.2.5. Tablas de regulación

Las tablas de regulación indican las flechas y tensiones con las que debe ser instalado el cable en función de la temperatura ambiente y sin actuar sobrecarga alguna.

A diferencia de la tabla de tendido, se tendrá en cuenta el desnivel existente entre los apoyos que constituyen cada vano.

La componente horizontal de la tensión de cada cantón se calculará mediante la ecuación de cambio de condiciones establecida en el apartado 2.2.4, para el vano ideal de regulación correspondiente.

Las flechas de cada vano del cantón se determinarán mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{T_{mi}}{p} \cdot \left[ \cosh\left(\frac{a_i}{2 \cdot H}\right) - 1 \right] \quad (\text{m})$$

donde:

f: Flecha (m).

$T_{mi}$ : Tensión del cable en el punto medio del vano i (daN).



$p$ : Fuerza por unidad de longitud o peso aparente (daN/m).

$a_i$ : Longitud del vano  $i$  medido en la dirección longitudinal (m).

$H$ : Parámetro de la catenaria (m).

Operando de esta forma, se obtiene un cuadro de valores en el formato que se adjunta en las correspondientes tablas del Documento n° 6 Proyecto Específico.

### 2.2.6. Curvas de replanteo

El valor de la flecha en vanos nivelados vendrá dado por la siguiente expresión:

$$f = \frac{T_0}{p_a} \cdot \left[ \cosh\left(\frac{a \cdot p_a}{2 \cdot T_0}\right) - 1 \right] \quad (\text{m})$$

siendo:

$T_0$ : Componente horizontal de la tensión del cable correspondiente al vano de regulación obtenido (daN).

$p_a$ : Peso aparente del cable (daN/m).

$a$ : Longitud del vano (m).

Con los valores de  $p_a$  y  $T_0$  de cada vano de regulación obtenidos en las siguientes hipótesis:

- La flecha máxima será aquella que resulte mayor de la comparación de las condiciones siguientes:
  - a) Hipótesis viento:  $\theta_2 = +20$  °C y sobrecarga de viento de 100 km/h en las zonas 1 y 2 del área A y  $\theta_2 = +20$  °C y sobrecarga de viento de 120 km/h en las zonas 1 y 2 del área B.
  - b) Hipótesis temperatura:  $\theta_2 = +50$  °C en las zonas 1 y 2 sin actuar sobrecarga alguna.
  - c) Hipótesis temperatura excepcional:  $\theta_2 = +75$  °C en las zonas 1 y 2 sin actuar ninguna sobrecarga.
- Flecha mínima:



pág. 50

Temperatura  $\theta_2 = 5\text{ }^\circ\text{C}$  en la zona 1 y  $-5^\circ$  en la zona 2.

Se obtendrán los parámetros de la catenaria de las curvas de replanteo correspondientes a la flecha máxima y mínima respectivamente.

Teniendo en cuenta lo expuesto, también se incluirán los parámetros de la catenaria, correspondientes a las flechas máximas y mínimas, para distintos vanos de regulación, en las tablas de cálculo mecánico de conductores del apartado 6.1 del presente documento.

### 3. AISLAMIENTO

En el presente capítulo se indican los niveles de aislamiento correspondientes a cada nivel de tensión para cualquier línea eléctrica realizada según el presente Proyecto Tipo.

Para el diseño del aislamiento de las líneas eléctricas aéreas se han seleccionado aisladores que garanticen que no existan saltos de arcos eléctricos en condiciones de operación, sobretensiones transitorias, humedad, temperatura, lluvia o acumulaciones de suciedad, sal y otros contaminantes que no son desprendidos de una manera natural.

En consecuencia, se definen los siguientes niveles de aislamiento:

- Normal: Será de aplicación en la mayor parte de las situaciones, siempre y cuando las características de la línea no demanden un grado de aislamiento mayor.
- Reforzado: Será de aplicación cuando se den condiciones especiales en la línea que hagan recomendable su utilización.

De acuerdo con estos niveles de aislamiento y considerando como valor preferente de diseño la mínima servidumbre posible, en especial en líneas urbanas, los aisladores serán de tipo poste, para alineaciones y pequeños ángulos, y de suspensión para ángulos fuertes, amarres y finales de línea.

Los aisladores también quedarán definidos por las Especificaciones de Técnicas adecuadas.

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

En la siguiente tabla se indican las características eléctricas mínimas que han de soportar los aisladores, en distintas condiciones de funcionamiento, para asegurar un correcto aislamiento de la línea. Cuando el aislador esté formado por varias unidades, es el conjunto de elementos el que debe poseer las características aislantes mostradas en la tabla contigua:

Tabla 20

Características eléctricas		13,2/7,62 kV	24,9/ 14,38 kV
Tensión máxima (kV) (1)		13,86	26,15
Línea de fuga (mm) (2)	Aislamiento normal	≥ 230 (9-1/16")	≥ 420 (16-9/16")
	Aislamiento reforzado	≥ 430 (16-15/16")	≥ 815 (32-1/16")
Tensión de contorno a frecuencia industrial en seco (kV)		≥ 50	≥ 75
Tensión de contorno a frecuencia industrial bajo lluvia (kV)		≥ 35	≥ 50
Tensión crítica de contorno a impulso (+) (kV) pico (3)		≥ 95	≥ 150
Tensión crítica de contorno a impulso (-) (kV) pico (3)		≥ 95	≥ 150

(1) La tensión máxima se considera un 5% superior a la tensión nominal de la línea.

(2) La longitud de la línea de fuga se calculará redondeando el valor obtenido mediante la expresión "Tensión máxima x 16 mm/kV" para el nivel de aislamiento normal y "Tensión máxima x 31 mm/kV" para el nivel de aislamiento reforzado. Cuando el valor de la tensión máxima de la línea se prevea mayor del 5% de la tensión nominal se calcularán las nuevas líneas de fuga mínimas exigidas.

(3) Para determinar la tensión crítica de contorno se utilizará la onda normalizada de impulso tipo rayo 1,2/50 definida en la norma ANSI/IEEE 4-1978.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS RADIOELÉCTRICAS

Las partes metálicas de los aisladores deben poseer unas características de diseño y fabricación adecuadas que eviten efluvios y perturbaciones radioeléctricas para los niveles de tensión normales. Los aisladores tipo poste y los de suspensión de composite deben poseer las características indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 21

<b>CARACTERÍSTICAS RADIOELÉCTRICAS</b>	<b>13,2 kV</b>	<b>24,9 kV</b>
Tensión de ensayo R.I.V.(*) a tierra (kV)	15	22
Máximo nivel de perturbación radioeléctrica a 1 MHz ( $\mu$ V)	100	100

(\*) R.I.V.: Radio-Influence Voltage (Voltaje de perturbación radioeléctrica).

Las características de los aisladores de porcelana tipo suspensión ANSI 52-4 y ANSI 52-9 se dan por elemento ya que el aislador esta formado por varias piezas individuales unidas entre si. Son las siguientes:

Tabla 22

<b>Características radioeléctricas</b>	<b>ANSI 52-4</b>	<b>ANSI 52-9</b>
Tensión de ensayo R.I.V.(*) a tierra (kV)	10	7,5
Máximo nivel de perturbación radioeléctrica a 1 MHz ( $\mu$ V)	50	50

(\*) R.I.V.: Radio-Influence Voltage (Voltaje de perturbación radioeléctrica).

### 3.3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Finalmente, los aisladores deben poseer, como mínimo, las características indicadas en la siguiente tabla, que aseguren un adecuado comportamiento mecánico. Estas características son válidas para los aisladores compuestos por una sola pieza:

Tabla 23

<b>Características mecánicas</b>			<b>13,2 kV</b>	<b>24,9 kV</b>
Carga de fallo a flexión (daN)	Tipo poste	Porcelana	$\geq 1\ 245$	
		Composite		
Carga de rutina a flexión (daN)	Tipo suspensión	Composite	$\geq 7\ 000$	
	Tipo poste	Porcelana	$\geq 498$	
		Composite	$\geq 500$	
	Tipo suspensión	Composite	$\geq 3\ 500$	

En la siguiente tabla se indican las características de los aisladores tipo suspensión de porcelana. Los valores son por elemento:

Tabla 24

Características mecánicas		ANSI 52-4	ANSI 52-9
Carga de fallo a flexión (daN)	Tipo poste	≥ 6 673	≥ 4 480
	Tipo suspensión		

### 3.4. CONSTRUCCIÓN DE CADENAS DE AISLADORES

Dependiendo de la tensión de la línea y del nivel de aislamiento necesario, el número de elementos de porcelana tipo suspensión que constituyen la cadena de aisladores se muestra en la tabla contigua.

Tabla 25

Construcción de cadenas de aisladores de porcelana tipo suspensión				
Tensión (kV)	Conductor	Tipo de aislamiento	Nº de elementos	Tipo de aislador
13,2/7,62	Raven	Normal	2	ANSI 52-9
		Reforzado		ANSI 52-4
	Penguin	Normal		ANSI 52-9
		Reforzado		ANSI 52-4
	Partridge	Normal y Reforzado		
	Linnet	Normal y Reforzado		
Hawk	Normal y Reforzado			
24,9/14,38	Raven	Normal	3	ANSI 52-9
		Reforzado		ANSI 52-4
	Penguin	Normal		ANSI 52-9
		Reforzado		ANSI 52-4
	Partridge	Normal y Reforzado		
	Linnet	Normal y Reforzado		
Hawk	Normal y Reforzado			

## 4. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Las distancias mínimas de seguridad cumplen una doble función:

- Limitar la posibilidad de contacto entre personas y circuitos o equipos.
- Impedir que las instalaciones de un distribuidor entren en contacto con las instalaciones de otro o con la propiedad pública o privada.

Todas las distancias de seguridad se deben medir de superficie a superficie.

Cuando los conductores se encuentren en distinto plano vertical se mantendrá la separación indicada como distancia de seguridad vertical, para ángulos mayores o iguales de 45°. Para ángulos inferiores su separación mínima será la considerada como distancia de seguridad horizontal.

En la medición de distancias, los herrajes y accesorios que están energizados debido a su conexión eléctrica a los conductores de la línea se deben considerar como parte integral de los mismos conductores. Además, las partes metálicas de los pararrayos y equipos similares deben considerarse como parte de la estructura de soporte.

Las distintas distancias de seguridad a tener en cuenta en el presente Proyecto Tipo, serán las siguientes:

### 4.1. DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE ELEMENTOS SOPORTADOS EN LA MISMA ESTRUCTURA

#### 4.1.1. Distancia entre conductores de línea

En este apartado se indican las separaciones, tanto horizontales como verticales, que deben mantenerse entre los diferentes conductores de línea, tanto de fases como respecto al conductor neutro, en función de la longitud del vano entre dos apoyos.

Se han marcado unas distancias mínimas que hay que respetar, horizontal y verticalmente, en cualquier circunstancia:

- Para 13,2 kV: 0,5 m.
- Para 24,9 kV: 0,6 m.

Para el cálculo de la distancia horizontal se aplicará la siguiente fórmula que indica la separación horizontal de seguridad para conductores en soportes fijos, de acuerdo con la flecha:

$$S = 0,0076 \cdot U + 0,368 \cdot \sqrt{f}$$

donde:

S: Separación de seguridad entre conductores (m).

U: Tensión existente entre los conductores para los que se calcula la distancia (kV).

f: Flecha máxima del conductor en el vano (m).

Para el caso de la distancia vertical entre conductores, por norma será un 75 % de la distancia horizontal que se aplique, a la tensión indicada.

Para mayor comodidad de uso se adjuntan los siguientes gráficos que relacionan la separación entre conductores con la flecha máxima del conductor en el vano, para las dos tensiones incluidas en este proyecto:



Gráfico 3

Separación entre conductores - 13,2 kV

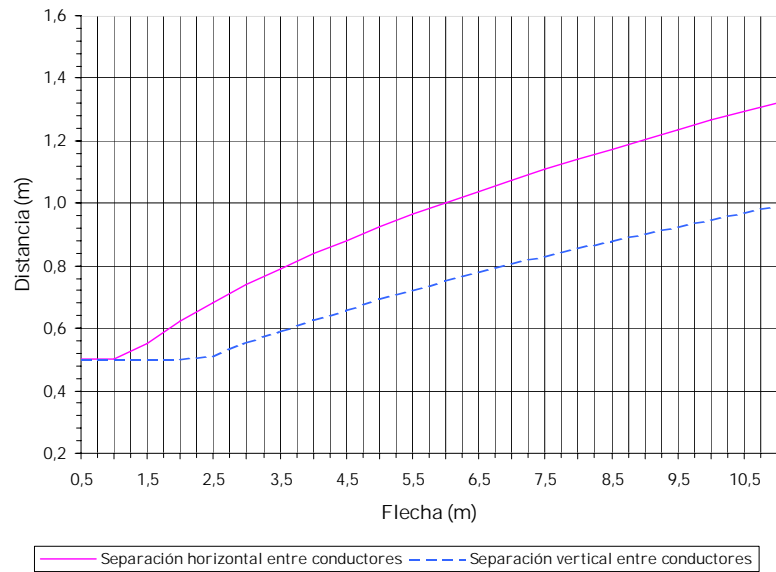
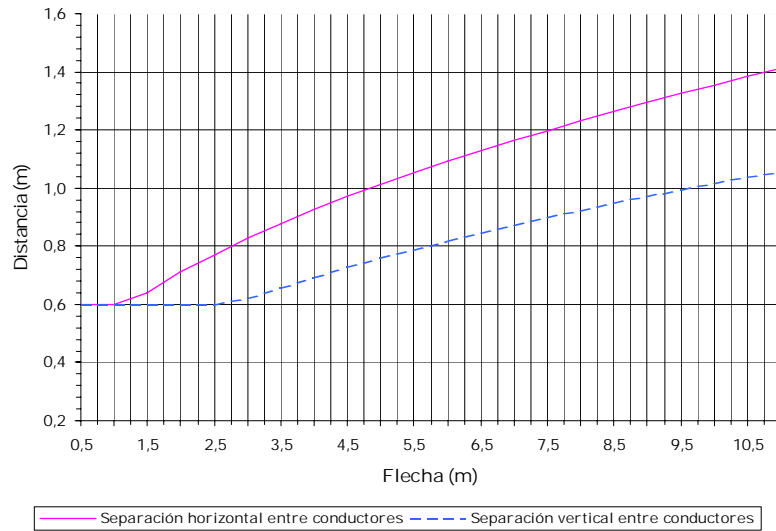


Gráfico 4

Separación entre conductores - 24,9 kV



Se debe tener en cuenta que siempre se deben mantener las distancias mínimas indicadas a menos que la distancia horizontal, hallada según la fórmula, o la distancia vertical, obtenida tal y como se indicó anteriormente, den valores de seguridad mayores a los mínimos. Para ello se elegirá la configuración del armado en el apoyo que proporcione una separación entre los conductores en toda la longitud del vano igual o superior a la calculada.

#### 4.1.2. Distancia de conductores o elementos energizados a soportes y demás elementos conectados normalmente a tierra.

A continuación se muestran las distancias mínimas que se deben mantener, tanto horizontal como verticalmente, entre los conductores de línea o elementos energizados y cualquier parte de las estructuras, soportes y demás elementos que están normalmente conectados a tierra. Estas distancias se tendrán en cuenta.

- Para 13,2 kV: 0,2 m.
- Para 24,9 kV: 0,28 m.

#### 4.1.3. Distancia entre conductores energizados de distinta fase del mismo o diferente circuito

Cuando se realicen derivaciones o conexiones, el conductor debe mantener con otros conductores de distinta fase del mismo o de un circuito diferente, las separaciones mínimas indicadas a continuación:

- Para 13,2 kV: 0,25 m.
- Para 24,9 kV: 0,32 m.

Cuando en una conexión o derivación exista la posibilidad de desplazamiento de un conductor por causa del viento se fijará el mismo, adecuadamente, para garantizar dicha separación en cualquier circunstancia normal de funcionamiento.

#### 4.2. DISTANCIA VERTICAL SOBRE SUELO DE EQUIPO DE SERVICIO ELÉCTRICO INSTALADO EN ESTRUCTURAS

En el caso de equipos de servicio eléctrico instalados en estructuras, las distancias de seguridad vertical sobre el suelo vendrán dadas por la siguiente tabla:

Tabla 26

Naturaleza de la superficie	Distancia de seguridad mínima (m)	
	Partes del equipo puestas a tierra	Partes del equipo no puestas a tierra
		13,2 kV
Áreas accesibles solo a peatones	3,5	4,5
Áreas transitadas por vehículos	4,6	5,5

#### 4.3. CRUZAMIENTOS

La altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su máxima flecha vertical, queden situados a la distancia indicada en los siguientes apartados por encima de cualquier punto del terreno o superficie.

##### 4.3.1. Líneas eléctricas y de telecomunicación soportadas por diferentes estructuras

En los cruces de líneas eléctricas se situará a mayor altura la de tensión más elevada y, en caso de líneas de igual tensión, la que se instale con posterioridad.

En los casos que por circunstancias singulares sea preciso que la línea de menor tensión cruce por encima de la de tensión superior, será preciso obtener una autorización expresa, teniendo en cuenta en el cruce todas las prescripciones y criterios expuestos en este apartado.

Cuando sea posible y práctico, el cruce de conductores se hará aprovechando una misma estructura.

Cuando el cruce sea en diferentes estructuras se procurará que se efectúe en la proximidad de uno de los apoyos de la línea más

elevada, respetando en todo momento la distancia entre los conductores de la línea inferior.

Las distancias mínimas indicadas en este apartado se medirán en el punto de mayor acercamiento entre los dos conductores, considerando las posibles posiciones de los mismos y teniendo en cuenta el desplazamiento más desfavorable de la línea, producido por una de las siguientes hipótesis:

- 1) Flecha final e inicial calculada a una temperatura de 15 °C con una presión de viento de 28,74 daN/m<sup>2</sup>.
- 2) Flecha final calculada a una temperatura de 50 °C (en zona 2 y 3) o 60 °C (en zona 3) sin viento.

La dirección supuesta del viento será aquella que produzca la distancia más crítica.

Las distancias horizontales y verticales entre conductores adyacentes, soportados en diferentes estructuras, no deberá ser menor que las distancias indicadas en los siguientes apartados.

#### 4.3.1.1. Distancia horizontal

La distancia horizontal en cruzamientos o entre conductores adyacentes será como mínimo de 1,5 m.

#### 4.3.1.2. Distancia vertical

Las mínimas distancias verticales que se deben respetar serán las que indica la siguiente tabla:

Tabla 27

Nivel inferior	Nivel superior (m)		
	Neutro	13,2 kV	24,9 kV
Conductores de neutro efectivamente puestos a tierra, retenidas aéreas	0,6	0,6	
Cables y conductores, retenidas de comunicación	-	1,5	
Conductores suministradores hasta 750 V (*)	-	0,6	
Conductores suministradores de 750 V a 22 kV (*)	-	0,8	

(\*) Estas tensiones son fase-tierra para circuitos efectivamente puestos a tierra.

Cuando la línea objeto de este proyecto deba cruzar por debajo de otra línea de una tensión mayor de 24,9 kV, la distancia de seguridad vertical que se debe mantener será la que indica la siguiente expresión:

$$S = U \cdot 0,006 + 0,6 \quad (\text{m})$$

siendo:

S: Separación vertical entre líneas (m).

U: Tensión compuesta de la línea de mayor tensión (línea superior) (kV).

#### 4.3.2. Carreteras, caminos y vías de ferrocarril sin electrificar

La altura mínima de los conductores sobre la rasante de la carretera o sobre las cabezas de los railes, en el caso de vías de ferrocarril sin electrificar, será de:

Tabla 28

Naturaleza de la superficie	Distancia de seguridad mínima (m)		
	Neutro	13,2 kV	24,9 kV
Carreteras, calles y áreas de tránsito	5	6	
Aceras o caminos para peatones	3,5	5	
Ferrocarriles	7,2	8,1	

### 4.3.3. Ríos y canales, navegables o flotables

En los cruzamientos con ríos y canales, navegables o flotables, la altura mínima de los conductores sobre la superficie del agua, para el máximo nivel que pueda alcanzar ésta será de:

Tabla 29

Naturaleza de la superficie	Distancia de seguridad mínima (m)	
	Neutro	13,2 kV   24,9 kV
Aguas donde no está permitida la navegación	4	5
Aguas navegables con un área sin obstrucción < 8 ha	5,3	6,2
Aguas navegables con un área sin obstrucción entre 8 y 80 ha	7,8	8,7
Aguas navegables con un área sin obstrucción ente 80 y 800 ha	9,6	10,5
Aguas navegables con un área sin obstrucción > 800 ha	11,4	12,3

Para el cálculo se tomará la flecha final a la temperatura máxima de funcionamiento del conductor (60 °C en zona 1 y 50 °C en zona 2 y 3), sin desplazamiento de viento.

El resultado de los cálculos se adjuntará en el formato establecido en la correspondiente tabla del Documento n° 6 Proyecto Específico.

## 4.4. PASO POR ZONAS

### 4.4.1. Zona urbana

#### 4.4.1.1. De conductores y partes energizadas a edificios, chimeneas, carteles, antenas, excepto puentes

Los conductores pueden ser colocados adyacentes a los elementos mencionados, siempre y cuando las distancias verticales y horizontales no sean menores que las indicadas por la tabla que se acompaña, bajo las siguientes condiciones:

- Cuando los conductores discurran por encima y a lo largo de las instalaciones, las separaciones se respetarán teniendo en cuenta la temperatura máxima del conductor, siendo esta 50 °C en las dos áreas, sin desplazamiento de viento (flecha final).

- Cuando los conductores discurran por encima y a lo largo de las instalaciones, las separaciones se respetarán teniendo en cuenta temperatura mínima del conductor para la cual se diseña la línea, sin desplazamiento de viento (flecha final).

Tabla 30

Naturaleza de la superficie		Distancia de seguridad mínima (m)		
		Neutro	13,2 kV	24,9 kV
Horizontal	Anuncios, chimeneas, antenas, etc. no accesibles a personas	1	2,5	
	Zonas de edificios y áreas accesibles a personas	1,5	2,5	
Vertical (*)	Anuncios, chimeneas, antenas, etc. no accesibles a personas	1	2,5	
	Zonas de edificios no accesibles a personas	1	4	
	Zonas accesibles a personas y de tránsito de vehículos de menos de 2,45 m de altura	3,5	5	
	Zonas de tránsito de vehículos de más de 2,45 m de altura	5	6	

(\*) Las distancias verticales se respetarán tanto por encima como por debajo de la superficie de referencia en las condiciones indicadas en este apartado.

La distancia horizontal que los conductores de línea, bajo condiciones de desplazamiento producido por una presión de viento de  $28,74 \text{ daN/m}^2$  y flecha final a  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , han de mantener respecto a los elementos antes mencionados en ningún momento será menor de 1,5 m.

#### 4.4.1.2. De conductores a otras estructuras de soporte

Cuando los conductores pasen próximos a estructuras de alumbrado público, soportes de semáforos o soportes de una segunda línea, deben estar separados de cualquier parte de estas estructuras una distancia no menor a la indicada en la siguiente tabla:

Tabla 31

Distancias de seguridad mínimas (m)		
Distancia	13,2 kV	24,9 kV
Horizontal sin viento	1,5	
Vertical	1,5	

#### 4.4.2. Bosques, árboles y masas de arbolado

Para evitar las interrupciones del servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos de árboles con los conductores de la línea eléctrica, se establecerá, mediante la indemnización correspondiente, una zona de corte de arbolado a ambos lados de la línea cuya anchura será la necesaria para que, considerando los conductores en su posición de máxima desviación bajo la acción de la hipótesis de viento, su separación de la masa de arbolado en situación normal, medida horizontalmente, no sea inferior a:

Tabla 32

Distancia de seguridad mínima (m)	
Línea monofásica	Línea trifásica
2	3

Igualmente, deberán ser cortados todos aquellos árboles que constituyen un peligro para la conservación de la línea, entendiéndose como tales los que, por su flexibilidad puedan alcanzar a los conductores en su posición normal.

#### 4.5. PARALELISMOS

##### 4.5.1. Con líneas eléctricas

Se mantendrá una distancia mínima igual a la señalada para la separación entre conductores, considerando como valor de la tensión el de la línea de mayor voltaje.



#### 4.5.2. Con líneas de telecomunicación

La distancia vertical mínima de seguridad entre los conductores y la línea de comunicación será como mínimo:

Tabla 33

Distancias de seguridad mínimas (m)	
Mismo soporte	Distinto soporte
1	1,5

#### 4.5.3. Con retenidas y mensajeros sujetos a la misma estructura

Cuando por determinadas circunstancias existan retenidas o mensajeros que discurren paralelos a la línea y estén sujetos a la misma estructura, las distancias de seguridad que se han de respetar son las siguientes:

- Para 13,2 kV: 0,35 m.
- Para 24,9 kV: 0,47 m.

#### 4.5.4. Carreteras, caminos y calles

Las estructuras, incluyendo sus retenidas deberán estar colocadas lo más separado posible de la orilla de la carretera, camino o calle. En el caso de que existan bordillos la estructura deberá colocarse lo más separado posible de la orilla del bordillo y nunca a menos de 0,15 m. Las estructuras deben estar colocadas lo más lejos posible del inicio de la curvatura de las esquinas.

#### 4.5.5. Vías de ferrocarril

Todos los elementos de la estructura de soporte deben estar a un mínimo de 6,7 m de altura sobre la cabeza del raíl más cercano, y no estarán en ningún caso a una distancia horizontal menor de 4 m (4,26 m).

#### 4.6. ESPACIO PARA ESCALAR

Los siguientes requisitos se aplican únicamente a las partes de las estructuras utilizadas por los trabajadores para escalar. Debe dejarse un espacio para escalar con las dimensiones horizontales especificadas enfrente de cualquier conductor, cruceta y otras partes similares.

El espacio para escalar se requiere solamente en un lado o esquina del soporte.

El espacio para escalar debe extenderse verticalmente hacia arriba y debajo de cada nivel de conductores, pero puede cambiarse de un lado o esquina del soporte a cualquier otro.

Se recomienda que las crucetas se localicen en el mismo lado de la estructura.

Los espacios para escalar deben tener las dimensiones horizontales indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 34

Distancia horizontal entre conductores (m)	
13,2 kV	24,9 kV
0,75	1

El espacio para escalar debe dejarse previsto longitudinal y transversalmente a la línea y extenderse verticalmente no menos de 1 m arriba y debajo de los conductores que limiten el espacio.

En tramos de la línea no soportados por crucetas el ancho total del espacio que se acaba de determinar debe medirse a partir del tramo longitudinal de que se trate.

#### 4.7. ESPACIO PARA TRABAJAR

Deben dejarse espacios para trabajar a ambos lados del espacio para escalar.

A lo largo de la cruceta el espacio para trabajar debe extenderse desde el espacio para escalar hasta el más alejado de los conductores en la cruceta. Perpendicularmente a la cruceta el

espacio será el mismo que para escalar, y verticalmente no será menor que el espacio dejado entre conductores soportados a diferentes niveles en la misma estructura.

Los espacios para trabajar no deben obstruirse por conductores verticales o derivados, siendo colocados preferiblemente en el lado de la estructura opuesto al lado destinado para escalar; de no ser esto posible, pueden colocarse en el mismo lado para escalar, siempre que queden separados de la cruceta por una distancia no menor que el ancho del espacio para escalar requerido para los conductores de mayor tensión.

Las crucetas transversales pueden usarse siempre y cuando se mantenga el espacio para escalar y, además:

- En 24,9: Se dejará el espacio lateral para trabajar conforme a la distancia vertical entre los conductores derivados, sujetos a la cruceta transversal y los conductores de línea.
- En 13,2 kV: Los conductores soportados en la cruceta transversal puedan colocarse entre líneas adyacentes que tienen una distancia vertical normal, aún cuando dicha cruceta obstruya el espacio normal para trabajar, siempre que se mantenga un espacio para trabajar no menor de 45 cm de altura entre los conductores de línea y los conductores derivados. Este espacio puede ser reducido siempre que no existan más de dos crucetas de línea y de crucetas transversales y que la seguridad en las condiciones de trabajo sea sustituida mediante la utilización de equipo de protección y otros dispositivos adecuados para aislar y cubrir los conductores de línea y el equipo en donde no se está trabajando.

## 5. APOYOS

### 5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS APOYOS

En este apartado se definen los diferentes tipos de apoyos a utilizar en el diseño de líneas eléctricas aéreas realizados según el presente Proyecto Tipo.

Los apoyos se clasificarán según sus funciones en:

- AL: Apoyos de alineación.
- AG: Apoyos de ángulo.
- AC: Apoyos de anclaje.
- FL: Apoyos de fin de línea.
- AE: Apoyos especiales.

Estos últimos, se definen como "aquellos que tienen una función diferente a las definidas para los anteriores". Ya que las situaciones en que resultan necesarios son poco frecuentes, y dado el carácter de Proyecto Tipo del presente documento, se prescindirá de su consideración, debiendo justificarse su utilización en cada Proyecto Específico de línea en que hayan de utilizarse. Tal será el caso de apoyos de altura superior a las normalizadas, formación de pórticos con diferentes armados para salvar grandes vanos, crucetas especiales que puedan ser necesarias por concurrir alguna determinada circunstancia, etc.

Será prioritario el uso de apoyos de hormigón, permitiéndose la utilización de apoyos metálicos o de madera cuando las características de la línea así lo requieran.

Tanto las características resistentes como las dimensiones de los diferentes apoyos quedarán definidos por las correspondientes Especificaciones de Materiales.

### 5.2. CRUCETAS

Principalmente se empleará la configuración de línea con aisladores instalados sobre soportes atornillados directamente sobre el poste para apoyos de alineación y pequeños ángulos. No obstante, se utilizarán crucetas de distintas dimensiones cuando las características del trazado de la línea así lo requieran. Esto

normalmente sucederá en apoyos de grandes ángulos, en apoyos de amarre, en apoyos de fin de línea y en apoyos de alineación para grandes vanos.

La utilización de crucetas angulares metálicas será prioritaria en las líneas definidas según este Proyecto Tipo, aceptándose la utilización de crucetas de madera cuando se demuestre su conveniencia.

Las Especificaciones de Materiales correspondientes definirán las características de las crucetas y los soportes utilizados en el presente Proyecto Tipo.

### 5.3. CIMENTACIONES

La elección de un tipo de cimentación u otro dependerá del tipo de terreno y de la maquinaria disponible. Cuando las condiciones de la línea o del suelo así lo requieran, se realizará una cimentación con aporte de hormigón.

En las cimentaciones con aporte de hormigón se realizará una solera en el fondo de la cimentación de una altura de 0,15 m.

Una vez colocado el apoyo, cuando vaya directamente enterrado, se apisonará el terreno utilizando como relleno capas alternas de grava y tierra. A su vez, cuando se realice una cimentación con aporte de hormigón, se empleará este material como relleno.

La tangente del ángulo de giro máximo permitido al alcanzar el equilibrio (inclinación del apoyo) no será superior a 0,01 ( $\text{tg } \alpha = 0,01$ ).

El coeficiente de seguridad al vuelco vendrá dado por la expresión:

$$C_s = \frac{M_e}{M_v}$$

siendo:

$M_e$ : Momento estabilizador total (daN·m).

$M_v$ : Momento de vuelco (daN·m).

El momento de vuelco de la cimentación vendrá dado por la siguiente expresión:

$$M_v = F \cdot \left( H_1 + \frac{2}{3} \cdot h \right) \text{ (daN}\cdot\text{m)}$$

siendo:

$M_v$ : Momento de vuelco (daN m).

F: Esfuerzo horizontal resultante de la sollicitación combinada (daN).

$H_1$ : Altura sobre el terreno del punto de aplicación del esfuerzo resultante (m).

h: Profundidad de la cimentación (m).

El momento estabilizador total se calculará tal y como se indica en los apartados 5.3.1 y 5.3.2. del presente documento.

El coeficiente de seguridad al vuelco no será inferior a 1,50 calculado para las distintas hipótesis. Este coeficiente se verá aumentado un 25 % para las hipótesis normales en aquellos apoyos que intervengan en cruzamientos con otras líneas o con vías de comunicación y paso sobre zonas urbanas.

La profundidad mínima de la cimentación, cuando el poste se entierre directamente, debe ser un 10% de la longitud total del poste más 0,5 m. Cuando se realice una cimentación, tanto cilíndrica como prismática, con aporte de hormigón, la profundidad de la cimentación será la misma que cuando se entierre el poste directamente más 0,15 m. En terrenos inclinados esta longitud se medirá desde el lado del poste que quede menos enterrado.

En el apartado 6 del presente documento se incluyen unas tablas con las dimensiones de las cimentaciones en función del tipo de terreno.

En terrenos normales o flojos las cimentaciones llevarán hormigón, ya que las fundaciones con el poste directamente enterrado obligan a perforaciones mayores, reduciéndose significativamente la altura útil del poste.

Las tensiones máximas que la cimentación transmite al terreno no excederán los valores máximos fijados para el mismo (ver tabla 30).

Las características dimensionales y técnicas de las cimentaciones se adjuntan en los planos de cimentaciones del Documento n° 3 Planos.

### 5.3.1. Cimentaciones cilíndricas

Las cimentaciones cilíndricas utilizadas en el presente Proyecto Tipo se realizarán enterrando directamente el poste en el suelo o añadiendo hormigón cuando las características del terreno así lo indiquen (terrenos flojos).

El dimensionamiento de las mismas se realizará mediante la utilización de la formulación de Sulzberger.

El momento estabilizador total es la suma del momento estabilizador horizontal y vertical debidos a las reacciones horizontales y verticales del terreno.

$$M_e = M_{eh} + M_{ev}$$

siendo:

$M_e$ : Momento estabilizador total (daN·m).

$M_{eh}$ : Momento estabilizador debido a las reacciones horizontales del terreno sobre las paredes del macizo (daN·m).

$M_{ev}$ : Momento estabilizador debido a las reacciones verticales del terreno sobre el fondo del macizo (daN·m).

El momento estabilizador total vendrá dado por la siguiente expresión:

$$M_e = \frac{d \cdot h^3}{52,8} \cdot C_h \cdot \operatorname{tg} \alpha + c \cdot d \cdot P \quad (\text{daN} \cdot \text{m})$$

siendo:

$M_e$ : Momento estabilizador total (daN·m).

d: Diámetro de la cimentación (m).

h: Profundidad de la cimentación (m).

$C_n$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales a  $h$  metros de profundidad ( $\text{daN/m}^3$ ).

$\alpha$ : Ángulo de rotación admisible ( $^\circ$ ).

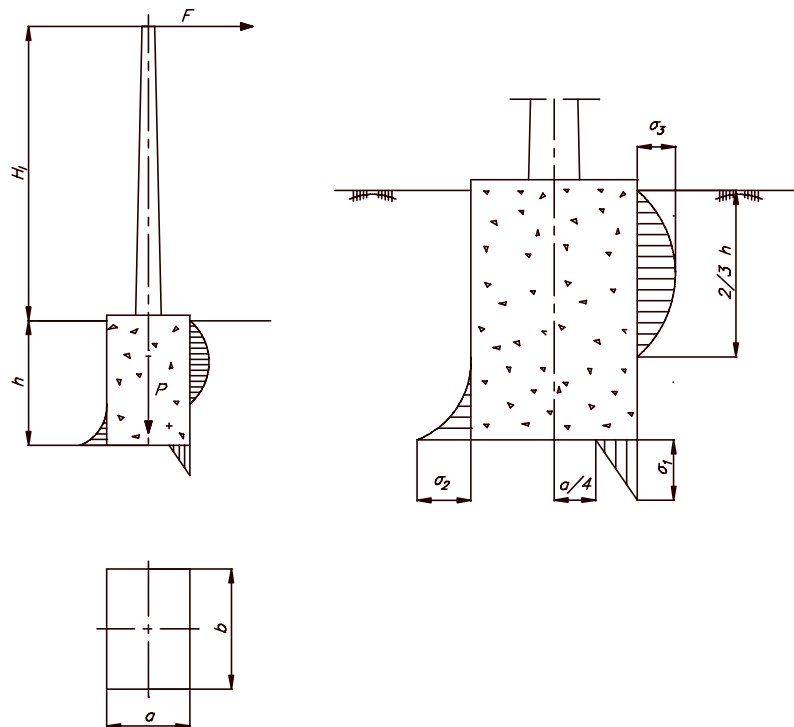
$c$ : coeficiente en función de la tangente de  $\alpha$ . En los cálculos realizados en este proyecto, es decir, para  $\text{tg } \alpha = 0,01$  el coeficiente  $c$  tendrá el valor 0,375.

$P$ : Esfuerzo vertical resultante en la que se incluye peso propio del apoyo, peso propio del macizo de hormigón y esfuerzos verticales de conductores ( $\text{daN}$ ).

### 5.3.2. Cimentaciones monobloque

Las cimentaciones monobloque serán de forma prismática recta de sección cuadrada.

El dimensionamiento de las mismas se realizará mediante la utilización de la formulación de Sulzberger.





El momento estabilizador vendrá dado por la siguiente expresión:

$$M_e = \frac{b \cdot h^3}{36} \cdot C_h \cdot \operatorname{tg} \alpha + P \cdot \left( \frac{a}{2} - \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{\frac{P}{b \cdot C_k \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \right) \quad (\text{daN} \cdot \text{m})$$

siendo:

$M_e$ : Momento estabilizador total (daN·m).

$b$ : Anchura del macizo en la dirección transversal del esfuerzo  $F$  (m).

$h$ : Profundidad del macizo (m).

$C_h$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a  $h$  metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).

$\alpha$ : Ángulo de rotación admisible (°).

$P$ : Esfuerzo vertical resultante en el que se incluye peso propio del apoyo, peso propio del macizo de hormigón y esfuerzos verticales de conductores (daN).

$a$ : Anchura del macizo en la dirección longitudinal del esfuerzo  $F$  (m).

$C_k$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a  $k$  metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).

Las tensiones transmitidas por la cimentación al terreno vendrán dadas por las siguientes expresiones:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot C_k \cdot P \cdot \operatorname{tg} \alpha}{b}} \quad (\text{daN/cm}^2)$$

$$\sigma_3 = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot C_h \cdot h}{3} \quad (\text{daN/cm}^2)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_3}{3} \quad (\text{daN/cm}^2)$$

Cuando no se disponga de información sobre las características reales del terreno se utilizarán los coeficientes de compresibilidad ( $C_h$  y  $C_k$ ) a 2 m de profundidad que establece la siguiente tabla.

En la tabla también se muestra la tensión máxima admisible para los distintos tipos de terrenos:

Tabla 35

Terreno	$\sigma_{adm}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$C_{h=2} - C_{k=2}$ (daN/cm <sup>3</sup> )
Arcilla dura	4	10 – 10
Arcilla semidura	2	6 – 8
Arcilla blanda	1	4 – 5
Tierra vegetal (compactado)	2,5	8 – 12
Gravera arenosa (compactado)	4 ÷ 8	8 – 20
Arenoso grueso (compactado)	2 ÷ 4	8 – 20
Arenoso fino (compactado)	1,5 ÷ 3	8 – 20
Gravera arenosa (sin compactar)	3 ÷ 5	8 – 12
Arenoso grueso (sin compactar)	2 ÷ 3	8 – 12
Arenoso fino (sin compactar)	1 ÷ 1,5	8 – 12

Se admite una cierta linealidad entre los coeficientes de compresibilidad y la profundidad siguiendo la siguiente expresión:

$$C_{h=x}(C_{k=x}) = \frac{C_{h=2}(C_{k=2}) \cdot x}{2} \quad (\text{daN/m}^3)$$

siendo:

$C_{h=x}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a x metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).

$C_{k=x}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a x metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).

$C_{h=2}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a 2 metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).

$C_{k=2}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a 2 metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).

x: Profundidad de la cimentación ó del macizo (m).

Los cálculos de cimentaciones del presente Proyecto Tipo se han realizado con un coeficiente de compresibilidad único (para las

paredes laterales y el fondo) y de valor 8 daN/cm<sup>3</sup> para terrenos flojos, 12 daN/cm<sup>3</sup> para terrenos normales, 16 daN/cm<sup>3</sup> para terrenos duros y 20 daN/cm<sup>3</sup> para terrenos muy duros.

Aquellas cimentaciones que tengan propiedades del terreno distintas a las anteriores deberán de ser calculadas conforme a sus características particulares.

En el apartado 6.6 del presente documento se incluyen unas tablas con las dimensiones y normas de utilización de las cimentaciones.

#### 5.4. VIENTOS O RETENIDAS

Se instalarán vientos en aquellos apoyos que estén sometidos a cargas mayores que las que puedan soportar sin comprometer el coeficiente de seguridad permitido. Sin embargo, se recomienda reducir su número al mínimo posible. Si es económicamente viable se dará preferencia a las construcciones con cimentaciones monobloque de hormigón y sin vientos.

Se instalarán retenidas en todos los apoyos de ángulo (mayor de 5°) y de fin de línea con el objeto de alcanzar vanos de una longitud adecuada, manteniendo el coeficiente de seguridad. Las características de las retenidas (número de anclas y cables, tipo de fijación del cable al apoyo, etc.) variarán en función del conductor, del armado y de la configuración de la línea. El tipo de retenida que se debe emplear en cada caso se muestra en el apartado 6.8 del presente documento.

De no indicarse lo contrario, los vanos máximos que se podrán alcanzar en cada caso, son los que se muestran en el apartado 6.7 de la presente memoria, correspondientes a apoyos de alineación sin transformadores instalados.

El esfuerzo horizontal equivalente que los conductores de línea transmiten al poste se determinará según el proceso de cálculo indicado en el apartado 5.6 de la presente Memoria. Este esfuerzo será calculado para las hipótesis normales y en función de la clasificación del apoyo.

La retenida será capaz de soportar este esfuerzo, transmitiendo una parte al terreno y otra al apoyo en forma de esfuerzo vertical. Este esfuerzo vertical provoca un trabajo a compresión del apoyo, por lo que su cálculo será de especial importancia en el caso de los postes metálicos. Denominaremos a los cables encargados de

transmitir este esfuerzo al suelo como "cable(s) de retenida de línea".

Excepto en algunas configuraciones para el conductor 1/0 AWG, se instalará un cable a la altura del conductor neutro para soportar todos los esfuerzos horizontales transmitidos por el mismo. En adelante se denominará a este cable como "cable de retenida de neutro". Se permite que este cable se fije a la misma varilla que otros cables de la misma retenida.

En el caso de retenidas con más de un cable de retenida de línea, todos soportarán el mismo esfuerzo máximo.

El esfuerzo máximo que soporta una retenida estará limitado por la carga de rotura de cada uno de los materiales que la constituyen. Todos estos materiales se calcularán empleando un coeficiente de seguridad de 1,5 respecto a su carga de rotura.

En las retenidas o vientos se utilizarán cables de acero galvanizado con una sección y resistencia mecánica adecuados para resistir las cargas que deban soportar. Sus características están definidas en la correspondiente Especificación Técnica.

Los cables se fijarán al apoyo mediante piezas de fijación adecuadas. En el caso de que estas piezas pudieran causar algún tipo de daño al cable, se utilizarán guardacabos u otros elementos para proteger el cable en su unión a la pieza de fijación

Los cables se instalarán formando un ángulo de 30° con el eje vertical del apoyo. Cuando un ancla soporte más de una retenida, el ángulo de 30 ° lo formarán el cable que se sujete a mayor altura y el eje vertical del poste.

Excepto cuando se hormigonen, la distancia horizontal de separación entre anclas será de 1 m. Cuando, debido a la configuración empleada, no se pueda conseguir esta separación, el ancla que sujete al cable fijado al apoyo a una altura mayor se instalará con el ángulo necesario (siempre mayor que 30°) para obtener dicha separación.

La varilla del ancla de expansión deberá enterrarse en línea con el cable de la retenida. En aquellos casos en los que se sujete más de un cable a una varilla, esta se enterrará en línea con el cable que forme el ángulo menor con el eje vertical del apoyo, es decir, en línea con el cable que se ancle a mayor altura en el poste.

El esfuerzo máximo que es capaz de transmitir un ancla al terreno varía en función de las características del mismo. En el presente Proyecto Tipo se han considerado dos tipos de terreno, cuyas características se enumeran en la siguiente tabla.

Tabla 36

Características de los terrenos para el cálculo de retenidas		
Características	Tipo de terreno	
	Normal	Flojo
Densidad (Tn/m <sup>3</sup> )	1,4	
Ángulo natural de talud (°)	45	50

Cuando las características del terreno sean iguales o superiores a las mostradas en la tabla para el terreno normal, no hará falta el adicionar hormigón en la instalación del ancla.

En los casos en los que las características del terreno lo clasifiquen entre normal y flojo, se realizará una zanja en la cual se enterrará el ancla, añadiéndose a continuación hormigón hasta completar un bloque del volumen mostrado a continuación. El objetivo de este suplemento de hormigón es aumentar la superficie de contacto entre el ancla y el terreno que, junto con la propia masa del bloque, consiguen un aumento del esfuerzo que es capaz de transmitir al terreno.

Tabla 37

Dimensiones de las cimentaciones de retenidas con aporte de hormigón			
Dimensiones (m)		Tipo de ancla	
		Grande	Pequeña
Zanja	Lado	0,9	0,6
	Profundidad	2	
Bloque de hormigón	Lado	0,9	0,6
	Alto	0,7	0,4

Todos los vientos estarán adecuadamente señalizados.

Cuando otras empresas instalen otros conductores para diversos usos (telefonía, baja tensión, etc.) en los apoyos de **DISNORTE-DISSUR**, añadirán, en el caso de ser necesario, las correspondientes retenidas para soportar los nuevos esfuerzos a los que se verán sometidos los postes. Estas retenidas se

sujetarán al apoyo a la altura más cercana posible del punto de aplicación del esfuerzo.

Las características y la forma de instalación de los distintos tipo de retenidas se adjuntan en los planos del Documento n° 3 Planos.

## 5.5. PUESTA A TIERRA

Se conectarán a tierra el conductor neutro, todos los herrajes y los posibles equipos que se instalen tanto en los apoyos de hormigón como en los metálicos, siguiendo las indicaciones descritas en el presente apartado.

Los elementos que constituyen la instalación de puesta a tierra serán:

- Línea de tierra.
- Electrodo de puesta a tierra.

### 5.5.1. Línea de tierra

Es el conductor que une el electrodo de puesta a tierra con el punto del apoyo que ha de conectarse a tierra.

Se usará como conductor de puesta a tierra un cable de cobre de tamaño AWG N° 2. Sus características están definidas en la correspondiente Especificación Técnica.

Esta línea de tierra poseerá una resistencia mecánica adecuada para las condiciones a las que esté sometido. Además, la línea de tierra estará protegida adecuadamente en aquellos lugares donde están fácilmente accesibles al público o donde estén expuestos a daño mecánico.

En el documento n° 3 Planos se incluyen las características correspondientes de las tomas de tierra.

La unión entre la línea de tierra y los electrodos de puesta a tierra se realizará mediante conectores de compresión.

### 5.5.2. Resistencia de puesta a tierra

La resistencia de puesta a tierra deberá ser lo más cercana posible a 0  $\Omega$ . Para ello existirá una conexión a tierra de los herrajes, equipos y del conductor neutro en todos los apoyos de hormigón y metálicos.

Cuando, respetando las directrices del documento "Criterios de arquitectura de red", se utilicen apoyos de madera, se podrá prescindir de la puesta a tierra de los herrajes del apoyo. Sin embargo, en todo caso se garantizará la existencia de un mínimo de tres conexiones del neutro a tierra cada kilómetro de línea sin tener en cuenta las conexiones a tierra de los usuarios.

El valor de la resistencia de puesta a tierra, medido en cualquier apoyo de la línea, no será mayor de 5  $\Omega$ , teniendo en cuenta el funcionamiento en paralelo de todas las resistencias de puesta a tierra individuales de la línea. Además, la resistencia de puesta a tierra individual de cada apoyo no será mayor de 50  $\Omega$ .

### 5.5.3. Electrodo de puesta a tierra

Se utilizarán como electrodos de puesta a tierra los siguientes elementos:

- Electrodo de difusión vertical.
- Anillo cerrado de cobre.

Los detalles de montaje de las puestas a tierra de los apoyos se adjuntan en los planos de puesta a tierra del Documento nº 3 Planos.

#### 5.5.3.1. Electrodo de difusión vertical

Se utilizarán como electrodos de difusión vertical picas con alma de acero y recubrimiento de cobre de 1,5 y 2,4 m de longitud (5 y 8').

Las picas de acero-cobre están definidas en la correspondiente Especificación de Materiales.

El extremo superior de cada pica deberá penetrar tanto como sea posible por debajo de un nivel de humedad permanente con un mínimo de 0,50 m por debajo de la superficie del terreno. A esta profundidad irá también la línea de tierra que conecte las picas con el apoyo.

La puesta a tierra simple se realizará mediante una pica de puesta a tierra situada en la proximidad del apoyo

#### 5.5.3.2. Anillos cerrados

La puesta a tierra se realizará mediante un cuadrado cerrado de cable de cobre de tamaño AWG N° 2, enterrando a una profundidad mínima de 0,5 m y de forma que cada arista del cuadrado quede distanciado como mínimo 1 m del apoyo o del macizo hormigón de la cimentación.

Se conectará en cada arista del anillo una pica de las características indicadas en el apartado 5.5.3.1 mediante conectores de compresión.

La utilización del electrodo en anillo cerrado será necesaria en apoyos ubicados en zonas de pública concurrencia, apoyos con acometida aero-subterránea y en aquellos apoyos que soporten aparatos de maniobra.

### 5.6. CÁLCULO MECÁNICO DE APOYOS

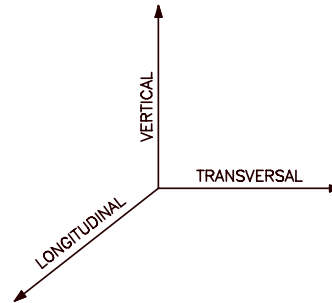
Los cálculos mecánicos de apoyos se realizarán de forma individual y para cada una de las distintas hipótesis de carga.

Estos cálculos incluirán para cada hipótesis los esfuerzos individuales que cada conductor transmite a la cruceta y el esfuerzo equivalente de todos ellos sobre el apoyo.

El resultado de estos cálculos se adjuntará según el formato establecido en las correspondientes tablas del Documento n° 6 Proyecto Específico.

Los esfuerzos se referirán a un sistema de coordenadas cartesiano ortogonal a derechas (longitudinal, transversal, vertical).





Las distintas hipótesis de carga a considerar en el cálculo mecánico de apoyos serán las siguientes:

- Hipótesis normales.
- Hipótesis anormales.

#### 5.6.1. Hipótesis normales

En la siguiente tabla se indican las hipótesis normales que debemos considerar en el cálculo según la zona de aplicación, así como las sobrecargas que se aplicarán en cada una de ellas.

Tabla 38

Apoyo	Área A		Área B	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
Alineación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal con viento 100 km/h y temperatura 10 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal con viento 100 km/h y temperatura 5 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal con viento 120 km/h y temperatura 10 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal con viento 120 km/h y temperatura 5 °C.</li> </ul>
Ángulo	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal debido a la resultante de tensiones y a la acción del viento a 100 km/h con temperatura 10 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal debido a la resultante de tensiones y a la acción del viento a 100 km/h con temperatura 5 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal debido a la resultante de tensiones y a la acción del viento a 120 km/h con temperatura 10 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes.</li> <li>• Esf. horizontal transversal debido a la resultante de tensiones y a la acción del viento a 120 km/h con temperatura 5 °C.</li> </ul>
Anclaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 100 km/h y temperatura 10 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 100 km/h y temperatura 5 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 120 km/h y temperatura 10 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 120 km/h y temperatura 5 °C.</li> </ul>
Fin de línea	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 100 km/h y temperatura 10 °C.</li> <li>• Desequilibrio de tracciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 100 km/h y temperatura 5 °C.</li> <li>• Desequilibrio de tracciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 120 km/h y temperatura 10 °C.</li> <li>• Desequilibrio de tracciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Esf. horizontal transversal con viento 120 km/h y temperatura 5 °C.</li> <li>• Desequilibrio de tracciones.</li> </ul>

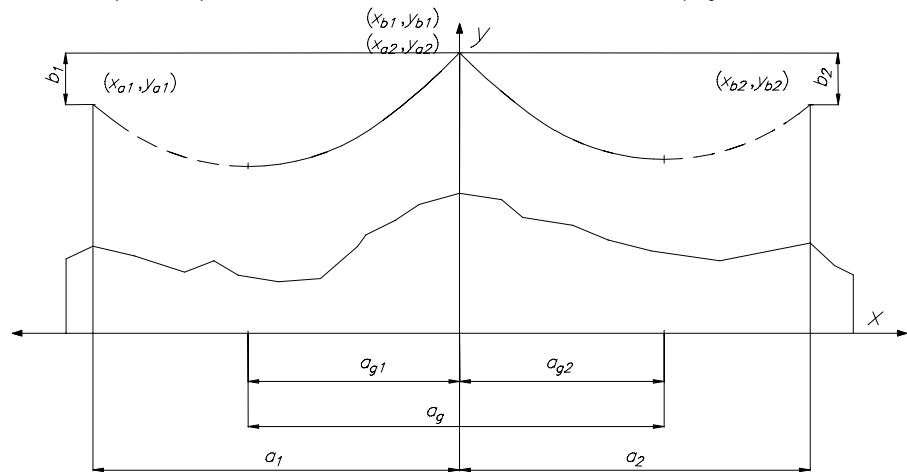
El coeficiente de seguridad en apoyos de hormigón, al tratarse de apoyos construidos en talleres específicos con características mecánicas homogéneas obtenidas mediante ensayos a escala real, no será inferior a 2 con respecto a la carga de rotura.

#### 5.6.1.1. Esfuerzos verticales

##### 5.6.1.1.1. Teoría del gravivano

El cálculo de los esfuerzos verticales que los conductores transmiten a las crucetas se realizará mediante la teoría del gravivano.

Se denomina gravivano a la longitud de vano que hay que considerar para determinar los esfuerzos verticales que debido a los pesos aparentes de conductores se transmiten al apoyo.



Dicha longitud ( $a_g$ ) viene determinada por la distancia horizontal que existe entre los vértices de las catenarias de los vanos contiguos al apoyo ( $a_{g1}$  y  $a_{g2}$ ).

En el dibujo se pueden observar los tramos de la catenaria que intervienen en la determinación del gravivano de un apoyo.

El vértice de la catenaria modifica su situación con respecto a cada apoyo en función del parámetro de la catenaria, que, de acuerdo con el apartado 2.2 del presente documento, varía con la temperatura y con el coeficiente de sobrecarga de cada hipótesis.

Para cada hipótesis normal y para cada apoyo se determinará el valor del gravivano del conductor.

Adicionalmente también se calculará el gravivano del conductor para la hipótesis de mínima flecha con el objeto de evitar el posible ahorcamiento en las cadenas de suspensión.

En los apoyos de anclaje se tendrá presente la diferencia del parámetro de la catenaria en cada semigravivano (desequilibrio de tensiones).

$$a_g = a_{g1} + a_{g2} \quad (\text{m})$$

$$a_{g1} = a_1 - H_1 \cdot \left[ \operatorname{argtanh} \frac{\cosh\left(\frac{a_1}{H_1}\right) - 1}{\sinh\left(\frac{a_1}{H_1}\right)} - \operatorname{argsenh} \frac{\frac{b_1}{H_1}}{\sqrt{\sinh^2\left(\frac{a_1}{H_1}\right) - \left(\cosh\left(\frac{a_1}{H_1}\right) - 1\right)^2}} \right]$$

$$a_{g2} = H_2 \cdot \left[ \operatorname{argth} \frac{\cosh\left(\frac{a_2}{H_2}\right) - 1}{\sinh\left(\frac{a_2}{H_2}\right)} - \operatorname{argsenh} \frac{\frac{b_2}{H_2}}{\sqrt{\sinh^2\left(\frac{a_2}{H_2}\right) - \left(\cosh\left(\frac{a_2}{H_2}\right) - 1\right)^2}} \right]$$

siendo:

$a_1$  y  $a_2$ : Vano anterior y posterior al apoyo (m).

$H_1$  y  $H_2$ : Parámetro de la catenaria anterior y posterior al apoyo (m).

$b_1$  y  $b_2$ : Diferencia de alturas entre el apoyo considerado y el anterior o el posterior respectivamente (m).

Donde el criterio de signos para  $b_1$  y  $b_2$  es el siguiente:

- $b_1 > 0$  si  $y_{b1} - y_{a1} > 0$
- $b_1 < 0$  si  $y_{b1} - y_{a1} < 0$
- $b_2 > 0$  si  $y_{b2} - y_{a2} > 0$
- $b_2 < 0$  si  $y_{b2} - y_{a2} < 0$

Los resultados de los cálculos de gravivanos se adjuntarán en el formato establecido en la tabla del Documento nº 6 Proyecto Específico.

#### 5.6.1.1.2. Cargas permanentes

Se considerarán como cargas permanentes las cargas verticales debidas al peso propio de conductores, cadenas de aisladores, si las hay, y herrajes, correspondientes a cada hipótesis.

Los pesos aproximados de las cadenas de aisladores y herrajes figuran en las correspondientes Especificaciones Técnicas.

Para conocer el esfuerzo vertical que se transmite a la cruceta, se sumarán el esfuerzo vertical transmitido a la cruceta por los elementos instalados en el vano anterior y el esfuerzo vertical transmitido por los elementos instalados el vano posterior para cada conductor. Posteriormente, una vez conocido el gravivano, se aplicara la expresión que aparece a continuación para obtener el esfuerzo:

$$P = P_A + P_B \quad (\text{daN})$$

$$P_A = p_a \cdot H_1 \cdot \sinh\left(\frac{a_{g1}}{H_1}\right) \quad (\text{daN})$$

$$P_B = p_a \cdot H_2 \cdot \sinh\left(\frac{a_{g2}}{H_2}\right) \quad (\text{daN})$$

$$P = p_a \cdot \left( H_1 \cdot \sinh\left(\frac{a_{g1}}{H_1}\right) + H_2 \cdot \sinh\left(\frac{a_{g2}}{H_2}\right) \right) \quad (\text{daN})$$

siendo:

P: Esfuerzo vertical que el conductor transmite a la cruceta por conductor (daN).

$P_A$ : Esfuerzo vertical que el conductor del vano anterior al apoyo transmite a la cruceta (daN).

$P_B$ : Esfuerzo vertical que el conductor del vano posterior al apoyo transmite a la cruceta (daN).

$p_a$ : Peso aparente del conductor (daN/m).

$H_1$  y  $H_2$ : Parámetro de la catenaria del conductor en el vano anterior y en el posterior al apoyo (m).

$a_{g1}$  y  $a_{g2}$ : Gravivano anterior y posterior del conductor (m).

### 5.6.1.2. Esfuerzos horizontales transversales

#### 5.6.1.2.1. Teoría del eolovano

Para el cálculo de los esfuerzos horizontales transversales ( $F_T$ ) que los conductores transmiten a la cruceta se empleará la teoría del eolovano.

Se define el eolovano como la longitud de vano horizontal a considerar para la determinación del esfuerzo transversal que, debido a la acción del viento sobre conductores, estos transmiten al apoyo. Esta longitud queda determinada por la semisuma de los dos vanos contiguos al apoyo.

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (\text{m})$$

siendo:

$a_v$ : Longitud del eolovano medido en la dirección longitudinal (m).

$a_1$ : Longitud del vano anterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).

$a_2$ : Longitud del vano posterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).

#### 5.6.1.2.2. Sobrecargas motivadas por el viento

Tal como se indica en el apartado 2.2 del presente Proyecto Tipo, los conductores en determinadas condiciones se considerarán sometidos a una sobrecarga horizontal transversal debida al viento. Esta sobrecarga por unidad de longitud está relacionada con el diámetro del conductor y con la velocidad del viento. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$p_v = 4,7238 \cdot v^2 \cdot d \cdot 10^{-6} \quad (\text{daN/m})$$

siendo:

$p_v$ : Presión del viento sobre el conductor por unidad de longitud.

$v$ : Velocidad del viento (km/h).

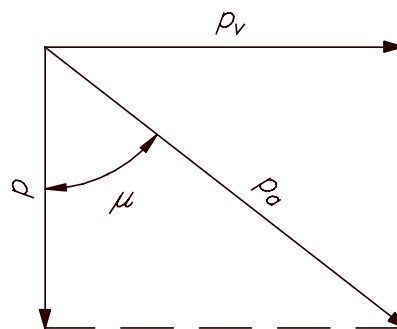
$d$ : Diámetro del conductor (mm).

En la siguiente tabla se ha determinado el valor de la presión del viento sobre los distintos conductores y para las dos velocidades consideradas en este Proyecto Tipo:

Tabla 39

Conductor	Velocidad (km/h)	P (daN/m)	$p_v$ (daN/m)	$p_a$ (daN/m)	$\mu$ (°)
477 MCM (Hawk)	120	0,956	1,482	1,764	57,18
	100		1,029	1,405	47,11
336,4 MCM (Linnet)	120	0,676	1,244	1,416	61,48
	100		0,864	1,097	51,95
266 MCM (Partridge)	120	0,535	1,109	1,232	64,25
	100		0,770	0,938	55,21
4/0 (Penguin)	120	0,433	0,973	1,065	66,01
	100		0,676	0,803	57,35
1/0 (Raven)	120	0,212	0,688	0,720	72,86
	100		0,478	0,522	66,05

En el gráfico mostrado a continuación se puede identificar la situación de los distintos vectores mostrados en la tabla 39:



siendo:

$p$ : Peso del conductor.

$p_a$ : Peso aparente del conductor bajo la sobrecarga de viento.

$p_v$ : Sobrecarga transversal motivada por la acción del viento sobre los conductores.

$\mu$ : Ángulo formado por el plano que contiene a la catenaria del conductor en reposo y el plano que contiene a la catenaria del conductor bajo la acción del viento.

Se considera que cuando actúa el viento sobre el conductor el esfuerzo vertical que debe soportar el apoyo ( $p$ ) es el mismo que cuando no existe la sobrecarga del viento, pero aparece un esfuerzo horizontal transversal a la línea ( $p_v$ ) proporcional a la velocidad del viento y al diámetro del conductor. Cada uno de estos esfuerzos deberá sumarse a los correspondientes que las distintas hipótesis transmitan a la cruceta.

#### 5.6.1.2.3. Apoyos de alineación

El esfuerzo transversal horizontal debido a la acción del viento sobre cada conductor, en los apoyos de alineación, se determina mediante la siguiente expresión:

$$F_t = p_v \cdot a_v \quad (\text{daN})$$

siendo:

$a_v$ : Longitud del eolovano correspondiente al apoyo (m).

$p_v$ : Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor (daN/m).

La presión del viento la calcularemos según se indica en el apartado 5.6.1.2.2 del presente documento.

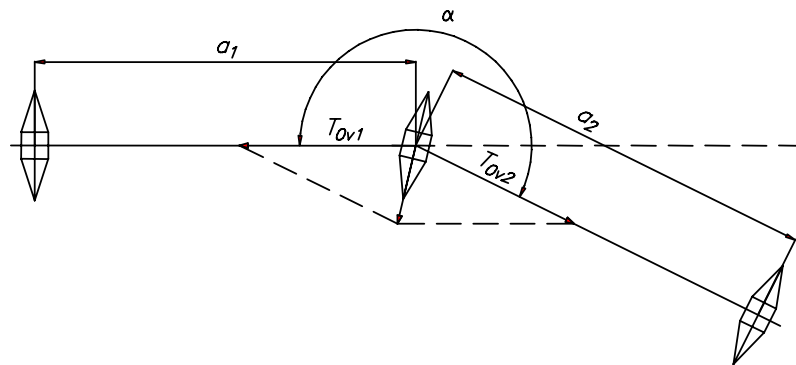
#### 5.6.1.2.4. Apoyos de ángulo

En los apoyos de ángulo consideramos que la acción conjunta de los esfuerzos longitudinales a ambos lados del apoyo y la presión del viento nos crea un esfuerzo horizontal transversal resultante.

Por lo tanto, el esfuerzo horizontal transversal ( $F_t$ ) que cada conductor transmite a la cruceta, se determinará mediante la siguiente expresión:



$$F_t = p_v \cdot a_v \cdot \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2 \cdot \max[T_{0v1}, T_{0v2}] \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (\text{daN})$$



siendo:

$p_v$ : Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor (daN/m).

$a_v$ : Longitud del eolovano correspondiente al apoyo (m).

$\beta$ : Ángulo de desviación de la línea (°).

$T_{0v1}$  y  $T_{0v2}$ : Componente horizontal de la tensión del conductor para la hipótesis de viento en los vanos anterior y posterior al apoyo (daN).

siendo:

$$\beta = \alpha - 180^\circ$$

La fórmula calcula el caso más desfavorable ya que considera que las dos tensiones son iguales y del mismo valor que la mayor de ellas.

#### 5.6.1.2.5. Apoyos de anclaje

Los esfuerzos transversales ( $F_t$ ) que cada uno de los conductores, debido a la acción del viento, transmite a la cruceta, se determinarán mediante la siguiente expresión:

$$F_t = p_v \cdot a_v \quad (\text{daN})$$

siendo:

$p_v$ : Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m).

$a_v$ : Longitud del eolovano correspondiente al apoyo (m).

La presión del viento se calculará según la expresión que aparece en el apartado 5.6.1.2.2 del presente documento.

#### 5.6.1.2.6. Apoyos de fin de línea

Para el cálculo de los esfuerzos horizontales transversales ( $F_t$ ) que cada conductor transmite a la cruceta en los apoyos de fin de línea, se aplicará la siguiente expresión:

$$F_t = p_v \cdot \frac{a}{2} \quad (\text{daN})$$

siendo:

$p_v$ : Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m).

$a$ : Longitud del vano del apoyo medido en la dirección longitudinal (m).

Como en apartados anteriores, la presión del viento se calculará según la expresión que aparece en el apartado 5.6.1.2.2 del presente documento.

#### 5.6.1.3. Esfuerzos horizontales longitudinales

##### 5.6.1.3.1. Apoyos de anclaje

La siguiente expresión es de utilidad a la hora de calcular los esfuerzos horizontales longitudinales que, debido al desequilibrio de tracciones, se transmite a la cruceta.

$$F_1 = 0,5 \cdot \max[T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

siendo:

$T_{01}$  y  $T_{02}$ : Componentes horizontales de la tensión del conductor en el vano anterior y posterior (daN).

#### 5.6.1.3.2. Apoyos de fin de línea

Para el cálculo de los esfuerzos horizontales longitudinales ( $F_1$ ) que cada conductor transmite a la cruceta debido al desequilibrio de tracciones, se aplicará la siguiente expresión:

$$F_1 = T_0 \quad (\text{daN})$$

siendo:

$T_0$ : Componente horizontal de la tensión del conductor en el vano (daN).

#### 5.6.1.4. Esfuerzo equivalente en el apoyo

Es necesario trasladar todas las fuerzas al punto de aplicación de esfuerzos del poste, que es el punto al que está referido el esfuerzo nominal que es capaz de resistir un apoyo en cada dirección. Este punto está situado a 0,3 m por debajo de la cogolla del poste.

Todos los esfuerzos verticales se sumarán para obtener un esfuerzo total vertical, que será de utilidad para el cálculo de cimentaciones.

$$F_{\text{vequi}} = \sum_{i=1}^n F_{\text{vi}} \quad (\text{daN})$$

Los esfuerzos longitudinales se trasladarán desde su punto de aplicación en el extremo del aislador al punto situado a la distancia antes mencionada respecto a la cogolla. La expresión que se utilizará para calcular el esfuerzo longitudinal total será la siguiente:

$$F_{\text{lequi}} = \sum_{i=1}^n \frac{F_{li} \cdot y_{li}}{y_{\text{equivalente}}} \quad (\text{daN})$$

siendo:

$F_{\text{lequi}}$ : Esfuerzo longitudinal total (daN).

$F_{li}$ : Esfuerzo longitudinal (daN).

$y_{li}$ : Altura de aplicación del esfuerzo longitudinal (m).

$y_{\text{equivalente}}$ : Altura de aplicación del esfuerzo longitudinal nominal (m).

El mismo proceso se seguirá con los esfuerzos transversales. Se utilizará la expresión siguiente:

$$F_{\text{tequi}} = \sum_{i=1}^n \frac{F_{ti} \cdot y_{ti}}{y_{\text{equivalente}}} \quad (\text{daN})$$

siendo:

$F_{\text{tequi}}$ : Esfuerzo transversal total (daN).

$F_{ti}$ : Esfuerzo transversal (daN).

$y_{ti}$ : Altura de aplicación del esfuerzo transversal (m).

$y_{\text{equivalente}}$ : Altura de aplicación del esfuerzo transversal nominal (m).

De esta manera se calcularán los esfuerzos que deberá soportar el poste en condiciones normales en cada dirección y comparar estos valores con su esfuerzo nominal.

### 5.6.2. Hipótesis anormales

Como hipótesis anormales se entienden aquellas situaciones poco frecuentes que producen unos esfuerzos distintos a los normales, pero que se deben considerar a la hora de calcular los esfuerzos que debe ser capaz de soportar el poste.

Las hipótesis anormales que debemos considerar así como las correspondientes sobrecargas a aplicar en cada una de ellas, serán las indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 40

Apoyo	Zona 1	Zona 2
Alineación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Deseq. de tracciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Deseq. de tracciones</li> </ul>
Ángulo	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Deseq. de tracciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Deseq. de tracciones</li> </ul>
Anclaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Rotura de conductores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Rotura de conductores</li> </ul>
Fin de línea	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Rotura de conductores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cargas permanentes</li> <li>•Rotura de conductores</li> </ul>

El coeficiente de seguridad en apoyos de hormigón, al tratarse de apoyos construidos en talleres específicos con características mecánicas homogéneas obtenidas mediante ensayos a escala real, no será inferior a 2,0 con respecto a la carga de rotura.

#### 5.6.2.1. Esfuerzos verticales

Los esfuerzos verticales ( $F_v$ ) para las hipótesis anormales se calcularán con el mismo procedimiento indicado en el apartado 5.6.1.1 de esta memoria.

#### 5.6.2.2. Esfuerzos por horizontales longitudinales por desequilibrio de tracciones

##### 5.6.2.2.1. Apoyos de alineación

Al no considerar la acción del viento como una carga anormal, consideramos nulo el esfuerzo transversal ( $F_t$ ) que debe soportar el poste.

Para el cálculo del esfuerzo longitudinal ( $F_l$ ) que cada conductor, debido al desequilibrio de tracciones, transmite a la cruceta, se aplicará la siguiente expresión:

$$F_l = 0,08 \cdot \text{máx}[T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

siendo:

$T_{01}$  y  $T_{02}$ : Componente horizontal de la tensión del conductor en el vano anterior y posterior (daN).

#### 5.6.2.2.2. Apoyos de ángulo

Como en el caso anterior, la acción del viento sobre los conductores que provoca un esfuerzo transversal horizontal no se considerará en esta hipótesis, pero si el desequilibrio de tensiones que provoca un esfuerzo longitudinal horizontal que deben soportar la cruceta y el poste.

El cálculo del esfuerzo horizontal longitudinal ( $F_1$ ) que, en las condiciones previamente citadas, cada conductor transmite a la cruceta se determinarán mediante la siguiente expresión:

$$F_1 = 0,08 \cdot \text{máx}[T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

siendo:

$T_{01}$  y  $T_{02}$ : Componente horizontal de la tensión del conductor en el vano anterior y posterior (daN).

#### 5.6.2.3. Esfuerzo longitudinal por rotura de conductores

##### 5.6.2.3.1. En apoyos de anclaje y fin de línea

En esta hipótesis se considera la rotura del conductor de línea que produzca la sollicitación más desfavorable en la cruceta y, en consecuencia, en el apoyo, en las condiciones de tensión máxima. Este conductor será el más alejado del eje del apoyo ya que producirá un momento torsional mayor.

El esfuerzo longitudinal a considerar, tanto en los apoyos de anclaje como en los apoyos de fin de línea, se calculará según la siguiente expresión:

$$F_1 = \text{máx}[T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

siendo:

$T_{01}$  y  $T_{02}$ : Componente horizontal de la tensión del conductor en el vano anterior y posterior (daN).



#### 5.6.2.4. Esfuerzo equivalente en el apoyo

Los distintos esfuerzos que los conductores transmiten al apoyo en las hipótesis anormales deben trasladarse al punto de aplicación del esfuerzo nominal, con el fin de poder comparar dichos esfuerzos con la carga nominal, que resiste el poste. Se seguirá el proceso indicado en el apartado 5.6.1.3 del presente documento.

#### 5.7. RECOPIACIÓN DE APOYOS

Con los cálculos reflejados en los anteriores apartados, en cada Proyecto Específico se adjuntará un cuadro resumen de los apoyos utilizados en la línea según el formato indicado en el Documento nº 6 Proyecto Específico.

En dicho cuadro se señalarán así mismo los coeficientes de seguridad de apoyos, crucetas y cadenas de aisladores referidos a cada hipótesis.

## **6. TABLAS Y GRÁFICOS**

- 6.1. TABLAS DE CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES ACSR
- 6.2. TABLAS DE TENDIDO DE CONDUCTORES ACSR
- 6.3. GRÁFICOS DE CAÍDA DE TENSIÓN
- 6.4. GRÁFICOS DE POTENCIA MÁXIMA DE TRANSPORTE EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD
- 6.5. GRÁFICOS DE PÉRDIDAS DE POTENCIA
- 6.6. TABLAS DE CIMENTACIONES
- 6.7. EOLOVANOS ADMISIBLES POR LOS APOYOS
- 6.8. TABLAS DE UTILIZACIÓN DE RETENIDAS
- 6.9. TABLAS DE ESFUERZOS EN ÁNGULOS