

**Instrucción Técnica Complementaria  
ITC-LAT 07**

**LÍNEAS AÉREAS CON CONDUCTORES DESNUDOS**

**0. ÍNDICE**

1. PRESCRIPCIONES GENERALES
2. MATERIALES: CONDUCTORES Y CABLES DE TIERRA, HERRAJES Y ACCESORIOS, AISLADORES Y APOYOS
3. CÁLCULOS MECÁNICOS
4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS
5. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD. CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS
6. DERIVACIONES, SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES
7. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA
8. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

**1. PRESCRIPCIONES GENERALES**

**1.1 Campo de aplicación**

Las disposiciones contenidas en la presente instrucción se refieren a las prescripciones técnicas que deberán cumplir las líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos, entendiéndose como tales las de corriente alterna trifásica a 50 Hz de frecuencia, cuya tensión nominal eficaz entre fases sea superior a 1 kV. Aquellas líneas en las que se prevea utilizar otros sistemas de transmisión de energía - corriente continua, corriente alterna monofásica o polifásica, etc.- deberán ser objeto de una justificación especial por parte del proyectista, el cual deberá adaptar las prescripciones y principios básicos de la presente instrucción a las peculiaridades del sistema propuesto.

Quedan excluidas de la aplicación de las presentes normas, únicamente las líneas eléctricas que constituyen el tendido de tracción propiamente dicho - línea de contacto - de los ferrocarriles u otros medios de transporte electrificados.

En aquellos casos especiales en los que la aplicación estricta de las presentes normas no conduzca a la solución óptima, y previa la debida justificación, podrá el órgano competente de la Administración autorizar valores o condiciones distintos de los establecidos con carácter general en la presente instrucción.

**1.2 Tensiones nominales normalizadas**

Las tensiones nominales normalizadas de la red, así como los valores correspondientes de las tensiones más elevadas se incluyen en la tabla 1.

Únicamente en el caso de que la línea objeto del proyecto sea extensión de una red ya existente, podrá admitirse la utilización de una tensión nominal diferente de las anteriormente señaladas.

De entre ellas se recomienda la utilización de las tensiones siguientes:

20 kV, 66 kV, 132 kV, 220 kV y 400 kV.

Si durante la vigencia de la presente instrucción, y en ausencia de disposiciones oficiales sobre la materia, se considerase conveniente la adopción de una tensión nominal superior a 400 kV, deberá justificarse de modo adecuado la elección del nuevo escalón de tensión propuesto, de acuerdo con las recomendaciones de organismos técnicos internacionales y con el criterio existente en los países limítrofes.

La tensión de la línea, expresada en kV, se designará en lo sucesivo por la letra  $U_n$  para la tensión nominal y  $U_s$  para la tensión más elevada.

**Tabla 1. Tensiones nominales y tensiones más elevadas de la red**

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED ( $U_n$ ) kV	TENSIÓN MAS ELEVADA DE LA RED ( $U_s$ ) KV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20*	24
25	30
30	36
45	52
66*	72,5
110	123
132*	145
150	170
220*	245
400*	420

\* Tensiones de uso preferente en redes eléctricas de compañía.

### 1.3 Tensiones nominales no normalizadas

Existiendo en el territorio español redes a tensiones nominales diferentes de las que como normalizadas figuran en el apartado anterior, se admite su utilización dentro de los sistemas a que correspondan.

### 1.4 Sistemas de instalación

El sistema de instalación de las líneas eléctricas aéreas de la presente instrucción será mediante red tensada sobre apoyo.

### 1.5 Requisitos

Los requisitos expuestos a continuación están basados en las consideraciones al respecto que se indican en la Norma UNE-EN 50341-1 (norma básica aplicable a líneas eléctricas aéreas de tensiones superiores a 45 kV) y en la Norma UNE-EN 50423-1 (norma básica aplicable a líneas eléctricas aéreas de tensiones superiores a 1 kV y hasta 45 kV inclusive ).

#### 1.5.1 Requisitos básicos

Una línea eléctrica aérea deberá ser diseñada y construida de forma tal que durante su vida prevista:

- a) Desempeñe su propósito bajo un conjunto de condiciones definidas, con niveles aceptables de fiabilidad y de manera económica. Esto se refiere a aspectos de requisitos de fiabilidad;
- b) No sea susceptible de un colapso progresivo (en cascada) si sucede un fallo en un componente específico. Esto se refiere a aspectos de requisitos de seguridad de lo construido;
- c) No sea susceptible de causar daños humanos o pérdida de vidas durante su construcción, explotación y mantenimiento. Esto se refiere a aspectos de requisitos de seguridad de las personas.

Una línea eléctrica aérea deberá también ser diseñada, construida y mantenida de forma tal que sea considerada la seguridad del público, duración, robustez, mantenimiento y el respeto a las condiciones medioambientales y al paisaje.

Los requisitos arriba indicados deben estar en concordancia con la elección de materiales, un diseño apropiado y detallado, y un proceso de control específico para el diseño, producción y suministro de materiales, construcción y explotación del proyecto en cuestión.

El diseño seleccionado deberá ser, teniendo en cuenta las distintas hipótesis de carga representativas, suficientemente riguroso y variado para abarcar todas las condiciones que pueden verse durante la construcción y vida útil estimada de la línea aérea.

Las líneas eléctricas aéreas se estudiarán siguiendo el trazado que considere más conveniente el autor del proyecto, en su intento de lograr la solución óptima para el conjunto de la instalación, ajustándose en todo caso a las prescripciones que en esta instrucción se establecen. Se evitarán, en lo posible, los ángulos pronunciados, tanto en planta como en alzado, y se reducirán al mínimo indispensable el número de situaciones reguladas por las prescripciones especiales del apartado 5.3.

#### 1.5.2 Requisitos de seguridad de la obra construida

Los requisitos de seguridad de la obra construida considerarán la existencia de cargas especiales y el proyecto incluirá las medidas necesarias para prevenir fallos en cascada.

Un fallo en una línea puede producirse debido a defectos en los materiales, contingencias desfavorables como, por ejemplo, el impacto de un objeto, deslizamientos de tierra, etc. o condiciones climáticas extremas. El fallo debe quedar limitado al lugar donde se produjo la sobrecarga excediéndose la resistencia mecánica de los componentes, no propagándose a los cantones adyacentes.

En el capítulo 3 de esta instrucción se indican las cargas y sobre cargas a considerar para prevenir fallos en cascada.

En algunas líneas aéreas, debido tanto a la importancia de la red como su exposición a cargas climáticas severas, se puede justificar proyectar y ejecutar la obra con un alto nivel de seguridad. En tales casos se pueden aplicar medidas adicionales para incrementar la seguridad, de acuerdo con la experiencia y el tipo de línea a diseñar. La inserción de apoyos de anclaje a intervalos específicos puede adoptarse como medida para limitar un colapso progresivo.

#### 1.5.3 Requisitos de seguridad de las personas durante la construcción y mantenimiento

Se tendrán en cuenta los requisitos de seguridad de las personas durante la construcción y las operaciones de mantenimiento. Los requisitos de seguridad de las personas están cubiertos mediante la consideración de cargas especiales para las cuales se deben diseñar los componentes de la línea (especialmente los apoyos).

En relación con la seguridad y salud de los trabajadores, los requisitos de seguridad y las disposiciones aplicables serán los contenidos en la normativa laboral en materia de prevención de riesgos laborales.

#### 1.5.4 Consideraciones adicionales

Al diseñarse una línea eléctrica aérea debe limitarse su impacto sobre el medio ambiente. Igualmente se considerarán las disposiciones legales que le afecten en cada Comunidad Autónoma. Asimismo, debe considerarse la seguridad de las personas y de los animales, tanto de la avifauna como del ganado.

#### 1.5.5 Vida útil

La vida útil es el periodo de funcionamiento previsto de la línea para su propósito prefijado con las operaciones normales de mantenimiento pero sin que sean necesarias reparaciones substanciales.

La vida útil de las líneas aéreas se considera que es, generalmente, de 40 años, a menos que se defina otra cosa en las especificaciones del proyecto.

### 1.5.6 Durabilidad

La durabilidad de un apoyo o de una parte de éste en su entorno debe ser tal que, con un mantenimiento apropiado, permanezca apto para su uso dentro de la vida útil prevista.

Las condiciones medioambientales, climáticas y atmosféricas deben ser evaluadas en el periodo de diseño, para ver su influencia en relación con la durabilidad y posibilitar las disposiciones adecuadas para la protección de los materiales.

## 2. MATERIALES: CONDUCTORES Y CABLES DE TIERRA, HERRAJES Y ACCESORIOS, AISLADORES Y APOYOS

### 2.1 Conductores y cables de tierra

#### 1.1.1 Generalidades

En este apartado se dan los requisitos que deben cumplir los conductores y cables de tierra con o sin circuitos de telecomunicaciones.

Los conductores y cables de tierra deberán ser diseñados, seleccionados y ensayados para cumplir con los requisitos eléctricos, mecánicos y de telecomunicaciones que se definen según los parámetros de diseño de la línea. Se deberá considerar la necesaria protección contra la fatiga debida a las vibraciones.

En los siguientes apartados el término "conductor" incluye también a los "cables de tierra" y donde sea apropiado a los conductores y cables de tierra con circuitos de telecomunicación.

Este apartado no es de aplicación a cables recubiertos o a todos los cables dieléctricos autosoportados de telecomunicaciones (ADSS) o dieléctricos de fibra óptica (CADFO). De igual modo, no incluye cables de telecomunicación recubiertos de metal que no sean utilizados como cables de tierra.

No obstante; los cables dieléctricos autosoportados de telecomunicaciones (ADSS) o los dieléctricos adosados de fibra óptica (CADFO) podrán utilizar como soporte las líneas eléctricas aéreas de alta tensión conforme a lo establecido en la disposición adicional decimocuarta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico. Por tanto, estos cables dieléctricos, en lo que les corresponda, cumplirán con las condiciones y requisitos en lo concerniente al montaje y al tendido de acuerdo con sus características, impuestos en este reglamento como un elemento más de la línea.

La sección nominal mínima admisible de los conductores de cobre y sus aleaciones será de 10 milímetros cuadrados. En el caso de los conductores de acero galvanizado, la sección mínima admisible será de 12,5 milímetros cuadrados.

Para otros tipos de materiales no se emplearán conductores de menos de 350 daN de carga de rotura.

En el caso en que se utilicen conductores usados, procedentes de otras líneas desmontadas, las características que afectan básicamente a la seguridad deberán establecerse razonadamente, de acuerdo con los ensayos que preceptivamente habrán de realizarse.

Cuando en los cálculos mecánicos se tengan en cuenta el proceso de fluencia o de deformaciones lentas, las características que se adopten para estos cálculos deberán justificarse mediante ensayos o utilizando valores comprobados en otras líneas.

#### 2.1.2 Conductores de aluminio

##### 2.1.2.1 Características y dimensiones

Los conductores pueden estar constituidos por hilos redondos o con forma trapezoidal de aluminio o aleación de aluminio y pueden contener, para reforzarlos, hilos de acero galvanizados o de acero recubiertos de aluminio. Los cables de tierra se diseñarán según las mismas normas que los conductores de fase.

Los conductores deben cumplir la Norma UNE-EN 50182 y serán de uno de los siguientes tipos:

- a) Conductores homogéneos de aluminio (AL1).
- b) Conductores homogéneos de aleación de aluminio (ALx).
- c) Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzados con acero galvanizado (AL1/STyz o ALx/STyz).
- d) Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzado con acero recubierto de aluminio (AL1/SAyz o ALx/SAyz).
- e) Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio reforzados con aleación de aluminio (AL1/ALx).

Cuando sean utilizados materiales diferentes de aquéllos, sus características y su conveniencia para cada aplicación individual deben ser verificadas como se indique en las especificaciones del proyecto.

##### 2.1.2.2 Requisitos eléctricos

Las resistencias eléctricas de la gama preferente de conductores con alambres circulares se dan en la norma UNE-EN 50182.

Para conductores con secciones de alambres diferentes, la resistencia del conductor deberá calcularse utilizando la resistividad del alambre, la sección transversal y los parámetros del cableado del conductor.

Debe verificarse que la intensidad admisible y la capacidad de cortocircuito de los conductores cumplen los requisitos de las especificaciones del proyecto. También debe considerarse la predicción del nivel de perturbación radioeléctrica y el nivel del ruido audible de los conductores según la norma UNE-EN 50341-1.

##### 2.1.2.3 Temperaturas de servicio del conductor

La máxima temperatura de servicio de conductores de aluminio bajo diferentes condiciones operativas deberá ser indicada en las especificaciones del proyecto. Estas Especificaciones darán algunos o todos los requisitos, bajo las siguientes condiciones:

- a) La temperatura máxima de servicio bajo carga normal en la línea, que no sobrepasará los 85 °C.

b) La temperatura máxima de corta duración para momentos especificados, bajo diferentes cargas en la línea, superiores al nivel normal, que no sobrepasará los 100 °C.

c) La temperatura máxima debida a un fallo especificado del sistema eléctrico, que no sobrepasará los 100 °C.

El uso de conductores de alta temperatura, tales como los compuestos por aleaciones especiales de Aluminio-Zirconio, definidos en la norma IEC 62004, permite trabajar con temperaturas de servicio superiores.

La información sobre el cálculo del incremento de temperatura, debido a las corrientes de cortocircuito, se indica en la norma UNE-EN 60865-1. Alternativamente, y con las precauciones adecuadas, el incremento real de temperatura debido a las corrientes de cortocircuito puede determinarse mediante un ensayo.

#### 2.1.2.4 Requisitos mecánicos

La carga de rotura de los conductores de aluminio, calculada de acuerdo con la norma UNE-EN 50182, debe ser suficiente para cumplir con los requisitos de carga determinados en el apartado 3.2.

La tensión máxima admisible en el conductor debe indicarse en las especificaciones del proyecto.

#### 2.1.2.5 Protección contra la corrosión

Los requisitos para el recubrimiento o el revestimiento de los hilos de acero con zinc o aluminio deben ser indicados en las especificaciones del proyecto, con referencia a la norma UNE-EN 50189 o la norma UNE-EN 61232, según sea aplicable, por la naturaleza del revestimiento. Se permite el uso de grasas de protección contra la corrosión.

### 2.1.3 Conductores de acero

#### 2.1.3.1 Características y dimensiones

Los conductores de acero cumplirán con la norma UNE-EN 50182. Las especificaciones del material se dan en la norma UNE-EN 50189, para los hilos de acero galvanizado y en la norma UNE-EN 61232, para los hilos de acero recubiertos de aluminio.

#### 2.1.3.2 Requisitos eléctricos

La resistividad de los hilos de acero galvanizados se da, a efectos de cálculo, en la norma UNE-EN 50189 y en la norma UNE-EN 61232 para los hilos de acero revestidos de aluminio. La resistencia del conductor en corriente continua a 20 °C se calculará de acuerdo con los principios de la norma UNE-EN 50182.

La intensidad admisible y la capacidad de cortocircuito, particularmente el efecto sobre la tensión mecánica, debe verificarse con los requisitos de las Especificaciones del Proyecto.

#### 2.1.3.3 Temperaturas de servicio del conductor

Es aplicable lo indicado en el apartado 2.1.2.3.

#### 2.1.3.4 Requisitos mecánicos

La carga de rotura de conductores de acero, calculada de acuerdo con la norma UNE-EN 50182, debe ser suficiente para cumplir con los requisitos de carga determinados en el apartado 3.2.

La tensión máxima admisible en el conductor debe indicarse en las especificaciones del proyecto.

#### 2.1.3.5 Protección contra la corrosión

Los requisitos para recubrimiento o revestimiento de hilos de acero deben concretarse en las especificaciones del proyecto, mediante referencia a la norma UNE-EN 50189 o en la norma UNE-EN 61232, según sea aplicable por la naturaleza del revestimiento.

### 2.1.4 Conductores de cobre

Los conductores podrán estar constituidos por hilos redondos de cobre o aleación de cobre, de acuerdo con la norma UNE 207015. Cuando no se ajusten a la norma, los requisitos se indicarán en las especificaciones del proyecto.

2.1.5 Conductores (OPPC's) y cables de tierra (OPGW's) que contienen circuito de telecomunicaciones de fibra óptica

#### 2.1.5.1 Características y dimensiones

Las características del diseño de los OPPC's y de los OPGW's con fibras ópticas de telecomunicación, deben ser indicadas en las especificaciones del proyecto.

Las características físicas, mecánicas y eléctricas y los métodos de ensayo para el OPGW se dan en la UNE-EN 60794-4.

#### 2.1.5.2 Requisitos eléctricos

La resistencia en corriente continua a 20 °C de un OPPC o OPGW, debe calcularse utilizando la resistividad del aluminio duro, aleación de aluminio, acero galvanizado o hilos de acero revestidos de aluminio, junto con las constantes de cableado y la resistividad de otros componentes de aluminio del conductor, de acuerdo a los requisitos de la norma UNE-EN 60794-4 o los principios de la norma UNE-EN 50182.

Se debe hacer referencia en las especificaciones del proyecto a la capacidad de transporte o intensidad admisible y a las condiciones de cortocircuito y, en su caso, al nivel de perturbaciones radioeléctricas.

### 2.1.5.3 Temperatura de servicio del conductor

Las temperaturas máximas de servicio de los OPPC's y OPGW's deben indicarse en las especificaciones del proyecto. Estas especificaciones darán la temperatura máxima continua y la temperatura máxima de corta duración para tiempos especificados. Para la determinación del incremento de temperatura debido a la corriente de cortocircuito es aplicable la nota 2 del apartado 2.1.2.3

### 2.1.5.4 Requisitos mecánicos

La carga de rotura de los OPPC's y OPGW's, calculada de acuerdo a las especificaciones del proyecto, debe ser suficiente para cumplir con los requisitos de carga mecánica determinados en el apartado 3.2.

La tensión máxima admisible en el conductor debe indicarse en las especificaciones del proyecto.

### 2.1.5.5 Protección contra la corrosión

Los requisitos para la protección contra la corrosión de los OPPC's puede realizarse usando hilos de acero galvanizado o acero recubierto de aluminio, cumpliendo con las normas UNE-EN 50189 o UNE-EN 61232, cuando sea aplicable. Se permite el uso de grasas de protección anticorrosiva, según norma UNE-EN 50326.

### 2.1.6 Empalmes y conexiones

Se denomina "empalme" a la unión de conductores que asegura su continuidad eléctrica y mecánica.

Se denomina "conexión" a la unión de conductores que asegura la continuidad eléctrica de los mismos, con una resistencia mecánica reducida.

Los empalmes de los conductores se realizarán mediante piezas adecuadas a la naturaleza composición y sección de los conductores. Lo mismo el empalme que la conexión no deben aumentar la resistencia eléctrica del conductor. Los empalmes deberán soportar sin rotura ni deslizamiento del cable el 95% de la carga de rotura del cable empalmado.

La conexión de conductores, tal y como ha sido definida en el presente apartado, sólo podrá ser realizada en conductores sin tensión mecánica o en las uniones de conductores realizadas en el puente de conexión de las cadenas de amarre, pero en este caso deberá tener una resistencia al deslizamiento de al menos el 20% de la carga de rotura del conductor.

Queda prohibida la ejecución de empalmes en conductores por la soldadura de los mismos.

Con carácter general los empalmes no se realizarán en los vanos sino en los puentes flojos entre las cadenas de amarre. En cualquier caso, se prohíbe colocar en la instalación de una línea más de un empalme por vano y conductor. Solamente en la explotación, en concepto de reparación de una avería, podrá consentirse la colocación de dos empalmes.

Cuando se trate de la unión de conductores de distinta sección o naturaleza, es preciso que dicha unión se efectúe en el puente de conexión de las cadenas de amarre.

Las piezas de empalme y conexión serán de diseño y naturaleza tal que eviten los efectos electrolíticos, si éstos fueran de temer, y deberán tomarse las precauciones necesarias para que las superficies en contacto no sufran oxidación.

### 2.1.7 Consideraciones en la instalación de los cables de tierra

Cuando se empleen cables de tierra para la protección de la línea, se recomienda que el ángulo que forma la vertical que pasa por el punto de fijación del cable de tierra con la línea determinada por este punto y cualquier conductor de fase no exceda de 35°.

Asimismo, los empalmes de los cables de tierra reunirán las mismas condiciones de seguridad e inalterabilidad exigidas en el correspondiente apartado para los empalmes de los conductores.

Cuando para el cable de tierra se utilice cable de acero galvanizado, la sección nominal mínima que deberá emplearse será de 50 milímetros cuadrados para las líneas de tensión nominal superior a 66 kV, y de 22 milímetros cuadrados para las demás.

Cuando se tome en consideración la cooperación de los cables de tierra en la resistencia de los apoyos, se incluirán en el proyecto los cálculos justificativos de que el conjunto apoyo-cables de tierra en las condiciones más desfavorables no tiene coeficientes de seguridad inferiores a los correspondientes a los distintos elementos.

Los cables de tierra deberán estar conectados a tierra en cada apoyo directamente al mismo, si se trata de apoyos metálicos, o a las armaduras metálicas de la fijación de los aisladores, en el caso de apoyos de madera u hormigón. Además, deberán quedar conectados a tierra de acuerdo con las normas que se indican en el apartado 7 de esta ITC.

Los herrajes del cable de tierra deberán unirse al cable de conexión a tierra, pudiendo dejarse aislados en aquellos casos en que el autor del proyecto considere conveniente utilizar el aislamiento que le proporcionen los elementos del apoyo (cruceas de madera, etc.).

## 2.2 Herrajes y accesorios

### 2.2.1 Generalidades

Se consideran herrajes todos los elementos utilizados para la fijación de los aisladores al apoyo y al conductor, los elementos de fijación del cable de tierra al apoyo y los elementos de protección eléctrica de los aisladores.

Se consideran accesorios del conductor elementos tales como separadores, antivibradores, etc.

Los herrajes y accesorios de las líneas aéreas deben cumplir los requisitos de las normas UNE-EN 61284, UNE-EN 61854 o UNE-EN 61897. Cualquier otra alternativa o parámetro adicional se definirá en las especificaciones del proyecto.

### 2.2.2 Requisitos eléctricos

#### 2.2.2.1 Requisitos aplicables a todos los herrajes y accesorios

El diseño de todos los herrajes y accesorios deberá ser tal que sean compatibles con los requisitos eléctricos especificados para la línea aérea.

### 2.2.2.2 Requisitos aplicables a los herrajes y accesorios que transporten corriente

Los herrajes y accesorios de los conductores, destinados a transportar la corriente de operación del conductor, no deben, cuando estén sometidos a la corriente máxima autorizada en régimen permanente o a las corrientes de cortocircuito, manifestar aumentos de temperatura mayores que los del conductor asociado. De la misma forma, la caída de tensión en los extremos de los herrajes que transportan corriente, no debe ser superior a la caída de tensión en los extremos de una longitud equivalente de conductor.

### 2.2.3 Efecto corona y nivel de perturbaciones radioeléctricas

En el diseño de los herrajes se tendrá presente su comportamiento en el fenómeno de efecto corona. Los herrajes y accesorios para líneas aéreas incluyendo separadores y amortiguadores de vibraciones, deben ser diseñados de forma tal que, bajo condiciones de ensayo, los niveles de perturbaciones radioeléctricas sean conformes con el nivel total especificado para la instalación.

### 2.2.4 Requisitos mecánicos

El diseño de los herrajes y accesorios de una línea aérea deberá ser tal, que satisfagan los requisitos de carga mínima de rotura determinados en el apartado 3.3 de esta ITC.

Todos los herrajes que puedan estar sometidos al peso de una persona, deben resistir una carga característica concentrada de 1,5 kN.

### 2.2.5 Requisitos de durabilidad

Todos los materiales utilizados en la construcción de herrajes y accesorios de líneas aéreas deben ser inherentemente resistentes a la corrosión atmosférica, la cual puede afectar a su funcionamiento. La elección de materiales o el diseño de herrajes y accesorios deberá ser tal, que la corrosión galvánica de herrajes o conductores sea mínima.

Todos los materiales férricos, que no sean de acero inoxidable, utilizados en la construcción de herrajes, deben ser protegidos contra la corrosión atmosférica mediante galvanizado en caliente u otros métodos indicados en las especificaciones del proyecto.

Los herrajes y accesorios sujetos a articulaciones o desgaste deben ser diseñados y fabricados, incluyendo la selección del material, para asegurar las máximas propiedades de resistencia al rozamiento y al desgaste.

### 2.2.6 Características y dimensiones de los herrajes

Las características mecánicas de los herrajes de las cadenas de aisladores deben cumplir con los requisitos de resistencia mecánica dados en las normas UNE-EN 60305 y UNE-EN 60433 o UNE-EN 61466-1.

Las dimensiones de acoplamiento de los herrajes a los aisladores deberán cumplir con la Norma UNE 21009 o la Norma UNE 21128.

Los dispositivos de cierre y bloqueo utilizados en el montaje de herrajes con uniones tipo rótula, deben cumplir con los requisitos de la norma UNE-EN 60372.

Cuando se elijan metales o aleaciones para herrajes de líneas, debe considerarse el posible efecto de bajas temperaturas, cuando proceda. Cuando se elijan materiales no metálicos, debe considerarse su posible reacción a temperaturas extremas, radiación UV, ozono y polución atmosférica.

## 2.3 Aisladores

### 2.3.1 Generalidades

Los aisladores normalmente comprenden cadenas de unidades de aisladores del tipo caperuza y vástago o del tipo bastón, y aisladores rígidos de columna o peana. Pueden ser fabricados usando materiales cerámicos (porcelana), vidrio, aislamiento compuesto de goma de silicona, poliméricos u otro material de características adecuadas a su función. Se pueden utilizar combinaciones de estos aisladores sobre algunas líneas aéreas.

Los aisladores deben ser diseñados, seleccionados y ensayados para que cumplan los requisitos eléctricos y mecánicos determinados en los parámetros de diseño de las líneas aéreas.

Los aisladores deben resistir la influencia de todas las condiciones climáticas, incluyendo las radiaciones solares. Deben resistir la polución atmosférica y ser capaces de funcionar satisfactoriamente cuando estén sujetos a las condiciones de polución.

### 2.3.2 Requisitos eléctricos normalizados

El diseño de aisladores deberá ser tal que se respeten las tensiones soportadas según el apartado 4.4 de esta ITC.

### 2.3.3 Requisitos para el comportamiento bajo polución

Los aisladores deberán cumplir con los requisitos especificados para su comportamiento bajo polución.

En el apartado 4.4.1 se dan indicaciones sobre la selección de aisladores para su uso en condiciones de polución.

### 2.3.4 Requisitos mecánicos

El diseño de los aisladores de una línea aérea deberá ser tal que satisfagan los requisitos mecánicos determinados en el apartado 3.4 de esta ITC.

### 2.3.5 Requisitos de durabilidad

La durabilidad de un aislador está influenciada por el diseño, la elección de los materiales y los procedimientos de fabricación. Todos los materiales usados en la construcción de aisladores para líneas aéreas, deberán ser inherentemente resistentes a la corrosión atmosférica, que puede afectar a su funcionamiento.

Puede obtenerse un indicador de la durabilidad de las cadenas de aisladores de material cerámico o vidrio, a partir de los ensayos termo-mecánicos especificados en la norma UNE-EN 60383-1. En casos especiales, puede ser necesario considerar las características de fatiga, mediante los ensayos apropiados indicados en las Especificaciones del Proyecto.

Todos los materiales féreos, distintos del acero inoxidable, usados en aisladores de líneas aéreas deberán ser protegidos contra la corrosión debida a las condiciones atmosféricas. La forma habitual de protección deberá ser un galvanizado en caliente, que deberá cumplir los requisitos de ensayo indicados en la norma UNE-EN 60383-1.

Para instalaciones en condiciones especialmente severas, puede indicarse un aumento del espesor de zinc en las especificaciones del proyecto.

### 2.3.6 Características y dimensiones de los aisladores

Las características y dimensiones de los aisladores utilizados para la construcción de líneas aéreas deben cumplir, siempre que sea posible, con los requisitos dimensionales de las siguientes normas:

- a) UNE-EN 60305 y UNE-EN 60433, para elementos de cadenas de aisladores de vidrio o cerámicos.
- b) UNE-EN 61466-1 y UNE-EN 61466-2, para aisladores de aislamiento compuesto de goma de silicona;
- c) CEI 60720, para aisladores rígidos de columna o peana.

Se pueden incluir en las especificaciones del proyecto tipos de aisladores aprobados, con dimensiones diferentes de las especificadas por las normas anteriormente indicadas. El resto de las características deberán ser conformes con las normas aplicables según el tipo de aislador.

## 2.4 Apoyos

Los conductores de la línea se fijarán mediante aisladores y los cables de tierra de modo directo a las estructuras de apoyo. Estas estructuras, que en todo lo que sigue se denominan "apoyos", podrán ser metálicas, de hormigón, madera u otros materiales apropiados, bien de material homogéneo o combinación de varios de los citados anteriormente.

Los materiales empleados deberán presentar una resistencia elevada a la acción de los agentes atmosféricos, y en el caso de no presentarla por sí mismos, deberán recibir los tratamientos protectores adecuados para tal fin.

La estructura de los apoyos podrá ser de cualquier tipo adecuado a su función. Se tendrá en cuenta su diseño constructivo, la accesibilidad a todas sus partes por el personal especializado, de modo que pueda ser realizada fácilmente la inspección y conservación de la estructura. Se evitará la existencia de todo tipo de cavidades sin drenaje, en las que pueda acumularse el agua de lluvia.

### 2.4.1 Clasificación según su función

2.4.1.1 Atendiendo al tipo de cadena de aislamiento y a su función en la línea, los apoyos se clasifican en:

- a) Apoyo de suspensión: Apoyo con cadenas de aislamiento de suspensión.
- b) Apoyo de amarre: Apoyo con cadenas de aislamiento de amarre.
- c) Apoyo de anclaje: Apoyo con cadenas de aislamiento de amarre destinado a proporcionar un punto firme en la línea. Limitará, en ese punto, la propagación de esfuerzos longitudinales de carácter excepcional. Todos los apoyos de la línea cuya función sea de anclaje tendrán identificación propia en el plano de detalle del proyecto de la línea.
- d) Apoyo de principio o fin de línea: Son los apoyos primero y último de la línea, con cadenas de aislamiento de amarre, destinados a soportar, en sentido longitudinal, las solicitaciones del haz completo de conductores en un solo sentido.
- e) Apoyos especiales: Son aquellos que tienen una función diferente a las definidas en la clasificación anterior.

Los apoyos de los tipos enumerados pueden aplicarse a diferentes fines de los indicados, siempre que cumplan las condiciones de resistencia y estabilidad necesarias al empleo a que se destinen.

2.4.1.2 Atendiendo a su posición relativa respecto al trazado de la línea, los apoyos se clasifican en:

- a) Apoyo de alineación: Apoyo de suspensión, amarre o anclaje usado en un tramo rectilíneo de la línea.
- b) Apoyo de ángulo: Apoyo de suspensión, amarre o anclaje colocado en un ángulo del trazado de una línea.

### 2.4.2 Apoyos metálicos

Los apoyos metálicos serán de características adecuadas a la función a desempeñar. Las características técnicas de sus componentes (perfiles, chapas, tornillería, galvanizado, etc.) responderán a lo indicado en las normas UNE aplicables o, en su defecto, en otras normas o especificaciones técnicas reconocidas.

En los apoyos de acero, así como en los elementos metálicos de los apoyos de otra naturaleza; no se emplearán perfiles abiertos de espesor inferior a cuatro milímetros. Cuando los perfiles fueran galvanizados por inmersión en caliente, el límite anterior podrá reducirse a tres milímetros. Análogamente, en construcción atornillada no podrán realizarse taladros sobre flancos de perfiles de una anchura inferior a 35 milímetros.

En el caso de que los perfiles de la base del apoyo se prolonguen dentro del terreno sin recubrimiento de hormigón —caso de cimentaciones metálicas—, el espesor de los perfiles enterrados no será menor de seis milímetros.

No se emplearán tornillos de un diámetro inferior a 12 milímetros.

La utilización de perfiles cerrados, se hará siempre de forma que se evite la acumulación de agua en su interior. En estas condiciones, el espesor mínimo de la pared no será inferior a tres milímetros, límite que podrá reducirse a dos y medio milímetros cuando estuvieran galvanizados por inmersión en caliente.

En los perfiles metálicos enterrados sin recubrimiento de hormigón se cuidará especialmente su protección contra la oxidación, empleando agentes protectores adecuados, como galvanizado, soluciones bituminosas, brea de alquitrán, etc.

Se recomienda la adopción de protecciones anticorrosivas de la máxima duración, en atención a las dificultades de los tratamientos posteriores de conservación necesarios.

Los apoyos situados en lugares de acceso público y donde la presencia de personas ajenas a la instalación eléctrica es frecuente (apoyos frecuentados según 7.3.4.2), dispondrán de las medidas oportunas para dificultar su escalamiento hasta una altura mínima de 2,5 m.

#### 2.4.3 Apoyos de hormigón

Serán, preferentemente, del tipo armado vibrado, fabricados con materiales de primera calidad, respondiendo los tipos y características a lo expuesto en las normas UNE aplicables según la ITC-LAT 02.

No obstante, podrán utilizarse, previa aprobación por parte de los órganos competentes de la Administración Pública, apoyos fabricados de conformidad a otras normas y que sean de similares características.

Se debe prestar también particular atención a todas las fases de manipulación en el transporte y montaje, empleando los medios apropiados para evitar el deterioro del poste.

Cuando se empleen apoyos de hormigón, en suelos o aguas que sean agresivos al mismo, deberán tomarse las medidas necesarias para su protección.

#### 2.4.4 Apoyos de madera

Se emplearán principalmente los de madera de pino de las especies silvestre, laricio y negro, respondiendo sus características técnicas a las expuestas en las normas UNE aplicables según ITC-LAT02.

No obstante, podrán utilizarse, previa aprobación por parte de los órganos competentes de la Administración Pública, apoyos fabricados de conformidad a otras normas y que sean de similares características.

En todos los casos deberán recibir un tratamiento preservante eficaz contra la putrefacción. El producto preservante, el sistema de impregnación profunda empleado, la dosificación y las penetraciones a obtener, cumplirán las normas UNE 21094 y UNE 21097, o las normas UNE 21151 y UNE 21152, según que aquél sea por creosotado o por sales minerales de disolución acuosa, respectivamente.

#### 2.4.5 Apoyos de otros materiales

Al objeto de poder incorporar en la ejecución de líneas aéreas nuevos apoyos que puedan desarrollarse, podrán admitirse apoyos de materiales y composiciones distintas a los indicados en los apartados precedentes. En todo caso, estos tipos de apoyos deberán estar recogidos en normas o especificaciones técnicas de reconocido prestigio en la materia, y su utilización deberá ser aprobada por parte de los órganos competentes de la Administración.

#### 2.4.6 Tirantes

Las líneas de nueva construcción se diseñarán sin que sea necesario el empleo de tirantes para la sujeción de los apoyos.

Los tirantes se podrán utilizar en caso de avería, sustitución de apoyos o desvíos provisionales de líneas.

Los tirantes o vientos deberán ser varillas o cables metálicos que, en el caso de ser de acero, deberán estar galvanizados en caliente.

No se utilizarán tirantes cuya carga de rotura sea inferior a 1750 daN ni cables formados por alambres de menos de dos milímetros de diámetro. En la parte enterrada en el suelo se recomienda emplear varillas galvanizadas de no menos de 12 milímetros de diámetro.

La separación de los conductores a los tirantes deberá cumplir las prescripciones del apartado 5.4.2.

Se prohíbe la fijación de los tirantes a los soportes de aisladores rígidos o a los herrajes de las cadenas de aisladores.

En la fijación del tirante al apoyo se emplearán las piezas adecuadas para que no resulten perjudicadas las características mecánicas del apoyo ni las del tirante.

Los tirantes estarán provistos de las mordazas o tensores adecuados para poder regular su tensión, sin recurrir a la torsión de los alambres, lo que queda prohibido.

Si el tirante no estuviere conectado a tierra a través del apoyo, o directamente en la forma que se señala en el apartado 7, estará provisto de aisladores. Estos aisladores se dimensionarán eléctrica y mecánicamente de forma análoga a los aisladores de la línea, de acuerdo con lo que se establece en los apartados 3.4 y 4.4.

Estos aisladores estarán a una distancia mínima de  $2xD_{ei}$  metros del conductor más próximo, estando éste en la posición que proporcione la distancia mínima al aislador.  $D_{ei}$  es la distancia mínima aérea especificada, de acuerdo con la definición del apartado 5.2. Los aisladores no se encontrarán situados a una distancia inferior a tres metros del suelo.

En los lugares frecuentados, los tirantes deben estar convenientemente protegidos hasta una altura de dos metros sobre el terreno.

#### 2.4.7 Numeración, marcado y avisos de riesgo eléctrico

Cada apoyo se identificará individualmente mediante un número, código o marca alternativa (como por ejemplo coordenadas geográficas), de tal manera que la identificación sea legible desde el suelo.

En todos los apoyos, cualesquiera que sea su naturaleza, deberán estar claramente identificados el fabricante y tipo.

También se recomienda colocar indicaciones de existencia de riesgo de peligro eléctrico en todos los apoyos. Esta indicación será preceptiva para líneas de tensión nominal superior a 66 kV y, en general, para todos los apoyos situados en zonas frecuentadas.

Estas indicaciones cumplirán la normativa existente sobre señalizaciones de seguridad.

#### 2.4.8 Cimentaciones

Las cimentaciones de los apoyos podrán ser realizadas en hormigón, hormigón armado o acero.

En las cimentaciones de hormigón se cuidará de su protección en el caso de suelos o aguas que sean agresivos para el mismo.

En las de acero se prestará especial atención a su protección, de forma que quede garantizada su duración.



Las cimentaciones o partes enterradas de los apoyos y tirantes deberán ser proyectadas y construidas para resistir las acciones y combinaciones de las mismas señaladas en el apartado 3.6.

### 3. CÁLCULOS MECÁNICOS

La filosofía de diseño que refleja este apartado para las líneas de alta tensión en general, está basada en el método empírico indicado en las normas UNE-EN 50341-1 y UNE-EN 50423-1. De acuerdo con ello, se utilizarán para las aplicaciones de las posibles solicitudes de cargas, fórmulas empíricas avaladas por la práctica que responderán a la duración, fiabilidad y garantía establecida en esta instrucción, equiparables con lo recomendado en la norma aludida.

En este reglamento se parte de unos valores mínimos generalizados para el cálculo de las sollicitaciones sobre los apoyos y los componentes de la línea. Se exponen fórmulas empíricas en función de variables y posibilidades de aplicación de distintas hipótesis, que puedan contemplar la diferencia geográfica de las distintas áreas en que puede dividirse el Estado, en cuanto a concepción orográfica y climatológica se refiere. De esta forma, se establece una metodología de cálculo basada en la experiencia que las empresas distribuidoras y de transporte tienen en el diseño de líneas eléctricas aéreas.

Debido a la inexistencia, en general, de datos oficiales estadísticos, la metodología de cálculo que se describe en esta ITC supone una solución alternativa al procedimiento estadístico establecido por las normas UNE-EN 50341-1 y UNE-EN 50423-1.

#### 3.1 Cargas y sobrecargas a considerar

El cálculo mecánico de los elementos constituyentes de la línea, cualquiera que sea la naturaleza de éstos, se efectuará bajo la acción de las cargas y sobrecargas que a continuación se indican, combinadas en la forma y en las condiciones que se fijan en los apartados siguientes.

En el caso de que puedan preverse acciones de todo tipo más desfavorables que las que a continuación se prescriben, deberá el proyectista adoptar de modo justificativo valores distintos a los establecidos.

##### 3.1.1 Cargas permanentes

Se considerarán las cargas verticales debidas al peso propio de los distintos elementos: conductores, aisladores, herrajes, cables de tierra —si los hubiere—, apoyos y cimentaciones.

##### 3.1.2 Fuerzas del viento sobre los componentes de las líneas aéreas

Se considerará un viento mínimo de referencia de 120 km/h (33,3 m/s) de velocidad, excepto en las líneas de categoría especial, donde se considerará un viento mínimo de 140 km/h (38,89 m/s) de velocidad. Se supondrá el viento horizontal, actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

La acción del viento, en función de su velocidad  $V_v$  en km/h, da lugar a las fuerzas que a continuación se indican sobre los distintos elementos de la línea.

##### 3.1.2.1 Fuerzas del viento sobre los conductores

La presión del viento en los conductores causa fuerzas transversales a la dirección de la línea, al igual que aumenta las tensiones sobre los conductores.

Considerando los vanos adyacentes, la fuerza del viento sobre un apoyo de alineación será, para cada conductor del haz:

$$F_v = q \times d \times \frac{a_1 + a_2}{2} \text{ daN,}$$

siendo:

$d$  diámetro del conductor, en metros.

$a_1, a_2$  longitudes de los vanos adyacentes, en metros. La semisuma de  $a_1$  y  $a_2$  es el vano de viento o eolovano,  $a_v$ .

$q$  presión del viento

$$= 60 \times \left( \frac{V_v}{120} \right)^2 \text{ daN/m}^2 \text{ para conductores de } d \leq 16 \text{ mm}$$

$$= 50 \times \left( \frac{V_v}{120} \right)^2 \text{ daN/m}^2 \text{ para conductores de } d > 16 \text{ mm}$$

En el caso de sobrecargas combinadas de hielo y de viento, se deberá considerar el diámetro incluido el espesor del manguito de hielo, para lo cual se aconseja considerar un peso volumétrico específico del hielo de valor 750 daN/m<sup>3</sup>.

La fuerza total del viento sobre los conductores en haz estará definida como la suma de las fuerzas sobre cada uno de los conductores, sin tener en cuenta posibles efectos de pantalla entre conductores, ni aún en el caso de haces de conductores de fase.

En las fuerzas del viento sobre apoyos en ángulo, ha de tenerse en cuenta la influencia del cambio en la dirección de la línea, así como las longitudes de los vanos adyacentes.

### 3.1.2.2 Fuerzas del viento sobre las cadenas de aisladores

La fuerza del viento sobre cada cadena de aisladores será:

$$F_c = q \times A_i \text{ daN,}$$

siendo:

$A_i$  área de la cadena de aisladores proyectada horizontalmente en un plano vertical paralelo al eje de la cadena de aisladores, m<sup>2</sup>.

$$q \text{ presión del viento} = 70 \times \left( \frac{V_V}{120} \right)^2 \text{ daN/m}^2$$

### 3.1.2.3 Fuerza del viento sobre los apoyos de celosía

La fuerza del viento sobre los apoyos de celosía será:

$$F_c = q \times A_T \text{ daN,}$$

siendo:

$A_T$  área del apoyo expuesta al viento proyectada en el plano normal a la dirección del viento, en m<sup>2</sup>.

$$q \text{ presión del viento} = 170 \times \left( \frac{V_V}{120} \right)^2 \text{ daN/m}^2$$

### 3.1.2.4 Fuerzas del viento sobre las superficies planas

Las fuerzas del viento sobre las superficies planas será:

$$F_c = q \times A_p \text{ daN,}$$

siendo:

$A_p$  área proyectada en el plano normal a la dirección del viento, en m<sup>2</sup>.

$$q \text{ presión del viento} = 100 \times \left( \frac{V_V}{120} \right)^2 \text{ daN/m}^2$$

### 3.1.2.5 Fuerzas del viento sobre las superficies cilíndricas

La fuerza del viento sobre las superficies cilíndricas será:

$$F_c = q \times A_{pol} \text{ daN,}$$

siendo:

$A_{pol}$  área proyectada en el plano normal a la dirección del viento, en m<sup>2</sup>.

$$q \text{ presión del viento} = 70 \times \left( \frac{V_V}{120} \right)^2 \text{ daN/m}^2$$

## 3.1.3 Sobrecargas motivadas por el hielo

A estos efectos, el país se clasifica en tres zonas:

- Zona A: La situada a menos de 500 metros de altitud sobre el nivel del mar.
- Zona B: La situada a una altitud entre 500 y 1.000 metros sobre el nivel del mar.
- Zona C: La situada a una altitud superior a 1.000 sobre el nivel del mar.

Las sobrecargas serán las siguientes:

- Zona A: No se tendrá en cuenta sobrecarga alguna motivada por el hielo.
- Zona B: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:  $0,18 \times \sqrt{d}$  daN por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en milímetros.
- Zona C: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:  $0,36 \times \sqrt{d}$  daN por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en milímetros. Para altitudes superiores a 1500 metros, el proyectista deberá establecer las sobrecargas de hielo mediante estudios pertinentes, no pudiéndose considerar sobrecarga de hielo inferior a la indicada anteriormente.

Los valores de las sobrecargas a considerar para cada zona podrán ser aumentados, si las especificaciones particulares de las empresas distribuidoras o de transporte responsables del servicio así lo estableciesen.

### 3.1.4 Desequilibrio de tracciones

#### 3.1.4.1 Desequilibrio en apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de aislamiento de suspensión

Para líneas de tensión nominal superior a 66 kV se considerará; por este concepto, un esfuerzo longitudinal equivalente al 15% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este esfuerzo se aplicará en el punto de fijación de los conductores y cables de tierra en el apoyo. Se deberá tener en cuenta, por consiguiente, la torsión a que estos esfuerzos pudieran dar lugar. En los apoyos de ángulo con cadena de aislamiento de suspensión se valorará el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia.

Para líneas de tensión nominal igual o inferior a 66 kV se considerará; por este concepto; un esfuerzo longitudinal equivalente al 8% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este esfuerzo se podrá considerar distribuido en el eje del apoyo a la altura de los puntos de fijación de los conductores y cables de tierra. En los apoyos de ángulo con cadena de aislamiento de suspensión se valorará el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia.

#### 3.1.4.2 Desequilibrio en apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de aislamiento de amarre

Para líneas de tensión nominal superior a 66 kV se considerará, por este concepto, un esfuerzo equivalente al 25% de las tracciones unilaterales de los conductores y cables de tierra. Este esfuerzo se aplicará en el punto de fijación de los conductores y cables de tierra en el apoyo. Se deberá tener en cuenta, por consiguiente, la torsión a que estos esfuerzos pudieran dar lugar. En los apoyos de ángulo con cadena de aislamiento de amarre se valorará el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia.

Para líneas de tensión nominal igual o inferior a 66 kV se considerará; por este concepto, un esfuerzo equivalente al 15% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra. Este esfuerzo se podrá considerar distribuido en el eje del apoyo a la altura de los puntos de fijación de los conductores y cables de tierra. En los apoyos de ángulo con cadena de aislamiento de amarre se valorará el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia.

#### 3.1.4.3 Desequilibrio en apoyos de anclaje

Se considerará por este concepto un esfuerzo equivalente al 50% de las tracciones unilaterales de los conductores y cables de tierra.

Para líneas de tensión nominal superior a 66 kV este esfuerzo se aplicará en el punto de fijación de los conductores y cables de tierra en el apoyo. Se deberá tener en cuenta, por consiguiente, la torsión a que estos esfuerzos pudieran dar lugar. En los apoyos de anclaje con ángulo se valorará el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia.

Para líneas de tensión nominal igual o inferior a 66 kV este esfuerzo se podrá considerar aplicado en el eje del apoyo a la altura de los puntos de fijación de los conductores y cables de tierra. En los apoyos de anclaje con ángulo se valorará el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia.

#### 3.1.4.4 Desequilibrio en apoyos de fin de línea

Se considerará por el mismo concepto un esfuerzo igual al 100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra, considerándose aplicado cada esfuerzo en el punto de fijación del correspondiente conductor o cable de tierra al apoyo. Se deberá tener en cuenta, por consiguiente, la torsión a que estos esfuerzos pudieran dar lugar.

#### 3.1.4.5 Desequilibrios muy pronunciados en apoyos

En los apoyos de cualquier tipo que tengan un fuerte desequilibrio de los vanos contiguos, deberá analizarse el desequilibrio de tensiones de los conductores en las condiciones más desfavorables de los mismos. Si el resultado de este análisis fuera más desfavorable que los valores fijados anteriormente, se aplicarán los valores resultantes de dichos análisis.

#### 3.1.4.6 Desequilibrio en apoyos especiales

En el caso de apoyos especiales, el proyectista deberá valorar el desequilibrio más desfavorable que puedan ejercer los conductores y cables de tierra sobre el apoyo, teniendo en cuenta la función que tenga cada uno de los circuitos instalados en él.

El esfuerzo se aplicará en el punto de fijación de los conductores y cables de tierra en el apoyo. Se deberá tener en cuenta, por consiguiente, la torsión a que estos esfuerzos puedan dar lugar.

### 3.1.5 Esfuerzos longitudinales por rotura de conductores

Se considerará la rotura de los conductores (uno o varios) de una sola fase o cable de tierra por apoyo, independientemente del número de circuitos o cables de tierra instalados en él. Este esfuerzo se considerará aplicado en el punto que produzca la sollicitación más desfavorable para cualquier elemento del apoyo, teniendo en cuenta la torsión producida en el caso de que aquel esfuerzo sea excéntrico.

#### 3.1.5.1 Rotura de conductores en apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de aislamiento de suspensión

Se considerará el esfuerzo unilateral, correspondiente a la rotura de un solo conductor o cable de tierra.

En los apoyos de ángulo con cadena de aislamiento de suspensión se valorará, además del esfuerzo de torsión que se produce según lo indicado, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

Previas las justificaciones pertinentes, podrá tenerse en cuenta la reducción de este esfuerzo, mediante dispositivos especiales adoptados para este fin; así como la que pueda originar la desviación de la cadena de aisladores de suspensión.

Teniendo en cuenta este último concepto, el valor mínimo admisible del esfuerzo de rotura que deberá considerarse será: el 50% de la tensión del cable roto en las líneas con uno o dos conductores por fase, y el 75% de la tensión del cable roto en las líneas con tres conductores por fase, no pudiéndose considerar reducción alguna por desviación de la cadena en las líneas con cuatro o más conductores por fase.

**Tabla 2. Esfuerzo de rotura aplicable (% de la tensión del cable roto)**

Número de conductores por fase	%
1	50
2	50
3	75
≥4	100

### 3.1.5.2 Rotura de conductores en apoyos de alineación y ángulo con cadenas de amarre

Se considerará el esfuerzo correspondiente a la rotura de un solo conductor por fase o cable de tierra, sin reducción alguna de su tensión.

En los apoyos de ángulo con cadenas de amarre se valorará, además del esfuerzo de torsión que se produce según lo indicado, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

### 3.1.5.3 Rotura de conductores en apoyos de anclaje

Se considerará el esfuerzo correspondiente a la rotura de un cable de tierra o de un conductor en las líneas con un solo conductor por fase, sin reducción alguna de su tensión y, en las líneas con conductores en haces múltiples se considerará la rotura de un cable de tierra o la rotura total de los conductores de un haz de fase, pero supuestos aquellos con una tensión mecánica igual al 50% de la que les corresponde en la hipótesis que se considere, no admitiéndose sobre los anteriores esfuerzos reducción alguna.

En los apoyos de anclaje con ángulo se valorará, además del esfuerzo de torsión que se produce según lo indicado, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

**Tabla 3. Esfuerzo de rotura aplicable (% de la tensión total del haz de fase)**

Número de conductores por fase	%
1	100
≥2	50

### 3.1.5.4 Rotura de conductores en apoyos de fin de línea

Se considerará este esfuerzo como en los apoyos del apartado 3.1.5.3, pero suponiendo, en el caso de las líneas con haces múltiples, los conductores sometidos a la tensión mecánica que les corresponda, de acuerdo con la hipótesis de carga.

### 3.1.5.5 Rotura de conductores en apoyos especiales

Se considerará según la función que tenga cada circuito instalado en el apoyo, considerándose el esfuerzo que produzca la sollicitación más desfavorable para cualquier elemento del apoyo, teniéndose en cuenta la torsión producida en el caso de que el esfuerzo sea excéntrico.

### 3.1.6 Esfuerzos resultantes de ángulo

En los apoyos situados en un punto en el que el trazado de la línea ofrezca un cambio de dirección se tendrá en cuenta, además, el esfuerzo resultante de ángulo de las tracciones de los conductores y cables de tierra.

## 3.2 Conductores

### 3.2.1 Tracción máxima admisible

La tracción máxima de los conductores y cables de tierra no resultará superior a su carga de rotura, mínima dividida por 2,5, si se trata de conductores cableados, o dividida por 3, si se trata de conductores de un alambre, considerándoles sometidos a la hipótesis de sobrecarga de la tabla 4 en función de que la zona sea A, B ó C.

**Tabla 4. Condiciones de las hipótesis que limitan la tracción máxima admisible**

ZONA A			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-5	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
ZONA B			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-10	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
Tracción máxima de hielo	-15	No se aplica	Según el apartado 3.1.3
Tracción máxima hielo + viento (1)	-15	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 60 km/h	Según el apartado 3.1.3.
ZONA C			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-15	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
Tracción máxima de hielo	-20	No se aplica	Según el apartado 3.1.3
Tracción máxima hielo + viento (1)	-20	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 60 km/h	Según el apartado 3.1.3.

(1) La hipótesis de tracción máxima de hielo + viento se aplica a las líneas de categoría especial y a todas aquellas líneas que la norma particular de la empresa eléctrica así lo establezca o cuando el proyectista considere que la línea pueda encontrarse sometida a la citada carga combinada.

En el caso en que en la zona atravesada por la línea sea de temer aparición de velocidades de viento excepcionales, se considerarán los conductores y cables de tierra, a la temperatura de  $-5\text{ °C}$  en zona A,  $-10\text{ °C}$  en zona B y  $-15\text{ °C}$  en zona C, sometidos a su propio peso y a una sobrecarga de viento correspondiente a una velocidad superior a 120 km/h o 140 km/h, según el apartado 3.1.2. El valor de la velocidad de viento excepcional será fijado por el proyectista o de acuerdo con las especificaciones particulares de la empresa eléctrica, en función de las velocidades registradas en las estaciones meteorológicas más próximas a la zona por donde transcurre la línea.

### 3.2.2 Comprobación de fenómenos vibratorios

A la hora de determinar las tracciones mecánicas de los conductores y cables de tierra deberá tenerse en cuenta la incidencia de posibles fenómenos vibratorios que pueden, no sólo acortar la vida útil de los mismos, sino también dar lugar a desgaste y fallos en herrajes, aisladores y accesorios, e incluso en elementos de los apoyos. Estos fenómenos son producidos por la vibración eólica y en el caso de conductores en haz, además, la vibración del subvano (entre separadores).

La elección de una tracción adecuada a la temperatura ambiente y el uso de amortiguadores y separadores debidamente posicionados ayudan a prevenir estos fenómenos.

En general, se recomienda que la tracción a temperatura de  $15\text{ °C}$  no supere el 22% de la carga de rotura, si se realiza el estudio de amortiguamiento y se instalan dichos dispositivos, o que bien no supere el 15% de la carga de rotura si no se instalan.

También se recomienda la instalación de grapas de suspensión con varillas de protección.

### 3.2.3 Flechas máximas de los conductores y cables de tierra

De acuerdo con la clasificación de las zonas de sobrecarga definidas en el apartado 3.1.3, se determinará la flecha máxima de los conductores y cables de tierra en las hipótesis siguientes:

En zonas A, B y C:

a) Hipótesis de viento.—Sometidos a la acción de su peso propio y a una sobrecarga de viento, según el apartado 3.1.2, para una velocidad de viento de 120 km/h a la temperatura de  $+15\text{ °C}$ .

b) Hipótesis de temperatura.—Sometidos a la acción de su peso propio, a la temperatura máxima previsible, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de servicio de la línea. Para las líneas de categoría especial, esta

temperatura no será en ningún caso inferior a + 85 °C para los conductores de fase ni inferior a + 50 °C para los cables de tierra. Para el resto de líneas, tanto para los conductores de fase como para los cables de tierra, esta temperatura no será en ningún caso inferior a + 50 °C.

c) Hipótesis de hielo.—Sometidos a la acción de su peso propio y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona, según el apartado 3.1.3, a la temperatura de 0 °C.

En las líneas de categoría especial y de primera categoría, cuando por la naturaleza de los conductores y condiciones del tendido sea preciso prever un importante proceso de fluencia durante la vida de los conductores, será preciso tenerlo en cuenta en el cálculo de las flechas, justificando los datos que sirvan de base para el planteamiento de los cálculos correspondientes.

### 3.3 Herrajes

Los herrajes sometidos a tensión mecánica por los conductores y cables de tierra o por los aisladores, deberán tener un coeficiente de seguridad mecánica no inferior a 3 respecto a su carga mínima de rotura. Cuando la carga mínima de rotura se comprobare sistemáticamente mediante ensayos, el coeficiente de seguridad podrá reducirse a 2,5.

Dicha carga de rotura mínima será aquella cuya probabilidad de que aparezcan cargas de rotura menores es inferior al 2%. La carga de rotura mínima puede estimarse como el valor medio de la distribución de las cargas de rotura menos 2,06 veces la desviación típica.

Las grapas de amarre del conductor deben soportar una tensión mecánica en el amarre igual o superior al 95% de la carga de rotura del mismo, sin que se produzca su deslizamiento.

En el caso de herrajes especiales, como los que pueden emplearse para limitar los esfuerzos transmitidos a los apoyos, deberán justificarse plenamente sus características, así como la permanencia de las mismas.

### 3.4 Aisladores

El criterio de fallo será la rotura o pérdida de sus cualidades aislantes, al ser sometidos simultáneamente a tensión eléctrica y sollicitación mecánica del tipo al que realmente vayan a encontrarse sometidos.

La característica resistente básica de los aisladores será la carga electromecánica mínima garantizada, cuya probabilidad de que aparezcan casos menores es inferior al 2%, valor medio de la distribución menos 2,06 veces la desviación típica.

La resistencia mecánica correspondiente a una cadena múltiple, puede tomarse igual al producto del número de cadenas que la formen por la resistencia de cada cadena simple, siempre que, tanto en estado normal como con alguna cadena rota, la carga se reparta por igual entre todas las cadenas intactas.

El coeficiente de seguridad mecánica no será inferior a 3.

Si la carga de rotura electromecánica mínima garantizada se obtuviese mediante control estadístico en la recepción, el coeficiente de seguridad podrá reducirse a 2,5.

### 3.5 Apoyos

#### 3.5.1 Criterios de agotamiento

El cálculo de la resistencia mecánica y estabilidad de los apoyos, cualquiera que sea su naturaleza y la de los elementos de que estén constituidos, se efectuará suponiendo aquellos sometidos a los esfuerzos que se fijan en los párrafos siguientes y con los coeficientes de seguridad señalados para cada caso en el apartado 3.5.4.

Los criterios de agotamiento, a considerar en el cálculo mecánico de los apoyos, serán según los casos:

- Rotura (descohesión).
- Fluencia (deformaciones permanentes).
- Inestabilidad (pandeo o inestabilidad general).
- Resiliencia (resistencia a bajas temperaturas)

#### 3.5.2 Características resistentes de los diferentes materiales

La característica básica de los materiales será la carga de rotura o el límite de fluencia, según los casos, con su valor mínimo garantizado.

Para la madera, en el caso de no disponer de sus características exactas, puede adoptarse como base del cálculo una carga de rotura de 500 daN/cm<sup>2</sup>, para las coníferas, y de 400 daN/cm<sup>2</sup>, para el castaño debiendo tenerse presente la reducción con el tiempo de la sección de la madera en el empotramiento.

El límite de fluencia de los aceros se considerará igual al límite elástico convencional.

Los perfiles utilizados serán de acero cuyo límite elástico sea igual o superior a 275 N/mm<sup>2</sup>, según norma UNE-EN 10025.

Para el cálculo de los elementos metálicos de los apoyos, el proyectista podrá emplear cualquier método sancionado por la técnica, siempre que cuente con una amplia experiencia de su aplicación, confirmada además por ensayos.

La esbeltez máxima permitida será:

- Montantes: 150
- Celosías: 200
- Rellenos: 250

En las uniones de los elementos metálicos, los límites de agotamiento de los elementos de las uniones serán los siguientes, expresados en función del límite de fluencia del material:

- Tornillos calibrados a cortadura 1,0
- Perfiles al aplastamiento con tornillos calibrados 2,5
- Tornillos a tracción 0,8

La calidad mínima de los tornillos será calidad 5.6 según las normas UNE-EN ISO 898-1 y UNE-EN 20.898-2, de 300 N/mm<sup>2</sup> de límite de fluencia.

En las uniones por soldadura, se adoptará como límite de agotamiento del material que las constituye el establecido para cada tipo de soldadura en la correspondiente norma UNE 14035, "Cálculo de los cordones de soldadura solicitados por cargas estáticas".

### 3.5.3 Hipótesis de cálculo

Las diferentes hipótesis que se tendrán en cuenta en el cálculo de los apoyos serán las que se especifican en las tablas adjuntas, 5, 6, 7 y 8 según el tipo de apoyo.

En el caso de los apoyos especiales, se considerarán las distintas acciones definidas en el apartado 3.1, que pueden corresponderles de acuerdo con su función, combinadas en unas hipótesis definidas con los mismos criterios utilizados en las hipótesis de los apoyos normales.

En las líneas de tensión nominal hasta 66 kV, en los apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de aislamiento de suspensión y amarre con conductores de carga mínima de rotura inferior a 6600 daN, se puede prescindir de la consideración de la cuarta hipótesis, cuando en la línea se verifiquen simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Que los conductores y cables de tierra tengan un coeficiente de seguridad de 3 como mínimo.
- b) Que el coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en la hipótesis tercera sea el correspondiente a las hipótesis normales.
- c) Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 kilómetros como máximo.

Tabla 5. Apoyos de líneas situadas en zona A (I)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.ª HIPÓTESIS (Viento)	3.ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
Suspensión de Alineación o Suspensión de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)		ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)
	L	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo 3.1.4.1)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.1)
Amarre de Alineación o Amarre de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)		ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)
	L	No aplica	Desequilibrio de tracciones (apdo 3.1.4.2)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.2)

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerarán sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -5 °C.

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo longitudinal

T = Esfuerzo transversal



Tabla 6. Apoyos de líneas situadas en zona A (II)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.ª HIPÓTESIS (Viento)	3.ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
Anclaje de Alineación o Anclaje de Angulo	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)		ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)
	L	No aplica	Desequilibrio de tracciones (apartado 3.1.4.3)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.3.)
Fin de línea	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo.	No aplica	No aplica
	L	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).		Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.4)

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerarán sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -5 °C.

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo longitudinal

T = Esfuerzo transversal

Tabla 7. Apoyos de líneas situadas en zonas B y C (I)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.ª HIPÓTESIS (Viento)		2.ª HIPÓTESIS (Hielo+Viento)		3.ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
		(Hielo)	(Hielo+Viento)				
Suspensión de Alineación o Suspensión de Angulo	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.3) y a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2)	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de viento, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.).	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)		
Amarre de Alineación o Amarre de Angulo	L	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.1)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.1.)
	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.2)	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de viento, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).		
Amarre de Alineación o Amarre de Angulo	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.).	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)		
	L	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.2)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.2.)

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerará:

**1.ª Hipótesis:** Sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -10 °C en zona B y -15 °C en zona C.  
**Resto hipótesis:** Sometidos a una sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a la temperatura de -15 °C en zona B y -20 °C en zona C. En las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2). La 2ª Hipótesis (Hielo+Viento) será de aplicación exclusiva para las líneas de categoría especial.

Tabla 8. Apoyos de líneas situadas en zonas B y C (II)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.º HIPÓTESIS (Viento)		2.º HIPÓTESIS (Hielo+Viento)		3.º HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.º HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
		(Hielo)	(Hielo+Viento)				
Anclaje de Alineación o Anclaje de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.).	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)		
Fin de línea	L	No aplica.	No aplica.	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.3)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.3.)	
	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2)	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo.	No aplica.	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo.	No aplica.	No aplica.	
	L	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.4.)	

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerará:

**1.º Hipótesis:** Sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -10 °C en zona B y -15 °C en zona C.  
**Resto hipótesis:** Sometidos a una sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a la temperatura de -15 °C en zona B y -20 °C en zona C. En las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2). La 2º Hipótesis (Hielo+Viento) será de aplicación exclusiva para las líneas de categoría especial.

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo longitudinal

T = Esfuerzo transversal

### 3.5.4 Coeficientes de Seguridad

Los coeficientes de seguridad de los apoyos serán diferentes según el carácter de la hipótesis de cálculo a que han de ser aplicados. En este sentido, las hipótesis se clasifican de acuerdo con la tabla siguiente.

**Tabla 9. Hipótesis de cálculo según el tipo de apoyo**

Tipo de apoyo	Hipótesis normales	Hipótesis anormales
Alineación	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup>
Angulo	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup>
Anclaje	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup>
Fin de línea	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>

Elementos metálicos.—El coeficiente de seguridad respecto al límite de fluencia no será inferior a 1,5 para las hipótesis normales y 1,2 para las hipótesis anormales.

Cuando la resistencia mecánica de los apoyos completos se comprobare mediante ensayo en verdadera magnitud, los anteriores valores podrán reducirse a 1,45 y 1,15, respectivamente.

Elementos de hormigón armado.—El coeficiente de seguridad a la rotura de los apoyos y elementos de hormigón armado en las hipótesis normales de carga (1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup>) corresponderá a lo establecido en la norma UNE 207016.

Para las hipótesis anormales (3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>) dicho coeficiente de seguridad podrá reducirse en un 20%.

Elementos de madera.—Los coeficientes de seguridad a la rotura no serán inferiores a 3,5 para las hipótesis normales y 2,8 para las anormales.

Tirantes o vientos.—Los cables o varillas utilizados en los vientos, tendrán un coeficiente de seguridad a la rotura no inferior a 3 en las hipótesis normales y a 2,5 en las anormales.

## 3.6 Cimentaciones

### 3.6.1 Características generales

Si las cimentaciones están formadas por macizos independientes para cada pata (cimentaciones de patas separadas), deberán ser diseñadas para absorber las cargas de compresión y arranque que el apoyo transmite al suelo. El cálculo de dichas cargas estará basado en el método del talud natural o ángulo de arrastre de tierras. También deberá ser comprobada la adherencia entre el anclaje y la cimentación de cada pata del apoyo.

En las cimentaciones de apoyos cuya estabilidad esté fundamentalmente confiada a las reacciones verticales del terreno, se comprobará el coeficiente de seguridad al vuelco, que es la relación entre el momento estabilizador mínimo (debido a los pesos propios, así como las reacciones y empujes pasivos del terreno), respecto a la arista más cargada de la cimentación y el momento volcador máximo motivado por las acciones externas.

El coeficiente de seguridad no será inferior a los siguientes valores:

Hipótesis normales:	1,5
Hipótesis anormales:	1,20

En las cimentaciones de apoyos cuya estabilidad esté fundamentalmente confiada a las reacciones horizontales del terreno, no se admitirá un ángulo de giro de la cimentación cuya tangente sea superior a 0,01 para alcanzar el equilibrio de las acciones volcadoras máximas con las reacciones del terreno.

En el caso de que surgiese roca superficialmente o a muy poca profundidad la cimentación; se podrá realizar uniendo el apoyo a la roca mediante pernos anclados a la misma (cimentación en roca). Del mismo modo, en aquellos casos en los que mediante los medios mecánicos habituales no se pueda realizar la cimentación hasta la profundidad necesaria y, por consiguiente, sea preciso reforzarla, se realizará dicho refuerzo uniendo el cimienta a la roca mediante pernos anclados a la misma (cimentación mixta).

### 3.6.2 Comprobación al arranque

Se considerarán todas las fuerzas que se oponen al arranque del apoyo:

- Peso del apoyo.
- Peso propio de la cimentación.
- Peso de las tierras que arrastraría el macizo de hormigón al ser arrancado.
- Carga resistente de los pernos, en el caso de realizarse cimentaciones mixtas o en roca.

Se comprobará que el coeficiente de estabilidad de la cimentación, definido como la relación entre las fuerzas que se oponen al arranque del apoyo y la carga nominal de arranque, no sea inferior a 1,5 para las hipótesis normales y 1,2 para las hipótesis anormales.

En el caso de no disponer de las características reales del terreno mediante ensayos realizados en el emplazamiento de la línea, se recomienda utilizar como ángulo de talud natural o de arranque de tierras: 30° para terreno normal y 20° para terreno flojo.

### 3.6.3 Comprobación a compresión

Se considerarán todas las cargas de compresión que la cimentación transmite al terreno:

- a) Peso del apoyo.
- b) Peso propio de la cimentación.
- c) Peso de las tierras que actúan sobre la solera de la cimentación.
- d) Carga de compresión ejercida por el apoyo.

Se comprobará que todas las cargas de compresión anteriores, divididas por la superficie de la solera de la cimentación, no sobrepasa la carga admisible del terreno.

En el caso de no disponer de las características reales del terreno mediante ensayos realizados en el emplazamiento de la línea se recomienda considerar como carga admisible para terreno normal 3 daN/cm<sup>2</sup> y para terreno flojo 2 daN/cm<sup>2</sup>. En el caso de cimentaciones mixtas o en roca se recomienda utilizar como carga admisible para la roca 10 daN/cm<sup>2</sup>.

### 3.6.4 Comprobación de la adherencia entre anclaje y cimentación

De la carga mayor que transmite el anclaje a la cimentación, normalmente la carga de compresión, cuando el anclaje y la unión a la estructura estén embebidas en el hormigón, se considerará que la mitad de esta carga la absorbe la adherencia entre el anclaje y la cimentación y la otra mitad los casquillos del anclaje por la cortadura de los tornillos de unión entre casquillos y anclaje. Los coeficientes de seguridad de ambas cargas opuestas a que el anclaje deslice de la cimentación, no deberán ser inferiores a 1,5.

### 3.6.5 Posibilidad de aplicación de otros valores del terreno

Cuando el desarrollo en la aplicación de las teorías de la mecánica del suelo lo consienta, el proyectista podrá proponer valores diferentes de los mencionados en los anteriores apartados, haciendo intervenir las características reales del terreno, pero limitando las deformaciones de los macizos de cimentación a valores admisibles para las estructuras sustentadas.

En el caso de no disponer de dichas características, se podrán utilizar los valores que se indican en el cuadro adjunto.

**Tabla 10. Características orientativas del terreno para el cálculo de cimentaciones**

Naturaleza del terreno	Peso específico aparente Tn/m <sup>3</sup>	Ángulo de talud natural Grados sexag.	Carga admisible daN/cm <sup>2</sup>	Coefficiente de rozamiento entre cemento y terreno al arranque Grados sexag.	Coefficiente de compresibilidad a 2 m de profundidad daN/cm <sup>3</sup> (b)
I. Rocas en buen estado: Isótropas			30-60		
Estratificadas (con algunas grietas)			10-20		
II. Terrenos no coherentes: a) Gravera arenosa (mínimo 1/3 de volumen de grava hasta 70 mm de tamaño)	1,80-1,90		4-8	20°-22°	
b) Arenoso grueso (con diámetros de partículas entre 2 mm y 0,2 mm)	1,60-1,80	30°	2-4	20°-25°	8-20
c) Arenoso fino (con diámetros de partículas entre 2 mm y 0,2 mm)	1,50-1,60		1,5-3		
III. Terrenos no coherentes sueltos: a) Gravera arenosa	1,70-1,80		3-5		
b) Arenoso grueso	1,60-1,70	30°	2-3		
c) Arenoso fino	1,40-1,50		1-1,5		8-12
IV. Terrenos coherentes (a): a) Arcilloso duro	1,80		4	20°-25°	10
b) Arcilloso semiduro	1,80	20°	2	22°	6-8
c) Arcilloso blando	1,50-2,00		1	14°-16°	4-5
d) Arcilloso fluido	1,60-1,70		-	0°	2-3
V. Fangos turbosos y terrenos pantanosos en general	0,60-1,1		(c)		(c)
VI. Terrenos de relleno sin consolidar	1,40-1,60	30°-40°	(c)	14°-20°	(c)

- (a) Duro: Los terrenos con su humedad natural rompen difícilmente con la mano. Tonalidad en general clara.  
Semiduro: Los terrenos con su humedad natural se amasan difícilmente con la mano. Tonalidad en general oscura.  
Blando: Los terrenos con su humedad natural se amasan fácilmente, permitiendo obtener entre las manos cilindros de 3 mm de diámetro. Tonalidad oscura.  
Fluido: Los terrenos con su humedad natural presionados en la mano cerrada fluyen entre los dedos. Tonalidad en general oscura.
- (b) Puede admitirse que sea proporcional a la profundidad en que se considere la acción.
- (c) Se determinará experimentalmente.

### 3.6.6 Apoyos sin cimentación

En los apoyos de madera u hormigón que no precisen cimentación, la profundidad de empotramiento en el suelo será como mínimo de 1,3 metros para los apoyos de menos de 8 metros de altura, aumentando 0,10 metros por cada metro de exceso en la longitud del apoyo.

Cuando los apoyos de madera y hormigón necesiten cimentación, la resistencia de ésta no será inferior a la del apoyo que soporta.

En terrenos de poca consistencia, se rodeará el poste de un prisma de pedraplén.

## 4 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

### 4.1 Régimen eléctrico de funcionamiento

Se realizarán los cálculos eléctricos de la línea para los distintos regímenes de funcionamiento previstos, poniéndose claramente de manifiesto los parámetros eléctricos de la línea, las intensidades máximas, caídas de tensión y pérdidas de potencia.

### 4.2 Capacidad de la corriente en los conductores

Se adoptará el sistema de cálculo conveniente entre los expuestos y se seguirán los condicionamientos exigidos para el mejor funcionamiento de la línea

#### 4.2.1 Densidad admisible

Las densidades de corriente máximas en régimen permanente no sobrepasarán los valores señalados en la tabla 11.

**Tabla 11. Densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente**

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Densidad de corriente A/mm <sup>2</sup>		
	Cobre	Aluminio	Aleación de aluminio
10	8,75		
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

Los valores de la tabla anterior se refieren a materiales cuyas resistividades a 20 °C son las siguientes: Cobre 0,017241 Ω.mm<sup>2</sup>/m, Aluminio duro 0,028264 Ω.mm<sup>2</sup>/m, Aleación de aluminio 0,03250 Ω.mm<sup>2</sup>/m. Para el acero galvanizado se puede considerar una resistividad de 0,192 Ω.mm<sup>2</sup>/m y, para el acero recubierto de aluminio, de 0,0848 Ω.mm<sup>2</sup>/m.

Para cables de aluminio-acero se tomará en la tabla el valor de la densidad de corriente correspondiente a su sección total como si fuera de aluminio y su valor se multiplicará por un coeficiente de reducción que según la composición será: 0,916 para la composición 30+7; 0,937 para las composiciones 6+1 y 26+7; 0,95 para la composición 54+7; y 0,97 para la composición 45+7. El valor resultante se aplicará para la sección total del conductor.

Para los cables de aleación de aluminio-acero se procederá de forma análoga partiendo de la densidad de corriente correspondiente a la aleación de aluminio, empleándose los mismos coeficientes de reducción en función de la composición.

Para conductores de otra naturaleza, la densidad máxima admisible se obtendrá multiplicando la fijada en la tabla para la misma sección de cobre por un coeficiente igual a:

$$\sqrt{\frac{1,724}{\rho}}$$

siendo  $\rho$  la resistividad a 20 °C del conductor de que se trata, expresada en microohmios · centímetro.

NOTA: Se permitirán otros valores de densidad de corriente siempre que correspondan con valores actualizados publicados en las normas EN y CEI aplicables.

#### 4.2.2 Intensidades de los conductores

Se admitirán como alternativa de cálculo, en el caso de realizarse en el proyecto el estudio de la temperatura alcanzada por los conductores, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de la carga de la línea, valores diferentes a los obtenidos mediante la opción indicada en el apartado 4.2.1.

##### 4.2.2.1 Intensidad máxima admisible

Se realizará, mediante un sistema de cálculo contrastado y conforme a la normativa vigente, el estudio de la intensidad máxima admisible que puede circular por los conductores de la línea. Este estudio se documentará en el proyecto, indicándose, si procede, las condiciones climatológicas consideradas en los cálculos y en el diseño.

La sección de los conductores de fase deberá ser elegida de forma tal, que no se exceda la temperatura máxima para la que se ha calculado el material del conductor, bajo unas condiciones específicas definidas en las especificaciones del proyecto.

#### 4.2.2.2 Intensidad de cortocircuito

La línea aérea deberá ser diseñada y construida, para resistir sin dañarse los efectos mecánicos y térmicos, debidos a las intensidades de cortocircuito recogidas en las especificaciones del proyecto.

El cortocircuito puede ser:

- 1) trifásico
- 2) fase a fase
- 3) fase simple a tierra
- 4) fase doble a tierra

Los valores típicos para la duración de un cortocircuito, a tener en cuenta para el diseño son:

- a) conductores de fase y cables de tierra 0,5 s
- b) herrajes y accesorios de línea 1,0 s

El proyectista deberá tener en cuenta la duración real, la cual depende del tiempo de respuesta del sistema de protección de la línea aérea, que puede ser más larga o corta que los valores típicos anteriormente indicados.

Los métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito en las redes trifásicas de corriente alterna se dan en la norma UNE-EN 60909 y los métodos de cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito son dados en la norma UNE-EN 60865-1. Alternativamente, se pueden recoger otros métodos de cálculo en las especificaciones del proyecto.

### 4.3 Efecto corona y perturbaciones radioeléctricas

Será preceptiva la comprobación del comportamiento de los conductores al efecto corona en las líneas de tensión nominal superior a 66 kV. Asimismo, en aquellas líneas de tensión nominal entre 30 kV y 66 kV, ambas inclusive, que puedan estar próximas al límite inferior de dicho efecto, deberá realizarse la citada comprobación.

El proyectista justificará, con arreglo a los conocimientos de la técnica, los límites de los valores de la intensidad del campo en conductores, así como en sus accesorios, herrajes y aisladores que puedan ser admitidos en función de la densidad y proximidad de los servicios que puedan ser perturbados en la zona atravesada por la línea.

### 4.4 Coordinación de aislamiento

La coordinación de aislamiento comprende la selección de la rigidez dieléctrica de los materiales, en función de las tensiones que pueden aparecer en la red a la cual estos materiales están destinados y teniendo en cuenta las condiciones ambientales y las características de los dispositivos de protección disponibles.

La rigidez dieléctrica de los materiales se considera aquí en el sentido de nivel de aislamiento normalizado.

Los principios y reglas de la coordinación de aislamiento son descritos en las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2. El procedimiento para la coordinación de aislamiento consiste en la selección de un conjunto de tensiones soportadas normalizadas, las cuales caracterizan el nivel aislamiento.

Los niveles de aislamiento normalizados mínimos correspondientes a la tensión más elevada de la línea, tal como ésta ha sido definida en el apartado 1.2 de esta instrucción, serán los reflejados en las tablas 12 y 13.

Estas tablas especifican las tensiones soportadas normalizadas  $U_w$  para las gamas I y II. En ambas tablas, las tensiones soportadas normalizadas están agrupadas en niveles de aislamiento normalizados asociados a los valores de la tensión más elevada del material  $U_m$ .

En la gama I, las tensiones soportadas normalizadas incluyen la tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial y la tensión soportada a impulso tipo rayo. En la gama II, las tensiones soportadas normalizadas incluyen la tensión soportada a impulso tipo maniobra y la tensión soportada a impulso tipo rayo.

Para otros valores de la tensión más elevada que no coincidan con los reflejados en la tabla se seguirá lo indicado en las Normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2.

En el caso de proyectarse líneas a una tensión superior a las incluidas en esta tabla, para la fijación de los niveles de aislamiento se deberá seguir lo indicado en las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2.

La tensión permanente a frecuencia industrial y las sobretensiones temporales determinan la longitud mínima necesaria de la cadena de aisladores. La forma de los aisladores se seleccionará en función del grado de polución en la zona por donde discurre la línea.

En redes con neutro puesto directamente a tierra, con factores de defecto a tierra de 1,3 y menores, es normalmente suficiente diseñar los aisladores para que resistan la tensión fase a tierra más elevada de la red. Para coeficientes de falta a tierra más altos, y especialmente en redes con neutro aislado o puestos a tierra mediante bobina de compensación, puede ser necesario considerar las sobretensiones temporales.

La tensión soportada de coordinación para las tensiones permanentes a frecuencia industrial es igual a la tensión más elevada de la red para aislamiento entre fases e igual a esa misma tensión dividida por  $\sqrt{3}$  para el aislamiento fase a tierra.

La tensión soportada de coordinación de corta duración a frecuencia industrial es igual a la sobretensión temporal representativa, siempre que se utilice un método determinista para el estudio de coordinación de aislamiento según norma UNE-EN 60071-2.

La tensión soportada especificada  $U_{nw}$  se determinará a partir de la tensión soportada de coordinación, teniendo en cuenta un factor de corrección asociado con las condiciones atmosféricas de la instalación según se indica en la norma UNE-EN 50341-1.

**Tabla 12. Niveles de aislamiento normalizados para la gama I  
(1 kV < U<sub>m</sub> ≤ 245 kV)**

Tensión más elevada para el material U <sub>m</sub> kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (valor de cresta)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

NOTA: Si los valores entre paréntesis son insuficientes para probar que las tensiones soportadas especificadas entre fases se cumplen, se requieren ensayos complementarios de tensiones soportadas entre fases.

**Tabla 13. Niveles de aislamiento normalizados para la gama II  
(U<sub>m</sub> > 245 kV)**

Tensión más elevada para el material U <sub>m</sub> kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo maniobra			Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo (NOTA 2) KV (valor de cresta)
	Aislamiento longitudinal (nota 1) kV (valor de cresta)	Fase-tierra kV (valor de cresta)	Entre fases (relación al valor de cresta fase-tierra)	
420	850	850	1,60	1 050 1 175
	950	950	1,50	1 175 1 300
	950	1 050	1,50	1 300 1 425

Nota 1: Valor de la componente de impulso del ensayo combinado aplicable mientras que la componente de frecuencia industrial en el borne opuesto alcanza el valor U<sub>m</sub> √2/√3.

Nota 2: Para los ensayos del aislamiento longitudinal con impulsos tipo rayo sígase lo indicado en la UNE-EN 60071-1.



Cuando el aislador está en un ambiente contaminado, la respuesta del aislamiento externo a tensiones a frecuencia industrial puede variar de forma importante. Los aisladores deberán resistir la tensión más elevada de la red con unas condiciones de polución permanentes con un riesgo aceptable de descargas. Por tanto, la selección del tipo de aislador y la longitud de la cadena de aisladores debe realizarse teniendo en cuenta el nivel de contaminación de la zona que atraviesa la línea.

El nivel de contaminación de la zona se elegirá de acuerdo a la tabla 14, donde se especifican cuatro niveles. Para cada nivel de contaminación se da una descripción aproximada de algunas zonas con sus medio ambientes típicos correspondientes y la línea de fuga mínima requerida.

**Tabla 14. Líneas de fuga recomendadas**

Nivel de contaminación	Ejemplos de entornos típicos	Línea de fuga específica nominal mínima mm/kV <sup>1)</sup>
I Ligero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas sin industrias y con baja densidad de viviendas equipadas con calefacción.</li> <li>- Zonas con baja densidad de industrias o viviendas, pero sometidas a viento o lluvias frecuentes.</li> <li>- Zonas agrícolas <sup>2</sup></li> <li>- Zonas montañosas</li> <li>- Todas estas zonas están situadas al menos de 10 km a 20 km del mar y no están expuestas a vientos directos desde el mar <sup>3</sup></li> </ul>	16,0
II Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zona con industrias que no producen humo especialmente contaminante y/o con densidad media de viviendas equipadas con calefacción.</li> <li>- Zonas con elevada densidad de viviendas y/o industrias pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvia.</li> <li>- Zonas expuestas a vientos desde el mar, pero no muy próximas a la costa (al menos distantes bastantes kilómetros)<sup>3</sup>.</li> </ul>	20,0
III Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas con elevada densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con elevada densidad de calefacción generando contaminación.</li> <li>- Zonas cercanas al mar o en cualquier caso, expuestas a vientos relativamente fuertes provenientes del mar 3).</li> </ul>	25,0
IV Muy fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas, generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y a humo industrial que produce depósitos conductores particularmente espesos.</li> <li>- Zonas, generalmente de extensión moderada, muy próximas a la costa y expuestas a pulverización salina o a vientos muy fuertes y contaminados desde el mar.</li> <li>- Zonas desérticas, caracterizadas por no tener lluvia durante largos periodos, expuestas a fuertes vientos que transportan arena y sal, y sometidas a condensación regular.</li> </ul>	31,0

<sup>1</sup> Línea de fuga mínima de aisladores entre fase y tierra relativas a la tensión más elevada de la red (fase-fase).  
<sup>2</sup> Empleo de fertilizantes por aspiración o quemado de residuos, puede dar lugar a un mayor nivel de contaminación por dispersión en el viento.  
<sup>3</sup> Las distancias desde la costa marina dependen de la topografía costera y de las extremas condiciones del viento.

## 5. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD. CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS

### 5.1 Introducción

En las líneas aéreas es necesario distinguir entre distancias internas y externas.

Las distancias internas son dadas únicamente para diseñar una línea con una aceptable capacidad de resistir las sobretensiones.

Las distancias externas son utilizadas para determinar las distancias de seguridad entre los conductores en tensión y los objetos debajo o en las proximidades de la línea.

El objetivo de las distancias externas es evitar el daño de las descargas eléctricas al público en general, a las personas que trabajan en las cercanías de la línea eléctrica y a las personas que trabajan en su mantenimiento.

Las distancias dadas en los siguientes apartados no son aplicables cuando se realicen trabajos de mantenimiento de la línea aérea, con métodos de trabajo en tensión, para los cuales se deberán aplicar el R.D. 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

Las distancias se refieren a las líneas de transmisión que usan conductores desnudos. Las líneas que usan conductores aislados, con una capa de aislamiento sólido alrededor del mismo para prevenir un fallo causado por un contacto temporal con un objeto puesto a tierra o un contacto temporal entre conductores de fase, se tratan en la ITC-LAT 08.

Cuando no se especifique que la distancia es "horizontal" o "vertical", será tomada la menor distancia entre las partes con tensión y el objeto considerado, teniéndose en cuenta en el caso de carga con viento la desviación de los conductores y de la cadena de aisladores.

## 5.2 Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas

Se consideran tres tipos de distancias eléctricas:

$D_{el}$  Distancia de aislamiento en el aire mínima especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase y objetos a potencial de tierra en sobretensiones de frente lento o rápido.  $D_{el}$  puede ser tanto interna, cuando se consideran distancias del conductor a la estructura de la torre, como externas, cuando se considera una distancia del conductor a un obstáculo.

$D_{pp}$  Distancia de aislamiento en el aire mínima especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido.  $D_{pp}$  es una distancia interna.

$a_{som}$  Valor mínimo de la distancia de descarga de la cadena de aisladores, definida como la distancia más corta en línea recta entre las partes en tensión y las partes puestas a tierra.

Se aplicarán las siguientes consideraciones para determinar las distancias internas y externas:

a) La distancia eléctrica,  $D_{elr}$ , previene descargas eléctricas entre las partes en tensión y objetos a potencial de tierra, en condiciones de explotación normal de la red. Las condiciones normales incluyen operaciones de enganche, aparición de rayos y sobretensiones resultantes de faltas en la red.

b) La distancia eléctrica,  $D_{ppr}$ , previene las descargas eléctricas entre fases durante maniobras y sobretensiones de rayos.

c) Es necesario añadir a la distancia externa,  $D_{el}$ , una distancia de aislamiento adicional,  $D_{add}$ , para que en las distancias mínimas de seguridad al suelo, a líneas eléctricas, a zonas de arbolado, etc. se asegure que las personas u objetos no se acerquen a una distancia menor que  $D_{el}$  de la línea eléctrica.

d) La probabilidad de descarga a través de la mínima distancia interna,  $a_{som}$ , debe ser siempre mayor que la descarga a través de algún objeto externo o persona. Así, para cadenas de aisladores muy largas, el riesgo de descarga debe ser mayor sobre la distancia interna  $a_{som}$  que a objetos externos o personas. Por este motivo, las distancias externas mínimas de seguridad ( $D_{add} + D_{el}$ ) deben ser siempre superiores a 1,1 veces  $a_{som}$ .

Los valores de  $D_{el}$  y  $D_{ppr}$ , en función de la tensión más elevada de la línea  $U_s$ , serán los indicados en la tabla 15.

**Tabla 15. Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas**

Tensión más elevada de la red $U_s$ (kV)	$D_{el}$ (m)	$D_{pp}$ (m)
3,6	0,08	0,10
7,2	0,09	0,10
12	0,12	0,15
17,5	0,16	0,20
24	0,22	0,25
30	0,27	0,33
36	0,35	0,40
52	0,60	0,70
72,5	0,70	0,80
123	1,00	1,15
145	1,20	1,40
170	1,30	1,50
245	1,70	2,00
420	2,80	3,20

Los valores dados en la tabla están basados en un análisis de los valores usados comúnmente en Europa, los cuales han sido probados que son lo suficientemente seguros para el público en general.

## 5.3 Prescripciones especiales

En ciertas situaciones, como cruzamientos y paralelismos con otras líneas o con vías de comunicación o sobre zonas urbanas, y con objeto de reducir la probabilidad de accidente aumentando la seguridad de la línea, además de las consideraciones generales anteriores, deberán cumplirse las prescripciones especiales que se detallan en el presente apartado.

No será necesario adoptar disposiciones especiales en los cruces y paralelismos con cursos de agua no navegables, caminos de herradura, sendas, veredas, cañadas y cercados no edificados, salvo que estos últimos puedan exigir un aumento en la altura de los conductores.

En aquellos tramos de línea en que, debido a sus características especiales y de acuerdo con lo que más adelante se indica, haya que reforzar sus condiciones de seguridad, no será necesario el empleo de apoyos distintos de los que

corresponda establecer por su situación en la línea (alineación, ángulo, anclaje, etc.), ni la limitación de longitud en los vanos, que podrá ser la adecuada con arreglo al perfil del terreno y a la altura de los apoyos.

Por el contrario, en dichos tramos serán de aplicación las siguientes prescripciones especiales:

a) Ningún conductor o cable de tierra tendrá una carga de rotura inferior a 1.200 daN en líneas de tensión nominal superior a 30 kV, ni inferior a 1.000 daN en líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV. En estas últimas, y en el caso de no alcanzarse dicha carga, se pueden añadir al conductor un cable fiador de naturaleza apropiada, con una carga de rotura no inferior a los anteriores valores. Los conductores y cables de tierra no presentarán ningún empalme en el vano de cruce, admitiéndose durante la explotación y por causa de la reparación de averías, la existencia de un empalme por vano.

b) Se prohíbe la utilización de apoyos de madera.

c) Los coeficientes de seguridad de cimentaciones, apoyos y crucetas, en el caso de hipótesis normales, deberán ser un 25% superiores a los establecidos para la línea en los apartados 3.5 y 3.6. Esta prescripción no se aplica a las líneas de categoría especial, ya que la resistencia mecánica de los apoyos se determina considerando una velocidad mínima de viento de 140 km/h y una hipótesis con cargas combinadas de hielo y viento.

d) La fijación de los conductores al apoyo deberá ser realizada de la forma siguiente:

d.1 En el caso de líneas sobre aislador rígido se colocarán dos aisladores por conductor, dispuestos en forma transversal al eje del mismo, de modo que sobre uno de ellos apoye el conductor y sobre el otro un puente que se extienda en ambas direcciones, y de una longitud suficientes para que en caso de formarse el arco a tierra sea dentro de la zona del mismo. El puente se fijará en ambos extremos al conductor mediante retenciones o piezas de conexión que aseguren una unión eficaz y, asimismo, las retenciones del conductor y del puente a sus respectivos aisladores serán de diseño apropiado para garantizar una carga de deslizamiento elevada.

d.2 En el caso de líneas con aisladores de cadena, la fijación podrá ser efectuada de una de las formas siguientes:

a) Con dos cadenas horizontales de amarre por conductor, una a cada lado del apoyo.

b) Con una cadena sencilla de suspensión, en la que los coeficientes de seguridad mecánica de herrajes y aisladores sean un 25% superiores a los establecidos en los apartados 3.3 y 3.4, o con una cadena de suspensión doble. En estos casos deberá adoptarse alguna de las siguientes disposiciones:

b.1 Refuerzo del conductor con varillas de protección (armor rod).

b.2 Descargadores o anillos de guarda que eviten la formación directa de arcos de contorneamiento sobre el conductor.

b.3 Varilla o cables fiadores de acero a ambos lados de la cadena, situados por encima del conductor y de longitud suficiente para que quede protegido en la zona de formación del arco. La unión de los fiadores al conductor se hará por medio de grapas antideslizantes.

Para el pintado de color verde en los apoyos de las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica de alta tensión, o cualquier otro pintado que sirva de mimetización con el paisaje, el titular de la instalación deberá contar con la aceptación de los Organismos competentes en materia de misiones de aeronaves en vuelos a baja cota con fines humanitarios y de protección de la naturaleza.

#### 5.4 Distancias en el apoyo

Las distancias mínimas de seguridad en el apoyo son distancias internas utilizadas únicamente para diseñar una línea con una aceptable capacidad de resistir las sobretensiones.

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

##### 5.4.1 Distancias entre conductores

La distancia entre los conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos debe ser tal que no haya riesgo alguno de cortocircuito entre fases, teniendo presente los efectos de las oscilaciones de los conductores debidas al viento y al desprendimiento de la nieve acumulada sobre ellos.

Con este objeto, la separación mínima entre conductores de fase se determinará por la fórmula siguiente:

$$D = K\sqrt{F + L} + K' D_{pp}$$

en la cual:

D = Separación entre conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos en metros.

K = Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, que se tomará de la tabla 16.

K' = Coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea K'=0,85 para líneas de categoría especial y K'=0,75 para el resto de líneas.

F = Flecha máxima en metros, para las hipótesis según el apartado 3.2.3

L = Longitud en metros de la cadena de suspensión. En el caso de conductores fijados al apoyo por cadenas de amarre o aisladores rígidos L=0.

D<sub>pp</sub> = Distancia mínima aérea especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido. Los valores de D<sub>pp</sub> se indican en el apartado 5.2, en función de la tensión más elevada de la línea.

Los valores de las tangentes del ángulo de oscilación de los conductores vienen dados, para cada caso de carga, por el cociente de la sobrecarga de viento dividida por el peso propio más la sobrecarga de hielo si procede según zona, por metro lineal de conductor, estando la primera determinada para una velocidad de viento de 120 km/h. En función de estos y de la tensión nominal de la línea se establecen unos coeficientes K que se dan en la tabla 16.

**Tabla 16. Coeficiente K en función del ángulo de oscilación**

Angulo de oscilación	Valores de K	
	Líneas de tensión nominal superior a 30 kV	Líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV
Superior a 65°	0,7	0,65
Comprendido entre 40° y 65°	0,65	0,6
Inferior a 40°	0,6	0,55

Esta distancia mínima no se aplicará al caso de distancia entre los conductores del haz.

En el caso de conductores dispuestos en vertical, triángulo o hexágono, y siempre que se adopten separaciones menores de las deducidas de la fórmula anterior, deberán justificarse debidamente los valores utilizados. En el caso de conductores dispuestos en vertical, triángulo o hexágono, se podrán adoptar separaciones menores de las deducidas de la fórmula anterior, siempre que se justifiquen debidamente los valores utilizados y se adopten medidas preventivas para prevenir los fenómenos de galope. Cuando se cumplan las condiciones anteriores se podrá adoptar un coeficiente  $K=0$  y un coeficiente  $K'=1$ . Entre las medidas preventivas para evitar los fenómenos de galope de conductores se encuentran la utilización de separadores entre fases, o la instalación de accesorios especiales en la línea (por ejemplo pesos excéntricos, amortiguadores para el viento, dispositivos para el control torsional, péndulos para desintonización, controladores aerodinámicos etc.).

En zonas en las que puedan preverse formaciones de hielo particularmente importantes sobre los conductores, se analizará con especial cuidado el riesgo de aproximaciones inadmisibles entre los mismos.

La fórmula anterior corresponde a conductores iguales y con la misma flecha. En el caso de conductores diferentes o con distinta flecha, la separación entre los conductores se determinará con la misma fórmula y el coeficiente K mayor y la flecha F mayor de los dos conductores. En el caso de adoptarse separaciones menores, deberán justificarse debidamente los valores utilizados.

La separación entre conductores y cables de tierra se determinará de forma análoga a las separaciones entre conductores, de acuerdo con todos los párrafos anteriores.

Si el punto de anclaje del cable de tierra a la torre está más alto que el del conductor, la flecha del cable de tierra debe ser igual o inferior a la del conductor.

#### 5.4.2 Distancias entre conductores y a partes puestas a tierra

La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos no será inferior a  $D_{el}$ , con un mínimo de 0,2 m

Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2, en función de la tensión más elevada de la línea.

En el caso de las cadenas de suspensión, se considerarán los conductores y la cadena de aisladores desviados bajo la acción de la mitad de la presión de viento correspondiente a un viento de velocidad 120 km/h. A estos efectos se considerará la tensión mecánica del conductor sometido a la acción de la mitad de la presión de viento correspondiente a un viento de velocidad 120 km/h y a la temperatura de -5 °C para zona A, de -10 °C para zona B y de -15 °C para zona C.

Los contrapesos no se utilizarán en toda una línea de forma repetida, aunque podrán emplearse excepcionalmente para reducir la desviación de una cadena de suspensión, en cuyo caso el proyectista justificará los valores de las desviaciones y distancias al apoyo.

#### 5.5 Distancias al terreno, caminos, sendas y a cursos de agua no navegables

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

La altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su máxima flecha vertical según las hipótesis de temperatura y de hielo según el apartado 3.2.3, queden situados por encima de cualquier punto del terreno, senda, vereda o superficies de agua no navegables, a una altura mínima de:

$$D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el} \text{ en metros,}$$

con un mínimo de 6 metros. No obstante, en lugares de difícil acceso las anteriores distancias podrán ser reducidas en un metro.

Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2, en función de la tensión más elevada de la línea.

Cuando las líneas atraviesen explotaciones ganaderas cercadas o explotaciones agrícolas la altura mínima será de 7 metros, con objeto de evitar accidentes por proyección de agua o por circulación de maquinaria agrícola, camiones y otros vehículos.

En la hipótesis del cálculo de flechas máximas bajo la acción del viento sobre los conductores, la distancia mínima anterior se podrá reducir en un metro, considerándose en este caso el conductor con la desviación producida por el viento.

Entre la posición de los conductores con su flecha máxima vertical, y la posición de los conductores con su flecha y desviación correspondientes a la hipótesis de viento a) del apartado 3.2.3, las distancias de seguridad al terreno vendrán determinadas por la curva envolvente de los círculos de distancia trazados en cada posición intermedia de los conductores, con un radio interpolado entre la distancia correspondiente a la posición vertical y a la correspondiente a la posición de máxima desviación lineal del ángulo de desviación.

## 5.6 Distancias a otras líneas eléctricas aéreas o líneas aéreas de telecomunicación

### 5.6.1 Cruzamientos

El propietario de la línea que se va a cruzar deberá enviar, a requerimiento de la entidad que va a realizar el cruce, a la mayor brevedad posible, los datos básicos de la línea (por ejemplo el tipo y sección del conductor, tensión, etc.), con el fin de realizar los cálculos y evitar errores por falta de información.

Son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3, quedando modificadas de la siguiente forma:

Condición a): En líneas de tensión nominal superior a 30 kV puede admitirse la existencia de un empalme por conductor en el vano de cruce.

Condición b): Pueden emplearse apoyos de madera siempre que su fijación al terreno se realice mediante zancas metálicas o de hormigón.

Condición c): Queda exceptuado su cumplimiento.

En los cruces de líneas eléctricas aéreas se situará a mayor altura la de tensión más elevada y, en el caso de igual tensión; la que se instale con posterioridad. En todo caso, siempre que fuera preciso sobre elevar la línea preexistente, será de cargo del propietario de la nueva línea la modificación de la línea ya instalada.

Se procurará que el cruce se efectúe en la proximidad de uno de los apoyos de la línea más elevada, pero la distancia entre los conductores de la línea inferior y las partes más próximas de los apoyos de la línea superior no deberá ser inferior a:

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} \text{ en metros,}$$

con un mínimo de:

- 2 metros para líneas de tensión de hasta 45 kV.
- 3 metros para líneas de tensión superior a 45 kV y hasta 66 kV.
- 4 metros para líneas de tensión superior a 66 kV y hasta 132 kV.
- 5 metros para líneas de tensión superior a 132 kV y hasta 220 kV.
- 7 metros para líneas de tensión superior a 220 kV y hasta 400 kV.

y considerándose los conductores de la misma en su posición de máxima desviación, bajo la acción de la hipótesis de viento a) del apartado 3.2.3. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea inferior.

La mínima distancia vertical entre los conductores de fase de ambas líneas en las condiciones más desfavorables, no deberá ser inferior a:

$$D_{add} + D_{pp} \text{ en metros.}$$

A la distancia de aislamiento adicional,  $D_{add}$ , se le aplicarán los valores de la tabla 17:

**Tabla 17. Distancias de aislamiento adicional  $D_{add}$  a otras líneas eléctricas aéreas o líneas aéreas de telecomunicación**

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED (kV)	$D_{add}$ (m)	
	Para distancias del apoyo de la línea superior al punto de cruce $\leq 25$ m	Para distancia del apoyo de la línea superior al punto de cruce $> 25$ m
De 3 a 30	1,8	2,5
45 o 66	2,5	
110, 132, 150	3	
220	3,5	
400	4	

Los valores de  $D_{pp}$  se indican en el apartado 5.2, en función de la tensión más elevada de la línea.

La distancia mínima vertical entre los conductores de fase de la línea eléctrica superior y los cables de tierra convencionales o cables compuestos tierra-óptico (OPGW) de la línea eléctrica inferior en el caso de que existan, no deberá ser inferior a:

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} \text{ en metros,}$$

con un mínimo de 2 metros. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2; en función de la tensión más elevada de la línea.

Independientemente del punto de cruce de ambas líneas, la mínima distancia vertical entre los conductores de fase de ambas líneas, o entre los conductores de fase de la línea eléctrica superior y los cables de guarda de la línea eléctrica inferior, en el caso de que existan, se comprobará considerando:

- a) Los conductores de fase de la línea eléctrica superior en las condiciones más desfavorables de flecha máxima establecidas en el proyecto de la línea
- b) Los conductores de fase o los cables de guarda de la línea eléctrica inferior sin sobrecarga alguna a la temperatura mínima según la zona (-5 °C en zona A, -15 °C en zona B y -20 °C en zona C).

En general, cuando el punto de cruce de ambas líneas se encuentre en las proximidades del centro del vano de la línea inferior, se tendrá en cuenta la posible desviación de los conductores de fase por la acción del viento.

Como se indica en el apartado 5.2, las distancias externas mínimas de seguridad  $D_{add} + D_{el}$  deben ser siempre superiores a 1,1 veces  $a_{som}$ , distancia de descarga de la cadena de aisladores, definida como la distancia más corta en línea recta, entre las partes con tensión y las partes puestas a tierra.

Cuando la resultante de los esfuerzos del conductor en alguno de los apoyos de cruce de la línea inferior tenga componente vertical ascendente, se tomarán las debidas precauciones para que no se desprendan los conductores, aisladores o soportes.

Podrán realizarse cruces de líneas, sin que la línea superior reúna en el cruce las prescripciones especiales señaladas en el apartado 5.3, si la línea inferior estuviera protegida en el cruce por un haz de cables de acero, situado entre ambas, con la suficiente resistencia mecánica para soportar la caída de los conductores de la línea superior; en el caso de que éstos se rompieran o desprendieran.

Los cables de acero de protección serán de acero galvanizado y estarán puestos a tierra en las condiciones prescritas en el apartado 7.

El haz de cables de protección tendrá una longitud sobre la línea inferior igual al menos a vez y media la proyección horizontal de la separación entre los conductores extremos de la línea superior, en la dirección de la línea inferior. Dicho haz de cables de protección podrá situarse sobre los mismos o diferentes apoyos de la línea inferior pero, en todo caso, los apoyos que lo soportan en su parte enterrada serán metálicos o de hormigón.

Para este caso, las distancias mínimas verticales entre los conductores de la línea superior e inferior y el haz de cables de protección serán  $1,5 \times D_{el}$ , con un mínimo de 0,75 metros, para las tensiones respectivas de las líneas en cuestión.

El órgano competente de la Administración podrá autorizar excepcionalmente, previa justificación, que se fijen sobre un mismo apoyo dos líneas que se crucen. En este caso, en dicho apoyo y en los conductores de la línea superior se cumplirán las prescripciones de seguridad reforzada determinadas en el apartado 5.3.

En estos casos en que por circunstancias singulares sea preciso que la línea de menor tensión cruce por encima de la de tensión superior, será preciso recabar la autorización expresa, teniendo presente en el cruce todas las prescripciones y criterios expuestos en el apartado 5.3.

Las líneas de telecomunicación serán consideradas como líneas eléctricas de baja tensión y su cruzamiento estará sujeto por lo tanto a las prescripciones de este apartado.

#### 5.6.2 Paralelismos entre líneas eléctricas aéreas

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

Se entiende que existe paralelismo cuando dos o más líneas próximas siguen sensiblemente la misma dirección, aunque no sean rigurosamente paralelas.

Siempre que sea posible, se evitará la construcción de líneas paralelas de transporte o de distribución de energía eléctrica, a distancias inferiores a 1,5 veces de altura del apoyo más alto, entre las trazas de los conductores más próximos. Se exceptúan de la anterior recomendación las zonas de acceso a centrales generadoras y estaciones transformadoras.

En todo caso, entre los conductores contiguos de las líneas paralelas, no deberá existir una separación inferior a la prescrita en el apartado 5.4.1, considerando los valores  $K$ ,  $K'$ ,  $L$ ,  $F$  y  $D_{pp}$  de la línea de mayor tensión.

El tendido de líneas de diferente tensión sobre apoyos comunes se permitirá cuando sean de iguales características en orden a la clase de corriente y frecuencia, salvo que se trate de líneas de transporte y telecomunicación o maniobra de la misma empresa y siempre que estas últimas estén afectas exclusivamente al servicio de las primeras. La línea más elevada será preferentemente la de mayor tensión, y los apoyos tendrán la altura suficiente para que las separaciones entre los conductores de ambas líneas y, entre éstos y aquél, sean las que con carácter general se exigen y para que la distancia al terreno del conductor más bajo, en las condiciones más desfavorables, sea la establecida en el apartado 5.5.

Las líneas sobre apoyos comunes se considerarán como de tensión igual a la de la más elevada, a los efectos de explotación, conservación y seguridad en relación con personas y bienes. El aislamiento de la línea de menor tensión no será inferior al correspondiente de puesta a tierra de la línea de tensión más elevada.

#### 5.6.3 Paralelismos entre líneas eléctricas aéreas y líneas de telecomunicación

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

Se evitará siempre que se pueda el paralelismo de las líneas eléctricas de alta tensión con líneas de telecomunicación, y cuando ello no sea posible se mantendrá entre las trazas de los conductores más próximos de una y otra línea una distancia mínima igual a 1,5 veces la altura del apoyo más alto.

### 5.7 Distancias a carreteras

Para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de cruzamiento como en el caso de paralelismo, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Para la Red de Carreteras del Estado, la instalación de apoyos se realizará preferentemente detrás de la línea límite de edificación y a una distancia a la arista exterior de la calzada superior a vez y media su altura. La línea límite de edificación es la situada a 50 metros en autopistas, autovías y vías rápidas, y a 25 metros en el resto de carreteras de la Red de Carreteras del Estado de la arista exterior de la calzada.

b) Para las carreteras no pertenecientes a la Red de Carreteras del Estado, la instalación de los apoyos deberá cumplir la normativa vigente de cada comunidad autónoma aplicable a tal efecto.

c) Independientemente de que la carretera pertenezca o no a la Red de Carreteras del Estado, para la colocación de apoyos dentro de la zona de afección de la carretera, se solicitará la oportuna autorización a los órganos competentes de la Administración. Para la Red de Carreteras del Estado, la zona de afección comprende una distancia de 100 metros desde la arista exterior de la explanación en el caso de autopistas, autovías y vías rápidas, y 50 metros en el resto de carreteras de la Red de Carreteras del Estado.

d) En circunstancias topográficas excepcionales, y previa justificación técnica y aprobación del órgano competente de la Administración, podrá permitirse la colocación de apoyos a distancias menores de las fijadas.

#### 5.7.1 Cruzamientos

Son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3 quedando modificadas de la siguiente forma:

Condición a): En lo que se refiere al cruce con carreteras locales y vecinales, se admite la existencia de un empalme por conductor en el vano de cruce para las líneas de tensión nominal superior a 30 kV.

La distancia mínima de los conductores sobre la rasante de la carretera será de:

$$D_{add} + D_{el} \text{ en metros,}$$

con una distancia mínima de 7 metros. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

Siendo:  $D_{add} = 7,5$  para líneas de categoría especial.  
 $D_{add} = 6,3$  para líneas del resto de categorías.

#### 5.7.2 Paralelismos

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

### 5.8 Distancias a ferrocarriles sin electrificar

Para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de paralelismo como en el caso de cruzamientos, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

a) A ambos lados de las líneas ferroviarias que formen parte de la red ferroviaria de interés general se establece la línea límite de edificación desde la cual hasta la línea ferroviaria queda prohibido cualquier tipo de obra de edificación, reconstrucción o ampliación.

b) La línea límite de edificación es la situada a 50 metros de la arista exterior de la explanación medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea. No se autorizará la instalación de apoyos dentro de la superficie afectada por la línea límite de edificación.

c) Para la colocación de apoyos en la zona de protección de las líneas ferroviarias, se solicitará la oportuna autorización a los órganos competentes de la Administración. La línea límite de la zona de protección es la situada a 70 metros de la arista exterior de la explanación, medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea.

d) En los cruzamientos no se podrán instalar los apoyos a una distancia de la arista exterior de la explanación inferior a vez y media la altura del apoyo.

e) En circunstancias topográficas excepcionales, y previa justificación técnica y aprobación del órgano competente de la Administración, podrá permitirse la colocación de apoyos a distancias menores de las fijadas.

#### 5.8.1 Cruzamientos

Son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

La distancia mínima de los conductores de la línea eléctrica sobre las cabezas de los carriles será la misma que para cruzamientos con carreteras.

#### 5.8.2 Paralelismos

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

### 5.9 Distancias a ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses

Para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de paralelismo como en el caso de cruzamientos, se seguirá lo indicado en el apartado 5.8 para ferrocarriles sin electrificar.

#### 5.9.1 Cruzamientos

Son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

En el cruzamiento entre las líneas eléctricas y los ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses, la distancia mínima vertical de los conductores de la línea eléctrica, con su máxima flecha vertical, según las hipótesis del apartado 3.2.3, sobre el conductor más alto de todas las líneas de energía eléctrica, telefónicas y telegráficas del ferrocarril será de:

$$D_{add} + D_{el} = 3,5 + D_{el} \text{ en metros,}$$

con un mínimo de 4 metros. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

Además, en el caso de ferrocarriles, tranvías y trolebuses provistos de trole, o de otros elementos de toma de corriente que puedan accidentalmente separarse de la línea de contacto, los conductores de la línea eléctrica deberán estar situados a una altura tal que, al desconectarse el órgano de toma de corriente, no quede, teniendo en cuenta la posición más desfavorable que pueda adoptar, a menor distancia de aquellos que la definida anteriormente.

#### 5.9.2 Paralelismos

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

### 5.10 Distancias a teleféricos y cables transportadores

#### 5.10.1 Cruzamientos

Son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

El cruce de una línea eléctrica con teleféricos o cables transportadores deberá efectuarse siempre superiormente, salvo casos razonadamente muy justificados que expresamente se autoricen.

La distancia mínima vertical entre los conductores de la línea eléctrica, con su máxima flecha vertical según las hipótesis del apartado 3.2.3, y la parte más elevada del teleférico, teniendo en cuenta las oscilaciones de los cables del mismo durante su explotación normal y la posible sobre elevación que pueda alcanzar por reducción de carga en caso de accidente será de:

$$D_{add} + D_{el} = 4,5 + D_{el} \text{ en metros,}$$

con un mínimo de 5 metros. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

La distancia horizontal entre la parte más próxima del teleférico y los apoyos de la línea eléctrica en el vano de cruce será como mínimo la que se obtenga de la fórmula anteriormente indicada.

El teleférico deberá ser puesto a tierra en dos puntos, uno a cada lado del cruce, de acuerdo con las prescripciones del apartado 7.

#### 5.10.2 Paralelismos

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

### 5.11 Distancias a ríos y canales, navegables o flotables

Para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de paralelismo como en el caso de cruzamientos, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

a) La instalación de apoyos se realizará a una distancia de 25 metros y, como mínimo, vez y media la altura de los apoyos, desde el borde del cauce fluvial correspondiente al caudal de la máxima avenida. No obstante, podrá admitirse la colocación de apoyos a distancias inferiores si existe la autorización previa de la administración competente.

b) En circunstancias topográficas excepcionales, y previa justificación técnica y aprobación de la Administración, podrá permitirse la colocación de apoyos a distancias menores de las fijadas.

#### 5.11.1 Cruzamientos

Son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

En los cruzamientos con ríos y canales, navegables o flotables, la distancia mínima vertical de los conductores, con su máxima flecha vertical según las hipótesis del apartado 3.2.3, sobre la superficie del agua para el máximo nivel que pueda alcanzar ésta será de:

— Líneas de categoría especial:

$$G + D_{add} + D_{el} = G + 3,5 + D_{el} \text{ en metros,}$$

— Resto de líneas:

$$G + D_{add} + D_{el} = G + 2,3 + D_{el} \text{ en metros,}$$

siendo G el gálibo. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

En el caso de que no exista gálibo definido se considerará éste igual a 4,7 metros.

#### 5.11.2 Paralelismos

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

### 5.12 Paso por zonas

En general, para las líneas eléctricas aéreas con conductores desnudos se define la zona de servidumbre de vuelo como la franja de terreno definida por la proyección sobre el suelo de los conductores extremos, considerados éstos y sus cadenas de aisladores en las condiciones más desfavorables, sin contemplar distancia alguna adicional.

Las condiciones más desfavorables son considerar los conductores y sus cadenas de aisladores en su posición de máxima desviación, es decir, sometidos a la acción de su peso propio y a una sobrecarga de viento, según apartado 3.1.2, para una velocidad de viento de 120 km/h a la temperatura de +15 °C.

Las líneas aéreas de alta tensión deberán cumplir el R.D. 1955/2000, de 1 de diciembre, en todo lo referente a las limitaciones para la constitución de servidumbre de paso.



### 5.12.1 Bosques, árboles y masas de arbolado

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

Para evitar las interrupciones del servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos de árboles con los conductores de una línea eléctrica aérea, deberá establecerse, mediante la indemnización correspondiente, una zona de protección de la línea definida por la zona de servidumbre de vuelo, incrementada por la siguiente distancia de seguridad a ambos lados de dicha proyección:

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} \text{ en metros,}$$

con un mínimo de 2 metros. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

El responsable de la explotación de la línea estará obligado a garantizar que la distancia de seguridad entre los conductores de la línea y la masa de arbolado dentro de la zona de servidumbre de paso satisface las prescripciones de este reglamento, estando obligado el propietario de los terrenos a permitir la realización de tales actividades. Asimismo, comunicará al órgano competente de la administración las masas de arbolado excluidas de zona de servidumbre de paso, que pudieran comprometer las distancias de seguridad establecida en este reglamento. Deberá vigilar también que la calle por donde discurre la línea se mantenga libre de todo residuo procedente de su limpieza, al objeto de evitar la generación o propagación de incendios forestales.

— En el caso de que los conductores sobrevuelen los árboles; la distancia de seguridad se calculará considerando los conductores con su máxima flecha vertical según las hipótesis del apartado 3.2.3.

— Para el cálculo de las distancias de seguridad entre el arbolado y los conductores extremos de la línea, se considerarán éstos y sus cadenas de aisladores en sus condiciones más desfavorables descritas en este apartado .

Igualmente deberán ser cortados todos aquellos árboles que constituyen un peligro para la conservación de la línea, entendiéndose como tales los que, por inclinación o caída fortuita o provocada puedan alcanzar los conductores en su posición normal, en la hipótesis de temperatura b) del apartado 3.2.3. Esta circunstancia será función del tipo y estado del árbol, inclinación y estado del terreno, y situación del árbol respecto a la línea.

Los titulares de las redes de distribución y transporte de energía eléctrica deben mantener los márgenes por donde discurren las líneas limpias de vegetación, al objeto de evitar la generación o propagación de incendios forestales. Asimismo, queda prohibida la plantación de árboles que puedan crecer hasta llegar a comprometer las distancias de seguridad reglamentarias.

Los pliegos de condiciones para nuevas contrataciones de mantenimiento de líneas incorporarán cláusulas relativas a las especies vegetales adecuadas, tratamiento de calles, limpieza y desherbado de los márgenes de las líneas como medida de prevención de incendios.

### 5.12.2 Edificios, construcciones y zonas urbanas

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

Se evitará el tendido de líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos en terrenos que estén clasificados como suelo urbano, cuando pertenezcan al territorio de municipios que tengan plan de ordenación o como casco de población en municipios que carezcan de dicho plan. No obstante, a petición del titular de la instalación y cuando las circunstancias técnicas o económicas lo aconsejen, el órgano competente de la Administración podrá autorizar el tendido aéreo de dichas líneas en las zonas antes indicadas.

Se podrá autorizar el tendido aéreo de líneas eléctricas de alta tensión con conductores desnudos en las zonas de reserva urbana con plan general de ordenación legalmente aprobado y en zonas y polígonos industriales con plan parcial de ordenación aprobado, así como en los terrenos del suelo urbano no comprendidos dentro del casco de la población en municipios que carezcan de plan de ordenación.

Conforme a lo establecido en el Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, no se construirán edificios e instalaciones industriales en la servidumbre de vuelo, incrementada por la siguiente distancia mínima de seguridad a ambos lados:

$$D_{add} + D_{el} = 3,3 + D_{el} \text{ en metros,}$$

con un mínimo de 5 metros. Los valores de  $D_{el}$  se indican en el apartado 5.2 en función de la tensión más elevada de la línea.

Análogamente, no se construirán líneas por encima de edificios e instalaciones industriales en la franja definida anteriormente.

No obstante, en los casos de mutuo acuerdo entre las partes, las distancias mínimas que deberán existir en las condiciones más desfavorables, entre los conductores de la línea eléctrica y los edificios o construcciones que se encuentren bajo ella, serán las siguientes:

- Sobre puntos accesibles a las personas:  $5,5 + D_{el}$  metros, con un mínimo de 6 metros.
- Sobre puntos no accesibles a las personas:  $3,3 + D_{el}$  metros, con un mínimo de 4 metros.

Se procurará asimismo en las condiciones más desfavorables, el mantener las anteriores distancias, en proyección horizontal, entre los conductores de la línea y los edificios y construcciones inmediatos.

### 5.12.3 Proximidad a aeropuertos

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

Las líneas eléctricas aéreas de AT con conductores desnudos que hayan de construirse en la proximidad de los aeropuertos, aeródromos, helipuertos e instalaciones de ayuda a la navegación aérea, deberán ajustarse a lo especificado en la legislación y disposiciones vigentes en la materia que correspondan.

#### 5.12.4 Proximidad a parques eólicos

No son de aplicación las prescripciones especiales definidas en el apartado 5.3.

Por motivos de seguridad de las líneas eléctricas aéreas de conductores desnudos, no se permite la instalación de nuevos aerogeneradores en la franja de terreno definida por la zona de servidumbre de vuelo incrementada en la altura total del aerogenerador, incluida la pala, más 10 m.

#### 5.12.5 Proximidades a obras.

Cuando se realicen obras próximas a líneas aéreas y con objeto de garantizar la protección de los trabajadores frente a los riesgos eléctricos según la reglamentación aplicable de prevención de riesgos laborales, y en particular el Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, el promotor de la obra se encargará de que se realice la señalización mediante el balizamiento de la línea aérea. El balizamiento utilizará elementos normalizados y podrá ser temporal.

## 6. DERIVACIONES, SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES

### 6.1 Derivaciones, seccionamiento de líneas

Las derivaciones de líneas se efectuarán siempre en un apoyo. En el cálculo de dicho apoyo se tendrán en cuenta las cargas adicionales más desfavorables que sobre el mismo introduzca la línea derivada.

Como regla general, en las derivaciones de líneas se instalarán seccionadores que se ubicarán en el propio apoyo en el que se efectúa la derivación o en un apoyo próximo a dicha derivación siempre que el seccionador quede a menos de 50 m de la derivación. Para líneas de tercera categoría destinadas a distribución de energía eléctrica se admitirá también un sistema de explotación sin necesidad de instalar seccionadores en las derivaciones, siempre que la suma de las potencias instaladas en las líneas que se derivan del mismo seccionador no sobrepase 400 kVA.

Las líneas eléctricas aéreas de 220 kV de tensión nominal, o superior, de nueva construcción, sus modificaciones o las modificaciones de líneas ya existentes, deberán conectarse en cada extremo a una subestación con aparata de corte en carga.

### 6.2 Seccionadores o conmutadores. Acoplamiento

Para seccionar una línea en derivación se podrán utilizar interruptores-seccionadores o seccionadores, según se requiera o no corte en carga durante su explotación, ya que los seccionadores no pueden interrumpir circuitos en carga, salvo pequeñas corrientes de valor inferior a 0,5 A.

El esquema unifilar que se debe presentar con el proyecto incluirá posición de seccionadores y conmutadores, así como la posibilidad o no de efectuar maniobras de acoplamiento.

Con carácter general se establecen las siguientes prescripciones:

a) Los seccionadores serán siempre trifásicos, con mando manual o con servomecanismo, a excepción de los empleados en las líneas a que se refiere el apartado b).

b) Únicamente se admitirán seccionadores unipolares accionables con pértiga para líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV.

c) Los seccionadores tipo intemperie estarán situados a una altura del suelo superior a cinco metros, inaccesibles en condiciones ordinarias, con su accionamiento dispuesto de forma que no pueda ser maniobrado más que por el personal de servicio, y se montarán de tal forma que no puedan cerrarse por gravedad.

d) Las características de los seccionadores serán las adecuadas a la tensión e intensidad máxima del circuito en donde han de establecerse, y sus contactos estarán dimensionados para una intensidad mínima de paso de 200 amperios.

e) Siempre que existan dos alimentaciones interdependientes, se dispondrá un conmutador tripolar que permita tomar energía de una u otra línea alternativamente.

f) En aquellos casos en que el abonado o solicitante de la derivación posea fuentes propias de producción de energía eléctrica; se prohíbe instalar dispositivos con el fin de efectuar maniobras de acoplamiento, a no ser que se ponga de manifiesto la conformidad por ambas partes por escrito.

En función del sistema de explotación de red podrán utilizarse autoseccionadores con el fin de aislar la parte de la línea en defecto, limitando la zona afectada por una interrupción de suministro.

### 6.3 Interruptores

En el caso en que por razones de la explotación del sistema fuera aconsejable la instalación de un interruptor automático en el arranque de la derivación, su instalación y características estarán de acuerdo con lo dispuesto para estos aparatos en el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. Los interruptores automáticos podrán maniobrarse siguiendo ciclos de reenganche automático, según criterios de explotación para conseguir la máxima continuidad de servicio.

### 6.4 Protecciones

En las líneas eléctricas y sus derivaciones se dispondrán las protecciones contra sobreintensidades y sobretensiones necesarias de acuerdo con la instalación receptora, de conformidad con lo especificado en Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

En todos los puntos extremos de las líneas eléctricas, sea cual sea su categoría, por los cuales pueda fluir energía eléctrica en dirección a la línea, se deberán disponer protecciones contra cortocircuitos o defectos en línea, eficaces y adecuadas.

El accionamiento automático de los interruptores podrá ser realizado por relés directos solamente en líneas de tercera categoría.

Se prestará particular atención en el proyecto del conjunto de las protecciones, a la reducción al mínimo de los tiempos de eliminación de las faltas a tierra, para la mayor seguridad de las personas y cosas, teniendo en cuenta la disposición del neutro de la red (puesto a tierra, aislado o conectado a través de una impedancia elevada). El valor de la resistencia de puesta a tierra de los apoyos será el adecuado para garantizar la detección de un defecto franco a tierra de la línea.

## **7. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

En este capítulo se dan los criterios para el diseño, instalación y ensayo del sistema de puesta a tierra de manera que sea eficaz en todas las circunstancias y mantengan las tensiones de paso y contacto dentro de niveles aceptables.

### **7.1 Generalidades**

El diseño del sistema de puesta a tierra deberá cumplir cuatro requisitos:

- a) Que resista los esfuerzos mecánicos y la corrosión (apartado. 7.3.2).
- b) Que resista, desde un punto de vista térmico, la corriente de falta más elevada determinada en el cálculo (apartado 7.3.3).
- c) Garantizar la seguridad de las personas con respecto a tensiones que aparezcan durante una falta a tierra en los sistemas de puesta a tierra (apartado.7.3.4).
- d) Proteger de daños a propiedades y equipos y garantizar la fiabilidad de la línea (apartado 7.3.5).

Estos requisitos dependen fundamentalmente de:

1. Método de puesta a tierra del neutro de la red: neutro aislado, neutro puesto a tierra mediante impedancia o neutro rígido a tierra.
2. Tipo de apoyo en función de su ubicación: apoyos frecuentados y apoyos no frecuentados.
3. Material del apoyo: conductor o no conductor.

Cuando se construya una línea aérea con dos o más niveles de tensión diferentes, se deberán cumplir, para cada nivel de tensión, los cuatro requisitos mencionados. No es necesario considerar faltas simultáneas en circuitos de diferentes tensiones.

En el caso de líneas eléctricas que contengan cables de tierra a lo largo de toda su longitud, el diseño de su sistema de puesta a tierra deberá considerar el efecto de los cables de tierra.

Los apoyos que sean diseñados para albergar las botellas terminales de paso aéreo-subterráneo deberán cumplir los mismos requisitos que el resto de apoyos en función de su ubicación.

Los apoyos que sean diseñados para albergar aparatos de maniobra deberán cumplir los mismos requisitos que los apoyos frecuentados. Los apoyos que soporten transformadores deberán cumplir el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación

### **7.2 Elementos del sistema de puesta a tierra y condiciones de montaje**

#### **7.2.1 Generalidades**

El sistema de puesta a tierra estará constituido por uno o varios electrodos de puesta a tierra enterrados en el suelo y por la línea de tierra que conecta dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra.

Los electrodos de puesta a tierra deberán ser de material, diseño, dimensiones, colocación en el terreno y número apropiados para la naturaleza y condiciones del terreno, de modo que puedan garantizar una tensión de contacto dentro de los niveles aceptables.

El tipo o modelo, dimensiones y colocación (bajo la superficie del terreno) de los electrodos de puesta a tierra deberá figurar claramente en un plano que formará parte del proyecto de ejecución de la línea, de modo que pueda ser aprobado por el órgano competente de la Administración.

El uso de productos químicos para reducir la resistividad del terreno aunque puede estar justificado en circunstancias especiales, plantea inconvenientes, ya que incrementa la corrosión de los electrodos de puesta a tierra, necesita un mantenimiento periódico y no es muy duradero.

#### **7.2.2 Electrodos de puesta a tierra**

Los electrodos de puesta a tierra podrán disponerse de las siguientes formas:

- a) Electrodos horizontales de puesta a tierra (varillas, barras o cables enterrados) dispuestos en forma radial, formando una red mallada o en forma de anillo. También podrán ser placas o chapas enterradas.
- b) Picas de tierra verticales o inclinadas hincadas en el terreno, constituidas por tubos, barras u otros perfiles, que podrán estar formados por elementos empalmables.

##### **7.2.2.1 Instalación de electrodos horizontales de puesta a tierra**

Es recomendable que el electrodo de puesta a tierra esté situado a una profundidad suficiente para evitar la congelación del agua ocluida en el terreno, Los electrodos horizontales de puesta a tierra serán enterrados como mínimo a una profundidad de 0,5 m (habitualmente entre 0,5 m y 1 m). Esta medida garantiza una cierta protección mecánica.

Los electrodos horizontales de puesta a tierra se colocarán en el fondo de una zanja o en la excavación de la cimentación de forma que:

- a) se rodeen con tierra ligeramente apisonada,

b) las piedras o grava no estén directamente en contacto con los electrodos de puesta a tierra enterrados,  
c) cuando el suelo natural sea corrosivo para el tipo de metal que constituye el electrodo, el suelo se reemplace por un relleno adecuado.

#### 7.2.2.2 Instalación de picas de tierra verticales o inclinadas

Las picas verticales o inclinadas son particularmente ventajosas cuando la resistividad del suelo decrece mucho con la profundidad. Se clavarán en el suelo empleando herramientas apropiadas para evitar que los electrodos se dañen durante su hincado.

Cuando se instalen varias picas en paralelo se separarán como mínimo 1,5 veces la longitud de la pica. La parte superior de cada pica siempre quedará situada debajo del nivel de tierra.

#### 7.2.2.3 Unión de los electrodos de puesta a tierra

Las uniones utilizadas para conectar las partes conductoras de una red de tierras, con los electrodos de puesta a tierra dentro de la propia red, deberán tener las dimensiones adecuadas para asegurar una conducción eléctrica y un esfuerzo térmico y mecánico equivalente a los de los propios electrodos.

Los electrodos de puesta a tierra deberán ser resistentes a la corrosión y no deben ser susceptibles de crear pares galvánicos.

Las uniones usadas para el ensamblaje de picas deben tener el mismo esfuerzo mecánico que las picas mismas y deben resistir fatigas mecánicas durante su colocación. Cuando se tengan que conectar metales diferentes, que creen pares galvánicos, pudiendo causar una corrosión galvánica, las uniones se realizarán mediante piezas de conexión bimetálica apropiadas para limitar estos efectos.

### 7.2.3 Líneas de tierra

#### 7.2.3.1 Instalación de las líneas de tierra

Los conductores de las líneas de tierra deberán instalarse procurando que su recorrido sea lo más corto posible, evitando trazados tortuosos y curvas de poco radio.

Conviene prestar especial atención para evitar la corrosión donde los conductores de las líneas de tierra desnudos entran en el suelo o en el hormigón. En este sentido, cuando en el apoyo exista macizo de hormigón el conductor no debe tenderse por encima de él sino atravesarlo.

Se cuidará la protección de los conductores de las líneas de tierra en las zonas inmediatamente superior e inferior al terreno, de modo que queden defendidos contra golpes, etc.

En las líneas de tierra no podrán insertarse fusibles ni interruptores.

#### 7.2.3.2 Conexiones de las líneas de tierra

Las conexiones deben tener una buena continuidad eléctrica, para prevenir cualquier aumento de temperatura inaceptable bajo condiciones de corriente de falta.

Las uniones no deberán poder soltarse y serán protegidas contra la corrosión. Cuando se tengan que conectar metales diferentes que creen pares galvánicos, pudiendo causar una corrosión galvánica, las uniones se realizarán mediante piezas de conexión bimetálicas apropiadas para limitar estos efectos.

Deben utilizarse los elementos apropiados para conectar los conductores de las líneas de tierra al electrodo de puesta a tierra, al terminal principal de tierra y a cualquier parte metálica.

Conviene que sea imposible desmontar las uniones sin herramientas.

#### 7.2.4 Conexión de los apoyos a tierra

Todos los apoyos de material conductor o de hormigón armado deberán conectarse a tierra mediante una conexión específica. Los apoyos de material no conductor no necesitan tener puesta a tierra. Además, todos los apoyos frecuentados, salvo los de material aislante, deben ponerse a tierra.

La conexión específica a tierra de los apoyos de hormigón armado podrá efectuarse de las dos formas siguientes:

a) Conectando a tierra directamente los herrajes o armaduras metálicas a las que estén fijados los aisladores, mediante un conductor de conexión.

b) Conectando a tierra la armadura del hormigón, siempre que la armadura reúna las condiciones que se exigen para los conductores que constituyen la línea de tierra. Sin embargo, esta forma de conexión no se admitirá en los apoyos de hormigón pretensado.

En los apoyos de hormigón pretensado se deberán conectar específicamente a tierra, mediante un conductor de conexión, las armaduras metálicas que formen puente conductor entre los puntos de fijación de los herrajes de los diversos aisladores.

La conexión a tierra de los pararrayos instalados en apoyos no se realizará ni a través de la estructura del apoyo metálico ni de las armaduras, en el caso de apoyos de hormigón armado. Los chasis de los aparatos de maniobra y las envolventes de los transformadores podrán ponerse a tierra a través de la estructura del apoyo metálico.

#### 7.2.5 Transferencias de potencial

Las transferencias de potencial pueden aparecer a causa de tuberías y vallas metálicas, cables de baja tensión, etc. y es difícil proponer pautas generales ya que las circunstancias varían de un caso a otro.

Las pautas para casos individuales podrán ser establecidas por la compañía eléctrica que explota la línea cuando esta sea de su propiedad.

### 7.3 Dimensionamiento a frecuencia industrial de los sistemas de puesta a tierra

#### 7.3.1 Generalidades

Los parámetros pertinentes para el dimensionamiento de los sistemas de puesta a tierra son:

- a) Valor de la corriente de falta.
- b) Duración de la falta.

Estos dos parámetros dependen principalmente del método de la puesta a tierra del neutro de la red.

- c) Características del suelo.

#### 7.3.2 Dimensionamiento con respecto a la corrosión y a la resistencia mecánica

Para el dimensionamiento con respecto a la corrosión y a la resistencia mecánica de los electrodos y de las líneas de tierra se seguirán los criterios indicados en el apartado 3 de la MIE-RAT 13.

##### 7.3.2.1 Electrodo de tierra

Los electrodos de tierra que estén directamente en contacto con el suelo deberán ser de materiales capaces de resistir la corrosión (ataque químico o biológico, oxidación, formación de un par electrolítico, electrólisis, etc.). Deberán resistir las tensiones mecánicas durante su instalación, así como aquellas que ocurran durante el servicio normal.

##### 7.3.2.2 Líneas de tierra

Los conductores empleados en las líneas de tierra deberán tener una resistencia mecánica adecuada y ofrecerán una elevada resistencia a la corrosión.

Por razones mecánicas, las secciones mínimas de los conductores de las líneas de tierra deberán ser:

- a) cobre: 25 mm<sup>2</sup>
- b) aluminio: 35 mm<sup>2</sup>
- c) acero: 50 mm<sup>2</sup>

Los conductores compuestos (p.e., aluminio-acero) también pueden utilizarse para la puesta a tierra con la condición de que su resistencia sea equivalente a los ejemplos dados. Para conductores de aluminio se deberán considerar los efectos de la corrosión. Los conductores de puesta a tierra hechos de acero necesitan protección contra la corrosión.

#### 7.3.3 Dimensionamiento con respecto a la resistencia térmica

Para el dimensionamiento con respecto a la resistencia térmica de los electrodos y de las líneas de tierra se seguirán los criterios indicados en la MIE-RAT 13.

##### 7.3.3.1 Generalidades

Dado que la máxima intensidad de corriente de defecto a tierra depende de la red eléctrica, los valores máximos deberán ser proporcionados para cada caso concreto por el operador de la red.

En ciertos casos habrá que tener en cuenta las corrientes homopolares en régimen permanente para un dimensionamiento de la instalación de puesta a tierra.

En la fase de diseño se procurará que las corrientes utilizadas para calcular la sección del conductor tengan en cuenta la posibilidad de un crecimiento futuro.

Puesto que la corriente de falta se reparte entre los diferentes electrodos de la red de tierra, se podrá dimensionar cada electrodo para una fracción de la corriente de falta.

El circuito de puesta a tierra no alcanzará una temperatura excesiva que reduzca la resistencia o provoque daños a los materiales de su alrededor, por ejemplo hormigón o materiales aislantes.

No se considerará el aumento de temperatura del suelo alrededor de los electrodos de tierra ya que la experiencia muestra que dicho aumento de temperatura es normalmente insignificante.

##### 7.3.3.2 Cálculo de la corriente

El cálculo de la sección de los electrodos de puesta a tierra y de los conductores de puesta a tierra depende del valor y la duración de la corriente de falta, por lo que tendrán una sección tal que puedan soportar, sin un calentamiento peligroso, la máxima corriente de fallo a tierra prevista, durante un tiempo doble al de accionamiento de las protecciones de la línea. Para corrientes de falta que son interrumpidas en menos de 5 segundos, se podrá contemplar un aumento de temperatura adiabático. La temperatura final deberá ser elegida con arreglo al material del electrodo o conductor de puesta a tierra y alrededores del entorno.

Se respetarán las secciones mínimas del apartado 7.3.2.2. Además, cuando se empleen materiales diferentes a los indicados en dicho apartado, la sección deberá ser como mínimo equivalente, desde el punto de vista mecánico, a la sección de 25 mm<sup>2</sup> de cobre y desde el punto de vista térmico a la necesaria para no sobrepasar una temperatura final de 200 °C, o de 300 °C si no existe riesgo de incendio.

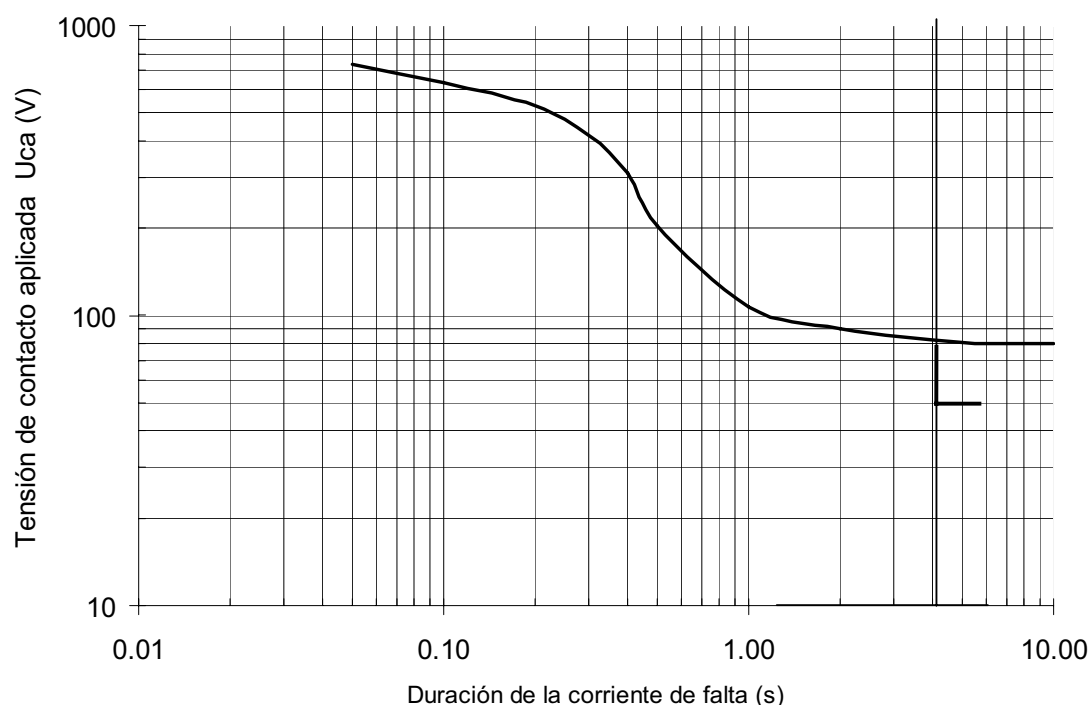
#### 7.3.4 Dimensionamiento con respecto a la seguridad de las personas

##### 7.3.4.1 Valores admisibles

Cuando se produce una falta a tierra, partes de la instalación se pueden poner en tensión, y en el caso de que una persona o animal estuviese tocándolas, podría circular a través de él una corriente peligrosa. La norma UNE-IEC/TS 60479-1 da indicaciones sobre los efectos de la corriente que pasa a través del cuerpo humano en función de su magnitud y duración, estableciendo una relación entre los valores admisibles de la corriente que puede circular a través del cuerpo humano y su duración.

Los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada,  $U_{ca}$ , a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta, se dan en la figura 1:

**Figura 1. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada  $U_{ca}$  en función de la duración de la corriente de falta**



En la tabla 18 se muestran valores de algunos de los puntos de la curva anterior:

**Tabla 18. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada  $U_{ca}$  en función de la duración de la corriente de falta  $t_f$**

Duración de la corriente de falta, $t_f$ (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, $U_{ca}$ (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Esta curva ha sido determinada considerando las siguientes hipótesis:

- La corriente circula entre la mano y los pies.
- Únicamente se ha considerado la propia impedancia del cuerpo humano, no considerándose resistencias adicionales como la resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno, la resistencia del calzado o la presencia de empuñaduras aislantes, etc.
- La impedancia del cuerpo humano utilizada tiene un 50% de probabilidad de que su valor sea menor o igual al considerado.
- Una probabilidad de fibrilación ventricular del 5%.

Estas hipótesis establecen una óptima seguridad para las personas debido a la baja probabilidad de que simultáneamente se produzca una falta a tierra y la persona o animal esté tocando un componente conductor de la instalación.

Salvo casos excepcionales justificados, no se considerarán tiempos de duración de la corriente de falta inferiores a 0,1 segundos.

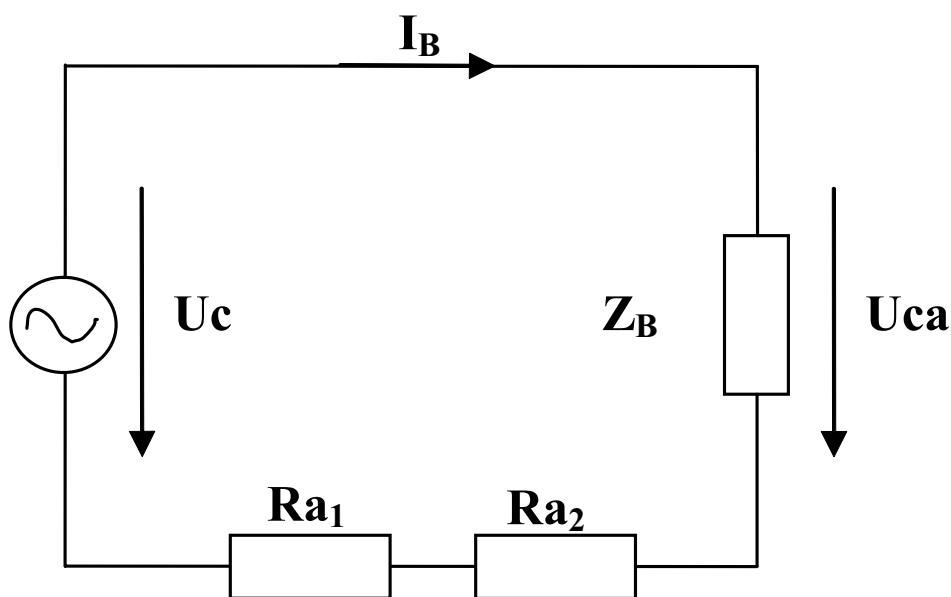
Para definir la duración de la corriente de falta aplicable, se tendrá en cuenta el funcionamiento correcto de las protecciones y los dispositivos de maniobra. En caso de instalaciones con reenganche automático rápido (no superior a 0,5 segundos), el tiempo a considerar será la suma de los tiempos parciales de mantenimiento de la corriente de defecto.

Cada defecto a tierra será desconectado automáticamente ó manualmente. Por lo tanto, las tensiones de contacto de muy larga duración, o de duración indefinida, no aparecen como una consecuencia de los defectos a tierra.

Para las tensiones de paso no es necesario definir valores admisibles, ya que los valores admisibles de las tensiones de paso aplicadas son mayores que los valores admisibles en las tensiones de contacto aplicadas. Por tanto, si un sistema de puesta a tierra satisface los requisitos numéricos establecidos para tensiones de contacto aplicadas, se puede suponer que, en la mayoría de los casos, no aparecerán tensiones de paso aplicadas peligrosas. Por este motivo no se definen valores admisibles para las tensiones de paso aplicadas. Cuando las tensiones de contacto calculadas sean superiores a los valores máximos admisibles, se recurrirá al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir el riesgo de las personas y de los bienes, en cuyo caso será necesario cumplir los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas, debiéndose tomar como referencia lo establecido en el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

A partir de los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada, se pueden determinar las máximas tensiones de contacto admisibles en la instalación,  $U_c$ , considerando todas las resistencias adicionales que intervienen en el circuito tal y como se muestra en la siguiente figura 2:

Figura 2. Esquema del circuito de contacto



donde:

$U_{ca}$  Tensión de contacto aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies.

$Z_B$  Impedancia del cuerpo humano.

$I_B$  Corriente que fluye a través del cuerpo;

$U_c$  Tensión de contacto máxima admisible en la línea que garantiza la seguridad de las personas, considerando resistencias adicionales (por ejemplo, resistencia a tierra del punto de contacto, calzado, presencia de superficies de material aislante).

$R_a$  Resistencia adicional ( $R_a = R_{a1} + R_{a2}$ );

$R_{a1}$  Es, por ejemplo, la resistencia de un calzado cuya suela sea aislante.

$R_{a2}$  Resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno.  $R_{a2} = 1,5\rho_s$ , donde  $\rho_s$  es la resistividad del suelo cerca de la superficie.

A efectos de los cálculos para el proyecto, para determinar las máximas tensiones de contacto admisibles,  $U_c$ , se podrá emplear la expresión siguiente:

$$U_c = U_{ca} \left[ 1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{Z_B} \right] = U_{ca} \left[ 1 + \frac{R_{a1} + 1,5\rho_s}{1000} \right]$$

que responde al siguiente planteamiento:

- $U_{ca}$  es el valor admisible de la tensión de contacto aplicada que es función de la duración de la corriente de falta. (figura 1 o tabla 18 de este mismo apartado)
- Se supone que la resistencia del cuerpo humano es de  $1000 \Omega$ .
- Se asimila cada pie a un electrodo en forma de placa de  $200 \text{ cm}^2$  de superficie, ejerciendo sobre el suelo una fuerza mínima de  $250 \text{ N}$ , lo que representa una resistencia de contacto con el suelo para cada electrodo de  $3\rho_s$ , evaluada en función de la resistividad superficial  $\rho_s$  del terreno. Al estar los dos pies juntos, la resistencia a tierra del punto de contacto será el equivalente en paralelo de las dos resistencias:  $R_{a2}=1,5\rho_s$ .
- Según cada caso,  $R_{a1}$  es la resistencia del calzado, la resistencia de superficies de material aislante, etc.

#### 7.3.4.2 Clasificación de los apoyos según su ubicación

Para poder identificar los apoyos en los que se debe garantizar los valores admisibles de las tensiones de contacto, se establece la siguiente clasificación de los apoyos según su ubicación:

a) Apoyos Frecuentados. Son los situados en lugares de acceso público y donde la presencia de personas ajenas a la instalación eléctrica es frecuente: donde se espere que las personas se queden durante tiempo relativamente largo, algunas horas al día durante varias semanas, o por un tiempo corto pero muchas veces al día, por ejemplo, cerca de áreas residenciales o campos de juego. Los lugares que solamente se ocupan ocasionalmente, como bosques, campo abierto, campos de labranza, etc., no están incluidos.

El diseño del sistema de puesta a tierra de este tipo de apoyos debe ser verificado según se indica en el apartado 7.3.4.3.

Desde el punto de vista de la seguridad de las personas, los apoyos frecuentados podrán considerarse exentos del cumplimiento de las tensiones de contacto en los siguientes casos:

1. Cuando se aislen los apoyos de tal forma que todas las partes metálicas del apoyo queden fuera del volumen de accesibilidad limitado por una distancia horizontal mínima de  $1,25 \text{ m}$ , utilizando para ello vallas aislantes.
2. Cuando todas las partes metálicas del apoyo queden fuera del volumen de accesibilidad limitado por una distancia horizontal mínima de  $1,25 \text{ m}$ , debido a agentes externos (orografía del terreno, obstáculos naturales, etc.).
3. Cuando el apoyo esté recubierto por placas aislantes o protegido por obra de fábrica de ladrillo hasta una altura de  $2,5 \text{ m}$ , de forma que se impida la escalada al apoyo.

En estos casos, no obstante, habrá que garantizar que se cumplen las tensiones de paso aplicadas.

A su vez, los apoyos frecuentados se clasifican en dos subtipos:

a.1) Apoyos frecuentados con calzado. Se considerará como resistencias adicionales la resistencia adicional del calzado,  $R_{a1}$ , y la resistencia a tierra en el punto de contacto,  $R_{a2}$ . Se puede emplear como valor de la resistencia del calzado  $1000 \Omega$ .

$$R_a = R_{a1} + R_{a2} = 1000 + 1,5\rho_s$$

Estos apoyos serán los situados en lugares donde se puede suponer, razonadamente, que las personas estén calzadas, como pavimentos de carreteras públicas, lugares de aparcamiento, etc.

a.2) Apoyos frecuentados sin calzado. se considerará como resistencia adicional únicamente la resistencia a tierra en el punto de contacto,  $R_{a2}$ . La resistencia adicional del calzado,  $R_{a1}$ , será nula.

$$R_a = R_{a2} = 1,5\rho_s$$

Estos apoyos serán los situados en lugares como jardines, piscinas, camping, áreas recreativas donde las personas puedan estar con los pies desnudos.

b) Apoyos no frecuentados. son los situados en lugares que no son de acceso público o donde el acceso de personas es poco frecuente.

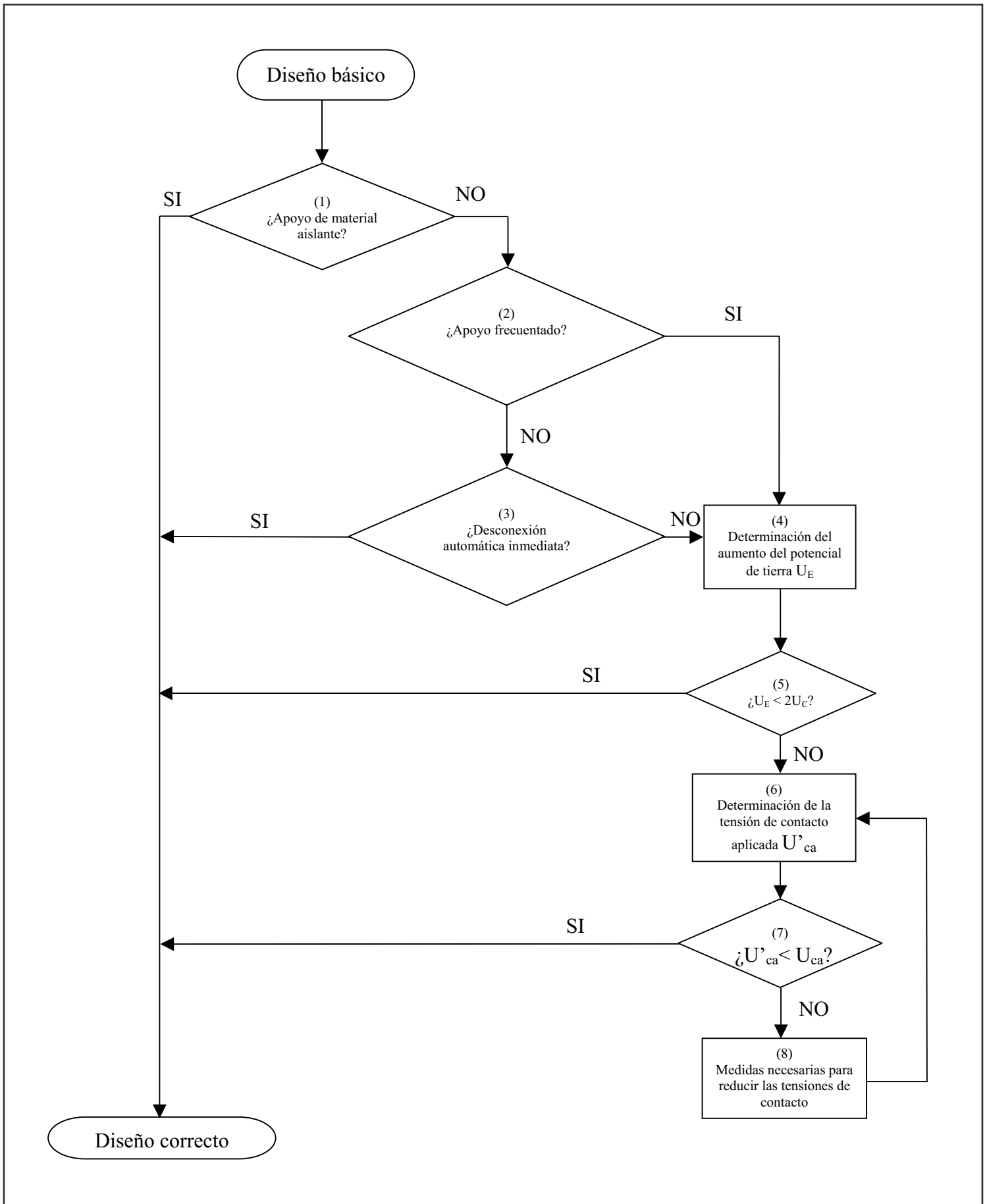
#### 7.3.4.3 Verificación del diseño del sistema de puesta a tierra.

Una vez que se ha realizado el diseño básico del sistema de puesta a tierra, con el que se satisfacen los requisitos a), b) y c) del apartado 7.1, se debe verificar que este diseño permita reducir los peligros motivados por una tensión de contacto excesiva.

La figura 3 muestra esquemáticamente los pasos que se deben tener en cuenta para establecer que el diseño del sistema de puesta a tierra satisface los requisitos de seguridad para las personas.



**Figura 3. Esquema del diseño de sistemas de puesta a tierra respecto a las tensiones de contacto admisibles**



Donde:

(1) Para madera y apoyos no conductores, las faltas a tierra no son posibles en la práctica y no hay ninguna prescripción para el sistema de puesta a tierra.

(2) En el caso de tratarse de apoyos frecuentados definidos en el apartado 7.3.4.2, el criterio para la seguridad de las personas debe ser cuidadosamente comprobado.

(3) En aquellos casos en que la línea esté provista con desconexión automática inmediata (en un tiempo inferior a 1 segundo) para su protección, en el diseño del sistema de puesta a tierra de los apoyos no frecuentados no será obligatorio garantizar, a un metro de distancia del apoyo, valores de tensión de contacto inferiores a los valores admisibles indicados en el apartado 7.3.4.1, ya que se puede considerar despreciable la probabilidad de acceso y la coincidencia de un fallo simultáneo. En definitiva, el diseño del sistema de puesta a tierra se considerará satisfactorio desde el punto de vista de la seguridad de las personas, sin embargo, el valor de la resistencia de puesta a tierra será lo suficientemente bajo para garantizar la actuación de las protecciones en caso de defecto a tierra.

(4) El aumento de potencial de tierra  $U_E$  debe calcularse en el punto donde se produce la falta. Los pasos a dar son:

- Determinar el valor de la corriente de falta de la línea,  $I_F = 3I_0$
- Determinar el reparto de la corriente de falta,  $I_E$ , conociendo las impedancias del sistema de tierras de la línea.

La corriente a tierra durante una falta viene dada por:

$$I_E = r \times 3I_0 = r \times I_F$$

donde

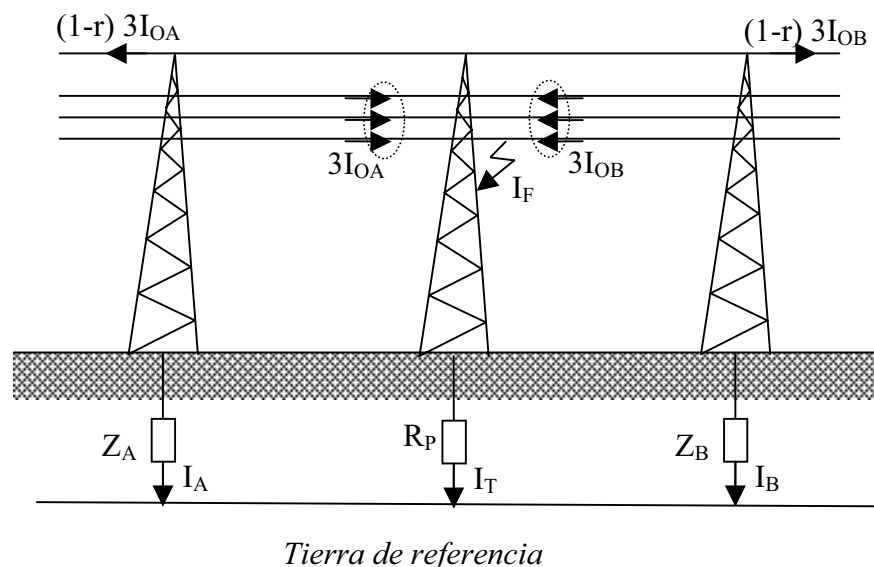
$I_0$  es la corriente homopolar o de secuencia cero durante la falta.

$r$ , factor de reducción por efecto inductivo debido a los cables de tierra, viene determinado por la relación entre la corriente que contribuye a la elevación del potencial de la instalación de tierra ( $I_E$ ) y la suma de las corrientes de secuencia cero del sistema trifásico hacia la falta ( $3I_0$ ). Para la distribución de corriente equilibrada de una línea aérea, el factor de reducción de un cable de tierra, puede ser calculado sobre la base de la impedancia propia del cable de tierra,  $Z_{EW-E}$ , y la impedancia mutua entre los conductores de fase y el cable de tierra  $Z_{ML-EW}$ .

$$r = 1 - \frac{Z_{ML-EW}}{Z_{EW-E}}$$

La figura 4 muestra la falta sobre un apoyo, el reparto de la corriente de falta conforme a las impedancias del sistema de tierras y la corriente por efecto inductivo sobre los cables de guarda,

**Figura 4. Distribución de corrientes en caso de defecto a tierra**

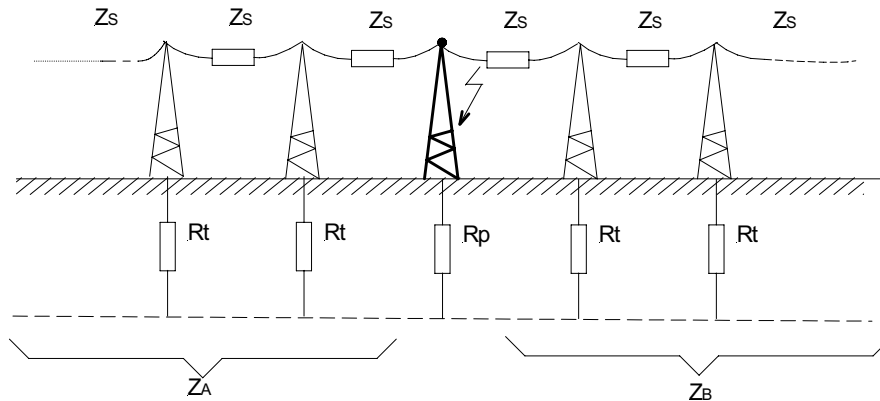


La corriente a tierra resultante,  $I_E$ , se reparte entre el propio apoyo de la falta y los apoyos colindantes a ambos lados de la línea:

$$I_E = r \times 3I_0 = I_T + I_A + I_B$$

La impedancia a tierra se podrá obtener por medición o cálculo, teniendo en cuenta el efecto de los cables de tierra y de los apoyos colindantes (Figura 5)

**Figura 5. Representación de las impedancias que intervienen en un defecto a tierra**



El paralelo de las impedancias  $Z_A$  y  $Z_B$  se denomina  $Z_E$ :

$$Z_E = \frac{Z_A * Z_B}{Z_A + Z_B}$$

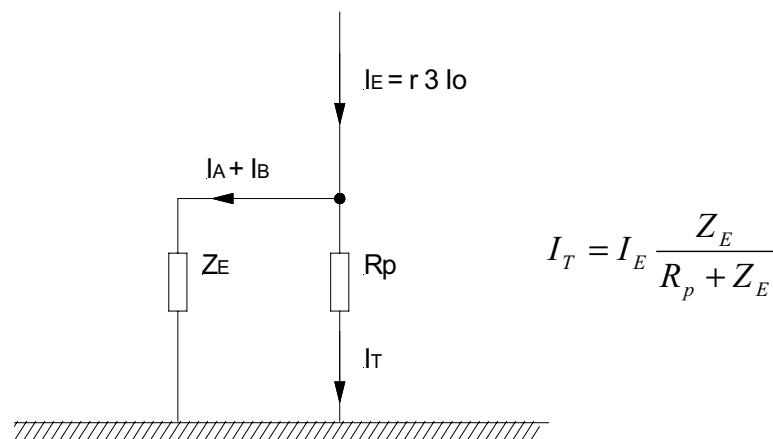
donde:

$$Z_A = Z_B = \frac{1}{2} (Z_S + \sqrt{Z_S \times (4 \times R_t + Z_S)})$$

$Z_S$  es la impedancia media de los vanos de cable de tierra.  
 $R_t$  es la resistencia media de tierra de los apoyos colindantes.

Según se muestra en la figura 6,  $Z_E$  es la impedancia equivalente del sistema de puesta a tierra de la línea exceptuando la resistencia de puesta a tierra del apoyo que sufre la falta a tierra.

**Figura 6. Distribución de corrientes entre las impedancias  $Z_E$  y la resistencia de puesta a tierra del apoyo  $R_p$**



$$I_T = I_E \frac{Z_E}{R_p + Z_E}$$

La corriente a tierra que circula por el apoyo más cercano a la falta,  $I_T$ , determina el aumento del potencial de tierra:

$$U_E = I_T \times R_p$$

Así el aumento del potencial de tierra es,

$$U_E = I_E \times \frac{Z_E R_p}{Z_E + R_p}$$

donde

$I_E$  es la corriente a tierra en la línea.

$Z_E$  es la impedancia a tierra de la línea exceptuando la resistencia de puesta a tierra del apoyo que sufre la falta a tierra.

$R_p$  es la resistencia de tierra del apoyo más cercano a la falta.

$I_T$  es la corriente a tierra que circula por el apoyo más cercano a la falta.

(5) El diseño del sistema de puesta a tierra se podrá considerar correcto si la elevación del potencial de tierra,  $U_{Et}$ , es menor que dos veces el valor admisible de la tensión de contacto  $U_{cr}$ , especificado en el apartado 7.3.4.1, considerando, en cada caso concreto, las resistencias adicionales que intervengan en el circuito de contacto.

(6)-(7) El proyectista del sistema de puesta a tierra deberá comprobar mediante el empleo de un procedimiento de cálculo sancionado por la práctica que los valores de las tensiones de contacto aplicada,  $U'_{car}$ , que calcule, a un metro de distancia de la estructura, para la instalación proyectada en función de la geometría de la misma, de la corriente de puesta a tierra que considere y de la resistividad correspondiente al terreno, no superen, en las condiciones más desfavorables, los valores admisibles indicados en el apartado 7.3.4.1.

Los métodos de cálculo y valores de las tensiones de contacto aplicadas deberán especificarse en las especificaciones de proyecto.

(8) Si la condición dada en la observación (7) no es satisfecha, entonces deberán tomarse medidas para reducir la tensión de contacto aplicada, hasta que los requisitos sean cumplidos. Estas medidas pueden ser recogidas en las especificaciones de proyecto.

Estas medidas pueden ser por ejemplo: anillos enterrados de repartición de potencial, aislamiento de la torre, incremento de la resistividad de la capa superior del suelo, etc.

Cuando se recurra al empleo de medidas adicionales de seguridad que impidan el contacto con partes metálicas puestas a tierra (por ejemplo sistemas antiescalo de fábrica de ladrillo), no será necesario calcular la tensión de contacto aplicada, pero será preciso cumplir los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas. Para ello deberá tomarse como referencia lo establecido en el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

Una vez construido el sistema de puesta a tierra y para tener una mayor certeza de que el diseño del sistema de puesta a tierra es correcto con respecto a la seguridad de las personas, se deberán realizar las comprobaciones y verificaciones precisas in situ.

Con objeto de comprobar que los valores máximos posibles de la tensión de contacto aplicada son inferiores o iguales a los valores máximos admitidos indicados en el apartado 7.3.4.1, se realizarán estas medidas en los apoyos no frecuentados sin desconexión automática inmediata y en todos los apoyos frecuentados. En las líneas de tercera categoría se podrá sustituir la medida de la tensión de contacto por la medida de resistencia de puesta a tierra, siempre que se haya establecido una correlación, sancionada por la práctica, entre los valores de la tensión de contacto y de la resistencia de puesta a tierra. La medición de la tensión aplicada de contacto se realizará según el apartado 7.3.4.6.

Los potenciales transferidos, si ello ocurre, deberán ser siempre verificados en un cálculo aparte.

#### 7.3.4.4 Condiciones difíciles de puesta a tierra.

Cuando por los valores de la resistividad del terreno, de la corriente de puesta a tierra o del tiempo de eliminación de la falta, no sea posible técnicamente, o resulte económicamente desproporcionado mantener los valores de las tensiones de contacto aplicadas dentro de los límites fijados en el apartado 7.3.4.1, deberá recurrirse al empleo de medidas adicionales de seguridad, a fin de reducir los riesgos a las personas y los bienes.

Tales medidas podrán ser entre otras:

- Hacer inaccesibles los apoyos.
- Disponer suelos o pavimentos que aislen suficientemente de tierra las zonas de servicio peligrosas.
- Aislar todas las partes metálicas de los apoyos que puedan ser tocadas.

Se dispondrá el suficiente número de rótulos avisadores con instrucciones adecuadas en las zonas peligrosas.

#### 7.3.4.5 Determinación de las intensidades de defecto para el cálculo de las tensiones de contacto.

El proyectista deberá tener en cuenta los posibles tipos de defectos a tierra y las intensidades máximas en los distintos niveles de tensiones existentes en la instalación y tomar el valor más desfavorable.

Para el cálculo de las intensidades de defecto y de puesta a tierra, se ha de tener en cuenta la forma de conexión del neutro a tierra, así como la configuración y características de la red durante el período subtransitorio.

#### 7.3.4.6 Medición de la tensión de contacto aplicada.

Para la medición de la tensión de contacto aplicada deberá usarse un método por inyección de corriente.

Se emplearán fuentes de alimentación de potencia adecuada para simular el defecto, de forma que la corriente inyectada sea suficientemente alta, a fin de evitar que las medidas queden falseadas como consecuencia de corrientes vagabundas o parásitas circulantes por el terreno.

Consecuentemente, y a menos que se emplee un método de ensayo que elimine el efecto de dichas corrientes parásitas, por ejemplo, método de inversión de la polaridad, se procurará que la intensidad inyectada sea del orden del 1 por 100 de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación y en cualquier caso no inferior a 50 A.

Los cálculos se harán suponiendo que para determinar las tensiones de contacto posibles máximas existe proporcionalidad entre la intensidad inyectada y la intensidad de puesta a tierra  $I_E$ .

Los electrodos de medición para la simulación de los pies con una resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de valor  $R_{a2}=1,5\rho_s$ , donde  $\rho_s$  es la resistividad superficial del suelo, deberán tener cada uno un área de 200 cm<sup>2</sup> y estarán presionando sobre la tierra con una fuerza mínima de 250 N. Para la medición de la tensión de contacto en

cualquier parte de la instalación, dichos electrodos deberá estar situados juntos y a una distancia de un metro de la parte expuesta de la instalación. Para suelo seco u hormigón conviene colocar entre el suelo y los electrodos un paño húmedo o una película de agua.

Para la simulación de la mano se empleará un electrodo capaz de perforar el recubrimiento de las partes metálicas para que no actúe como aislante.

Las mediciones se realizarán con un voltímetro de resistencia interna  $1000 \Omega$ , que representa la impedancia del cuerpo humano,  $Z_B$ . Un terminal del voltímetro será conectado al electrodo que simula la mano y el otro terminal a los electrodos que simulan los pies. De esta forma, el voltímetro indicará directamente el valor de la medición de la tensión de contacto aplicada.  $U'_{ca} = U'_{Volumetro}$ , siempre que la intensidad inyectada sea igual a la intensidad de puesta a tierra.

En el caso de considerarse la resistencia adicional,  $R_{a1}$ , como, por ejemplo, el calzado, se podrá emplear un voltímetro de resistencia interna suma de la resistencia adicional ( $R_{a1}$ ) considerada y la resistencia del cuerpo humano ( $Z_B = 1000 \Omega$ ). En este caso, el valor de la medición de la tensión de contacto aplicada,  $U'_{ca}$ , vendrá determinado por:

$$U'_{ca} = U_{Volumetro} \times \left[ \frac{Z_B}{R_{a1} + Z_B} \right]$$

### 7.3.5 Dimensionamiento para la protección contra los efectos del rayo

Desde el punto de vista del criterio de coordinación de aislamiento, debería tenerse en cuenta que, en el caso de descargas atmosféricas, la magnitud a considerar es la impedancia de onda del electrodo de tierra, que también depende de su forma, dimensiones y resistividad del suelo. El valor de esta impedancia es prácticamente igual al valor de la resistencia, si la longitud del electrodo no supera una longitud crítica  $L_c$ . El valor de la longitud crítica depende del valor de la resistividad y de la frecuencia de la onda representativa de la descarga (1 MHz), y viene expresada por la fórmula:

$$L_c(m) = \sqrt{\frac{\rho(\Omega m)}{f(MHz)}}$$

Para electrodos de longitud mayor que la crítica, la impedancia de onda será mayor que la resistencia de tierra. Por lo tanto, es preferible disponer un sistema de tierra compuesto por múltiples electrodos que por uno solo de gran longitud.

### 7.3.6 Valor de la resistencia de puesta a tierra de los apoyos.

En el caso de líneas eléctricas que contengan cables de tierra a lo largo de toda su longitud, la resistencia de puesta a tierra de los apoyos debe de ser determinada eliminando el efecto de los cables de tierra.

El valor de la resistencia de puesta a tierra debe satisfacer en función del tipo de apoyo los siguientes requisitos:

a) Para apoyos frecuentados de material no aislante: el valor de la resistencia de puesta a tierra debe garantizar un dimensionamiento apropiado con respecto a la seguridad de las personas y a la protección contra los efectos del rayo según los apartados 7.3.4 y 7.3.5, respectivamente.

b) Para apoyos frecuentados o no frecuentados de material no aislante: el valor de la resistencia de puesta a tierra debe asegurar el correcto funcionamiento de las protecciones en caso de defecto a tierra en función del sistema de puesta a tierra del neutro.

### 7.3.7 Vigilancia periódica del sistema de puesta a tierra.

Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad, toda instalación de puesta a tierra deberá ser comprobada en el momento de su establecimiento y revisada, al menos, una vez cada 6 años.

La vigilancia periódica de las líneas aéreas permitirá detectar modificaciones sustanciales de sus condiciones de diseño que justifiquen la verificación de la medida de la tensión de contacto aplicada. Por ejemplo, cuando un apoyo no frecuentado adquiera la condición de frecuentado debido a desarrollos urbanísticos o nuevas infraestructuras, o aquellos casos en los que el terreno donde se sitúa un apoyo frecuentado cambia sustancialmente su resistividad, debido por ejemplo a su asfaltado o ajardinamiento.

## 8. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Es aplicable lo indicado en el apartado 8 de la ITC-LAT 06.