# TEMA 31

# APOYOS PARA LÍNEAS AÉREAS

## 31.1. LÍNEA AÉREA.

Se llama línea aérea al conjunto de cables que soportados por unos postes transportan la energía eléctrica desde un punto a otro. Los cables conductores están unidos a los postes mediante crucetas u otro tipo de soportes, estando aislados debidamente. Los postes están sujetos al terreno mediante cimentaciones. Al conjunto formado por poste y su cimentación, y los soportes de los conductores, se denomina *apoyo.*

La línea eléctrica aérea está constituida por:

☞ Apoyos.

☞ Conductores.

## 31.2. VANO Y FLECHA.

Se denomina vano, en una línea aérea, a la distancia entre dos apoyos consecutivos.

Se denomina flecha de un vano, la distancia entre la recta que une los extremos del cable entre dos apoyos consecutivos, y el punto más bajo del conductor en dicho vano.

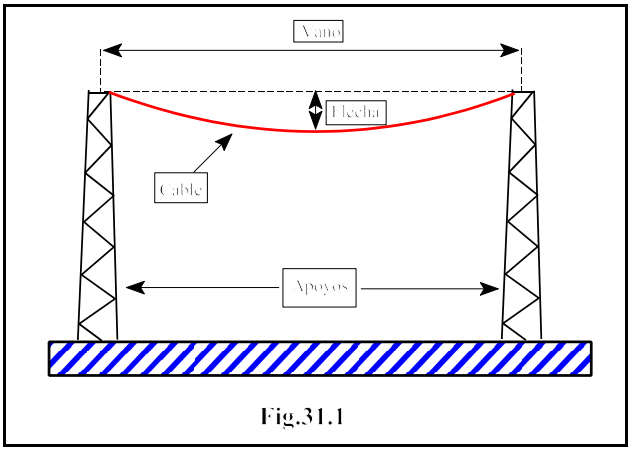


Fig.31.1

## 31.3. APOYOS DE LÍNEAS AÉREAS.

El Artículo 12 del Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión[1] establece los distintos tipos de apoyos, así como las características de los mismos.

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 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 lluvia.

En lo que se refiere a los aisladores el Artículo 11 del citado Reglamento[2] dice que los aisladores utilizados podrán ser de porcelana, vidrio un otro material de características adecuadas a su función.

Las partes metálicas de los aisladores estarán protegidas adecuadamente contra la acción corrosiva de la atmósfera.

Los aisladores pueden ir:

- Directamente al poste.
- A través de crucetas.

Las crucetas pueden ser, a su vez, de hormigón, madera o metálicas.

## 31.4. ESFUERZOS QUE SOPORTAN LOS APOYOS EN LÍNEAS AÉREAS.

Los apoyos de líneas aéreas están sometidos a distintos tipos de esfuerzos:

- Verticales
- Transversales
- Longitudinales

### 31.4.1. ESFUERZOS VERTICALES.

[1] Art. 12. Los conductores de la línea se fijarán mediante aisladores y los cables de tierra de modo directo a las estructuras de apoyo. Estas estructuras podrán ser metálicas, de hormigón, madera u otros materiales apropiados, bien de material homogéneo o combinación de varios de los citados anteriormente.

[2] Art. 11. Los aisladores utilizados en las líneas a que se refiere este Reglamento podrán ser de porcelana, vidrio u otro material de características adecuadas a su función.

Las partes metálicas de los aisladores estarán protegidas adecuadamente contra la acción corrosiva de la atmósfera.

Los esfuerzos verticales son debidos, fundamentalmente, al peso de los cables. En ocasiones a este peso hay que sumarle el del manguito de hielo.

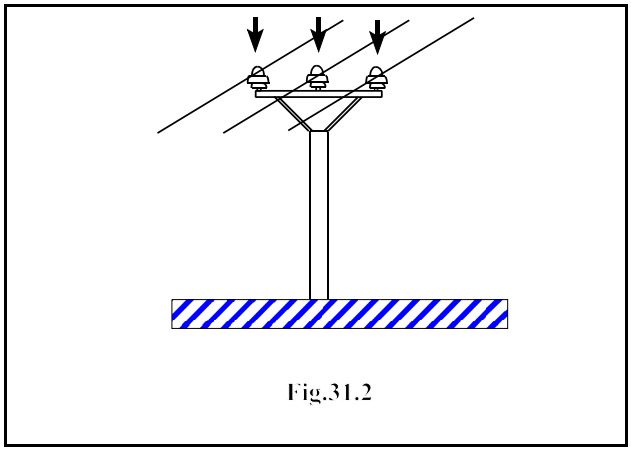


Fig.31.2

### 31.4.2. ESFUERZOS TRANSVERSALES.

Se deben a dos causas:

- Acción del viento (Fig.31.3)

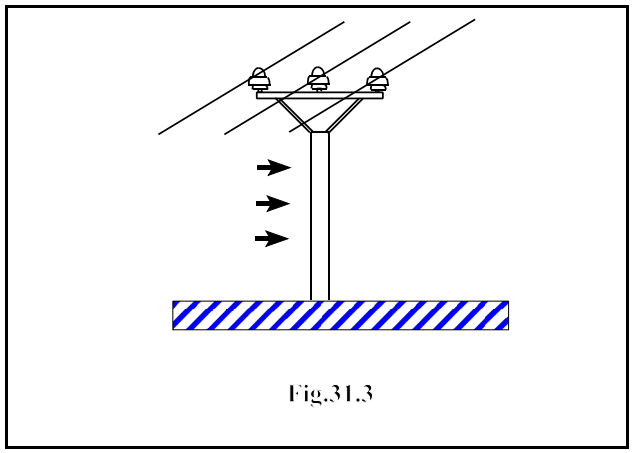


Fig.31.3

- Tracciones de los conductores cuando éstos están formando un ángulo. (Fig.31.4)

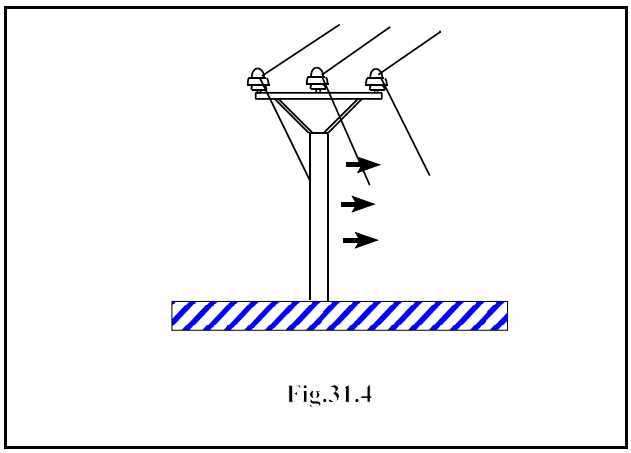


Fig.31.4

### 31.4.3. ESFUERZOS LONGITUDINALES.

Debidos a la tracción longitudinal de los cables, o en algunos casos por la rotura de los conductores que sujetan los apoyos. Estos esfuerzos tienen lugar sobre todo en los apoyos finales de línea.

Todos estos esfuerzos, se pueden combinar, lo que dará lugar en algunos casos a diseñar apoyos especiales.

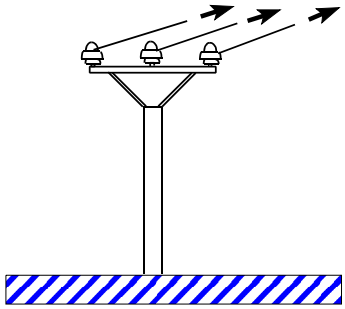


Fig.31.5

## 31.5. CLASIFICACIÓN DE LOS APOYOS DE ACUERDO CON SU FUNCIÓN.

Teniendo en cuenta la función que desempeñan en las líneas, los apoyos se pueden clasificar en las siguientes clases:

*Apoyos de alineación.* Se denomina también *apoyos de sustentación*, y sirven para soportar los conductores y cables de tierra. Se emplean en alineaciones rectas.

Los esfuerzos que pueden soportar son:

⇨ Verticales.

⇨ Transversales, debidos al viento.

*Apoyos de anclaje.* Se denomina también *apoyos de amarre,* y sirven para proporcionar puntos firmes en la línea que limiten los esfuerzos longitudinales de carácter excepcional, como son los debidos a roturas de cables. Se disponen en distancias de más de 2 km en alineaciones rectas.

Los esfuerzos que pueden soportar son:

⇨ Verticales.

⇨ Transversales, debido al viento.

⇨ Longitudinales excepcionales.

*Apoyos de fin de línea.* Se montan al principio o al final de la línea, cuando el esfuerzo longitudinal de los conductores no está equilibrado por la acción de otro apoyo contiguo.

Los esfuerzos que deben soportar son:

⇨ Longitudinales de todos los cables, incluidos los de tierra.
⇨ Verticales debidos al peso propio de los cables, y excepcionalmente de los manguitos de hielo que se puedan formar en ellos.
⇨ Transversales, debido al viento.

*Apoyos especiales.* Son diferentes de los anteriores. Los más interesantes son:

*Apoyos de Cruce:* Se utilizan en vanos en los que crucen con vías de ferrocarril, línea telefónicas, etc.

*Bifurcación y derivación:* Se utilizan para bifurcar y derivar líneas.

*Apoyos de ángulo:* Se utilizan para sostener los conductores y cables de tierra en los vértices de los ángulos que forman dos alineaciones.

## 31.6. CLASIFICACIÓN DE LOS APOYOS DE ACUERDO CON SU NATURALEZA.

De acuerdo con el material con el que estén hechos los postes se pueden clasificar en:

*Apoyos de madera.*
*Apoyos de hormigón.*
*Apoyos metálicos.*

### 31.6.1. APOYOS DE MADERA.

Como su nombre indica se utiliza madera para los postes de estos apoyos.

En España se aconseja utilizar las siguientes especies:

*Frondosas* : Castaño y acacia.

*Coníferas*: Pino silvestre, pino laricio, pino pinaster y abeto.

Quedan relegadas a instalaciones provisionales, con vida útil no más de dos años, las especies de crecimiento rápido como, el pino insignis y el eucalipto.

Aunque, en casos excepcionales se han utilizado hasta tensiones de 132 kV, su utilización normal es en líneas de Baja Tensión, y en Alta Tensión hasta 33 kV.

La longitud de los vanos con este tipo de postes no debe sobrepasar los 80 m, en postes de anclaje y 20 m en postes de alineación.

Los postes de madera son los más económicos, pero como inconveniente cabe destacar que se pudren relativamente pronto al estar sometidos a la intemperie. Para alargar su duración, se impregnan con sustancias protectoras, (antes de su montaje), como son:

Creosota.
Cloruro de zinc.
Meta-arseniato de zinc.
Polvo granulado para madera.

La duración de los postes de madera se estima entre 5 y 10 años, para los que no han sido tratados antes de su montaje, y entre 14 y 30 años para los tratados, dependiendo del tipo de madera y condiciones meteorológicas de la zona en que se encuentren instalados.

Los postes de madera, en lo que se refiere a los esfuerzos mecánicos, han de cumplir las siguientes condiciones:

*Compresión:* Ha de soportar un esfuerzo superior a 400 $kg.cm^{-2}$ (con humedad del 13 %).

*Tracción:* Será como mínimo el de compresión multiplicado por 1,5.

*Flexión estática:* El coeficiente de resistencia a la flexión en los postes destinados a trabajar por flexión estática, debe ser superior a 1.000 $kg.cm^{-2}$ para todas las especies, excepto para el castaño en cuyo caso se admite 650 $kg.cm^{-2}$.

*Flexión dinámica:* El coeficiente unitario de resistencia al choque, debe ser el que corresponde a la expresión:

$$k = \frac{W}{634} \qquad (31.1)$$

Donde W es el trabajo que ocasiona la rotura, expresado en **kg**.

[3]En líneas de postes de madera, se emplearán principalmente el castaño y la acacia entre las especies frondosas y el pino silvestre, pino laricio, pino pinaster y abeto, entre las especies coníferas.

Las especies coníferas deberán ser tratadas mediante procedimiento de preservación eficaz, que evite su putrefacción.

La madera de los postes deberá tener la fibra recta, ser sana; debidamente descortezada y seca, y no presentará grietas longitudinales o radiales, nudos viciosos, torceduras excesivas, ni indicios de ataque.

[3]Artículo 12, apartado 4, del Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

El extremo superior deberá tallarse en cono o cuña para dificultar la penetración del agua de lluvia.

Las crucetas de madera deberán ser rectas, sin nudos apreciables, debiendo ser tratadas como se ha indicado anteriormente.

El diámetro mínimo de los postes será de 11 centímetros en su extremo superior, en las especies coníferas, valor que podrá reducirse a 9 cm para el castaño.

### 31.6.2. APOYOS DE HORMIGÓN.

El hormigón se obtiene por mezcla de cemento, un agregado y agua. La característica principal del hormigón es su resistencia a la compresión. Debido a que la resistencia a la tracción del hormigón es la décima parte de su resistencia a la compresión, se incorpora al hormigón en masa una armadura metálica constituyéndose de esta forma el hormigón armado.

[4]En todos los tipos prefabricados - centrifugados, vibrados, pretensados, etc. - debe prestarse especial atención al grueso de recubrimiento de hormigón sobre las armaduras, en evitación de grietas longitudinales, y como garantía de la impermeabilidad.

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.

Se recomienda limitar la utilización de apoyos moldeados en otra a casos especiales, en los cuales deben arbitrarse los medios necesarios para poder controlar adecuadamente la calidad de su fabricación.

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

Los tipos de apoyos de hormigón utilizados en los tendidos eléctricos son:

- ☞ Hormigón armado.
- ☞ Hormigón vibrado.
- ☞ Hormigón centrifugado.
- ☞ Hormigón pretensado.

Los postes de hormigón resultan mejores que los de madera y, en ciertos casos mejores que los metálicos. Las líneas proyectadas con estos postes resultan económicas y con gastos de mantenimiento reducidos.

Los postes de hormigón pretensado permiten la utilización del acero y hormigón de alta

[4]Artículo 12, apartado 3, del Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión

resistencia, proporcionando un aumento importante de la resistencia a fisuración, resistencia a cargas dinámicas, etc.

Pueden combinarse la utilización de pretensado con vibrado o con centrifugado, obteniéndose de esta forma postes muy robustos.

Los postes de hormigón pretensado se fabrican con hormigón compacto con resistencia a la comprensión comprendida entre 200 y 600 $kg.cm^2$. La resistencia de la armadura a la tracción, está comprendida entre 120 $kg.mm^{-2}$ para las barras y 175 $kg.mm^{-2}$ para las varillas.

### 31.6.3. APOYOS METÁLICOS.

Se emplea generalmente acero de calidad normal, en distintos tipos de perfiles. Las uniones se realizan normalmente mediante pernos, tornillos y remaches.

La ventaja que presentan estos postes es su superior resistencia mecánica respecto a los dos tipos anteriores, unido a la facilidad de transporte, así como su fácil mantenimiento y mejor estética.

[5]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 remachada o atornillada no podrán emplearse 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 tonillos ni remaches de un diámetro inferior a 12 milímetros.

La utilización de tubos y en general de perfiles cerrados, se hará siempre en forma que resulten estancos.

En estas condiciones, el espesor mínimo de la pared no será inferior a tres milímetros, límite que podrá reducirse a dos y medio 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.

[5]Artículo 12, apartado 2, del Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión

Se pueden clasificar en los siguientes tipos:

1.- Perfiles laminados.
2.- Tubulares.
3.- Celosía de perfiles laminados.
4.- Celosía tubular.
5.- Celosía mixtos.

## 31.7. CÁLCULO MECÁNICO DE LOS APOYOS.

Para realizar el cálculo mecánico de un apoyo hay que considerar, en primer lugar, las acciones de acuerdo con el tipo de apoyos, para posteriormente pasar a las hipótesis de cálculo.

### [6] 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 construidos, 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 4 del artículo 30[7].

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

a) Rotura (descohesión).

b) Fluencia (deformaciones permanentes).

c) Inestabilidad (pandeo o inestabilidad general).

### 2. Características resistentes de los diferentes materiales[8].

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

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

Para la madera, en el caso de no disponer de sus características exactas, puede adoptarse como base cálculo una carga de rotura de 500 $kg.cm^{-2}$, para las coníferas, y de 400 $kg.cm^{-2}$, para el

[6] Artículo 30.1. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

[7] Coeficientes de seguridad.

[8] Artículo 30.2. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

castaño; debiendo tenerse presente la reducción con el tiempo de la sección de la madera en el empotramiento.

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

En el caso de no ser así, el cálculo debe ser realizado de manera que las tensiones admisibles no sean superiores a las que se obtienen de la fórmula siguiente:

$$\frac{N}{A} = \frac{\rho_E}{\nu . K}$$

Siendo:
N = Esfuerzo de compresión de la barra (kg).
$\rho_E$ = Límite de fluencia del material a tracción ($kg.cm^{-2}$).
A = Área de la sección transversal de la barra ($cm^{-2}$).
$\nu$ = Coeficiente de seguridad: 1,5 para las hipótesis normales y 1,2 para hipótesis anormales.
K = Coeficiente función de la esbeltez ($\lambda$) de la pieza, que a su vez, es la relación entre la longitud libre de pandeo y el radio de giro mínimo de la sección.

Los valores de **K** para los aceros dulces de 2.400 $kg.cm^{-2}$ de límite de fluencia son los indicados en la Tabla 31.1.

**Tabla 31.1**

| Esbeltez | K | Esbeltez | K |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| 20 | 1,06 | 100 | 1,80 |
| 25 | 1,06 | 105 | 1,92 |
| 30 | 1,07 | 110 | 2,06 |
| 35 | 1,08 | 115 | 2,18 |
| 40 | 1,10 | 120 | 2,34 |
| 45 | 1,12 | 125 | 2,51 |
| 50 | 1,14 | 130 | 2,68 |
| 55 | 1,17 | 135 | 2,86 |
| 60 | 1,21 | 140 | 3,03 |
| 65 | 1,24 | 145 | 3,21 |
| 70 | 1,29 | 150 | 3,42 |
| 75 | 1,35 | 155 | 3,70 |
| 80 | 1,42 | 160 | 3,89 |
| 85 | 1,49 | 165 | 4,07 |
| 90 | 1,59 | 170 | 4,33 |
| 95 | 1,70 | 175 | 4,55 |
| | | 180 | 4,80 |

Caso de emplear otros tipos de acero, deberá justificarse los valores de K pertinentes.

Estos valores corresponden a la barra biarticulada. En las estructuras de celosía se supondrán todas las barras biarticuladas a estos efectos.

Sin embargo, podrán tomarse en consideración diferentes grados de empotramiento en los nudos en función de la forma en que se ejecuten realmente las uniones, siempre y cuando su determinación se base en resultados de ensayos realizados en condiciones comparables a las que realmente se presenten.

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:

| **Elementos de las uniones** | **Límites de agotamiento (Función del límite de fluencia)** |
|---|---|
| Tornillos ordinarios a cortadura | 0,7 |
| Tornillos calibrados y remaches a cortadura | 1,0 |
| Perfiles al aplastamiento con tornillos ordinarios | 2,0 |

| | |
|---|---|
| Perfiles al aplastamiento con remaches o tornillos calibrados | 2,5 |
| Tornillos a tracción | 0,7 |

En las uniones por soldadura, se adoptarán como límites 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.*

### 31.7.1. ACCIONES A CONSIDERAR.

Los Art. 18 y 19 del Reglamento especifican las acciones que hay que considerar. En la Tabla 31.2 se resumen estas acciones, se analizan los desequilibrios de tracciones y rotura de conductores para los distintos tipos de apoyos; alineación, ángulo, anclaje y fin de línea. Finalmente se indica los puntos de aplicación de los esfuerzos resultantes.

### 31.7.2. HIPÓTESIS DE CÁLCULO.

[9]En la Tabla 31.3 se expresan las diferentes hipótesis de cálculo de apoyos para líneas situadas en la zona A. En la Tabla 31.4 se expresan las diferentes hipótesis de cálculo de apoyos para las líneas situadas en las zonas B y C, respectivamente.

En todos los casos se tendrán en cuenta, a efectos de cálculo mecánico de apoyos, las diversas hipótesis:

① Viento.

② Hielo.

③ Desequilibrio de tracciones.

④ Rotura de conductores.

En las líneas de segunda y tercera categoría, en los apoyos de alineación y de ángulo con conductores de carga de rotura inferior a 6.600 kg, se puede prescindir de la consideración de la cuarta hipótesis cuando en una 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 las hipótesis tercera sea

[9]Artículo 30.3. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

el correspondiente a las hipótesis normales.

c) Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 km, como máximo.

Los apoyos que se deben utilizar deben ser todos normalizados, lo que significa que se conocen los esfuerzos equivalentes en punta. El cálculo de los apoyos se hará considerando en cada caso; alineación, ángulo, anclaje o fin de línea las hipótesis que se reflejan en las Tablas 31.2 y 31.3, según la zona en que nos encontremos, para determinar el máximo esfuerzo al que van a ser sometidos con la hipótesis más desfavorable. Se elegirá en apoyo cuyo esfuerzo útil en punta sea superior al anterior.

**Tabla 31.2.**

<table>
<tr><th colspan="6">Tipo de Apoyo</th></tr>
<tr><th colspan="4">Acciones</th><th>Alineación o ángulo</th><th>Anclaje</th><th>Fin de Línea</th></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Desequilibrio de tracciones (1)</td><td>Esfuerzo longitudinal</td><td>8% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra</td><td>50% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra.</td><td>100% de las tracciones unilaterales de todos los conductores y cables de tierra.</td></tr>
<tr><td>Punto de aplicación</td><td colspan="2">Distribuido en el eje del apoyo a la altura de los puntos de fijación de los conductores y cables de tierra.</td><td>En los puntos de fijación de los conductores y cables de tierra</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Rotura de conductores (2)</td><td rowspan="4">Esfuerzo Long.</td><td>Simple</td><td colspan="2">Sin reducción: tensión del conductor roto.</td><td colspan="2">100 % de la tensión del conductor roto</td></tr>
<tr><td>Duplex</td><td colspan="2">Con reducción: 50% de la tensión del conductor roto.</td><td rowspan="3">Rotura total de los conductores de un haz de fase, supuestos aquellos con una tensión mecánica igual al 50% de la que les corresponde en la hipótesis que se considere</td><td rowspan="3">Rotura de los conductores de un haz con el 100% de la tensión que les corresponde en la hipótesis que se considere</td></tr>
<tr><td>Triples</td><td colspan="2">Con reducción: 75% de la tensión del conductor roto</td></tr>
<tr><td>Cuádruples</td><td colspan="2">100% de la tensión del conductor roto</td></tr>
<tr><td colspan="2">Punto de aplicación</td><td colspan="4">En el punto de fijación del conductor o cable de tierra que produzca la solicitación más desfavorable.</td></tr>
</table>

(1) Artículo 18 del Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.
(2) Artículo 19 del Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

**Tabla 31.3**
**Apoyos de Líneas situadas en Zona A**
**(Altitud inferior a 500 m)**

| Tipo de apoyo | Primera hipótesis (Viento) | Tercera hipótesis (Desequilibrio de Tracciones) | Cuarta hipótesis (Rotura de conductores) |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| Alineación | Cargas permanentes<br>Viento<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes<br>Desequilibrio de tracciones<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes<br>Rotura de conductores<br>Temperatura -5ºC |
| Ángulo | Cargas permanentes<br>Viento<br>Resultante de ángulo<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes<br>Desequilibrio de tracciones<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes<br>Rotura de conductores<br>Temperatura -5ºC |
| Anclaje | Cargas permanentes<br>Viento<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes<br>Desequilibrio de tracciones<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes<br>Rotura de conductores<br>Temperatura -5ºC |
| Fin de línea | Cargas permanentes<br>Viento<br>Desequilibrio de tracciones<br>Temperatura -5ºC | | Cargas permanentes<br>Rotura de conductores<br>Temperatura -5ºC |
| Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerarán éstos, además, sometidos a la acción del viento. | | | |

**Tabla 31.4**
**Apoyos de líneas situadas en Zonas B y C**
**(Altitud igual o superior a 500 m)**

| Tipo de apoyo | Primera hipótesis (Viento) | Segunda hipótesis (Hielo) | Tercera hipótesis (Desequilibrio de tracciones) | Cuarta hipótesis (Rotura de conductores) |
|---|---|---|---|---|
| Alineación | Cargas permanentes.<br>Viento<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona.<br>Temperatura, según zona | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona.<br>Desequilibrio de tracciones.<br>Temperatura, según zona. | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona<br>Rotura de conductores<br>Temperatura, según zona. |
| Ángulo | Cargas permanentes.<br>Viento<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona.<br>Resultante de ángulo.<br>Temperatura, según zona | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona.<br>Desequilibrio de tracciones.<br>Temperatura, según zona. | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona<br>Rotura de conductores<br>Temperatura, según zona. |
| Anclaje | Cargas permanentes.<br>Viento<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona.<br>Temperatura, según zona | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona.<br>Desequilibrio de tracciones.<br>Temperatura, según zona. | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona<br>Rotura de conductores<br>Temperatura, según zona. |
| Fin de línea | Cargas permanentes.<br>Viento<br>Temperatura -5ºC | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona.<br>Desequilibrio de tracciones.<br>Temperatura, según zona | | Cargas permanentes.<br>Hielo, según zona<br>Rotura de conductores<br>Temperatura, según zona. |

## 31.7.3. COEFICIENTES DE SEGURIDAD.

[10]Los coeficientes de seguridad de los apoyos serán diferentes según el carácter de la hipótesis que han de ser aplicados. En este sentido, las hipótesis se clasifican dé acuerdo con la

[10]Artículo 30.4. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

Tabla 31.5:

***Tabla 31.5***

| Tipos de apoyo | Hipótesis normales | Hipótesis anormales |
|---|---|---|
| Alineación | 1ª, 2ª | 3ª, 4ª |
| Ángulo | 1ª, 2ª | 3ª, 4ª |
| Anclaje | 1ª, 2ª | 3ª, 4ª |
| Fin de línea | 1ª, 2ª | 4ª |

*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 anormales.

Cuando la resistencia mecánica de los apoyos completos se comprobase 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 no será inferior a 3 para hipótesis normales y 2,5 para las anormales.

En el caso de postes de hormigón constructivo en talleres específicos y cuyas cualidades obtenidas por ensayo en verdadera magnitud demuestren una uniformidad de resultados en la carga de rotura mínima de una forma sistemática, estos coeficientes de seguridad podrán ser reducidos a 2,5 y 2 respectivamente.

Dicha carga de rotura mínima será aquella cuya probabilidad de que aparezcan cargas menores es inferior al 2 por 100 del valor medio de la distribución menos 2,06 veces la desviación típica

*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.

### 31.7.4. CIMENTACIONES.

En el caso que los postes sean de madera, estos pueden colocarse directamente en el suelo, o bien utilizar piezas especiales. La longitud del poste que debe quedar enterrada no será inferior a 1,6 m y, como mínimo 1/6 de su longitud total.

Si no se pudiera enterrar directamente el poste de madera, pueden usarse refuerzos, entre los que cabe señalar:

- ☞ Tabla para asentar la base.
- ☞ Postecillo de madera.
- ☞ Vigueta de hierro.
- ☞ Zapata de hormigón.
- ☞ Tubo de cemento centrifugado.
- ☞ Tenazas de Ritter.
- ☞ Camisa de hierro.

En él supuesto que los postes sean metálicos, se fijarán al terreno por medio de macizos de hormigón en masa o armado. Estos macizos se fabricarán en el propio terreno, y sus dimensiones deben ser adecuadas para mantener la estabilidad del apoyo.

Los principales tipos son:

- ☞ Prismático de un sólo macizo.
- ☞ Escalonado de un sólo macizo.
- ☞ De murete para postes de cuatro montantes.
- ☞ De cuatro macizos.
- ☞ De cuatro macizos de hormigón y pernos de anclaje.

Finalmente, los postes ligeros de hormigón pueden colocarse sin más en el suelo; las especificaciones del poste indicarán la profundidad a que deben enterrarse. Si no se dispusiese de este dato, la profundidad del hoyo será como mínimo:

$$d = 0{,}1.H + 0{,}6 \ (m)$$

Siendo **H** la altura total del poste.

Para postes más altos deben disponerse cimentaciones especiales de hormigón en masa o armado. En estos casos hay que tener en cuenta que la resistencia de la cimentación sea igual o superior a la del propio poste.

[11]Las cimentaciones de los apoyos podrán ser realizadas en hormigón, hormigón armado, acero o madera.

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 o madera se prestará especial atención a su protección, de forma que quede garantizada su duración.

[11] Artículo 13 del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

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 artículo 30.

### 31.7.4.1. COEFICIENTE DE SEGURIDAD AL VUELCO.

[12]En las cimentaciones de apoyos cuya estabilidad esté fundamentalmente confiada a reacciones verticales del terreno, se comprobará el coeficiente de seguridad al vuelco, que es la reacción entre el momento estabilizador mínimo (debido a los pesos propios, así como a 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

### 31.7.4.2. ÁNGULO DE GIRO DE LOS CIMIENTOS.

[13]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 inferior a 0,01 para alcanzar el equilibrio de las acciones volcadoras máximas con las reacciones del terreno.

### 31.7.4.3. CARGAS MÁXIMAS SOBRE EL TERRENO.

[14]Se comprobará que las cargas máximas que la cimentación transmite al terreno no exceden los valores fijados, teniendo en cuenta las características del mismo.

### 31.7.4.4 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.

[15]Se procurará obtener las características reales del terreno mediante ensayos realizados en el emplazamiento de la línea.

En el caso de no disponer de dichas características, se podrá utilizar los valores que se indican en la Tabla 31.6.

---

[12]Artículo 31.1. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

[13]Artículo 31.2. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

[14]Artículo 31.3. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

[15]Artículo 31.4. del Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

***Tabla 31.6***

| Naturaleza del terreno | Peso específico ($Tn.m^{-3}$) | Ángulo de talud natural | Carga admisible ($Kg.cm^{-2}$) | Ángulo de rozamiento entre cimientos y terreno al arranque | Coeficiente de compresibilidad a 2 m de profundidad ($Kg.cm^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| I. Rocas en buen estado: | | | | | |
| Isotropas ..... | | | 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 | 20º - 22º | 8 - 20 |
| b) Arenoso grueso (con diámetro de partículas entre 2 mm y 0,2 mm)..... | 1,60 - 1,80 | 30º | 2 - 4 | 20º - 25º | |
| c) Arenoso fino (con diámetro de partículas entre 0,2 mm y 0,02 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 | 30º | 2 - 3 | | |
| c) Arenoso fino ..... | 1,40 - 150 | | 1 - 1,5 | | 8 - 12 |
| IV. Terrenos coherentes: | | | | | |
| a) Arcilloso duro ..... | 1,80 | | 4 | 20º - 25º | 10 |
| b) Arcilloso semi-duro ..... | 1,80 | | 2 | 22º | 6 - 8 |
| c) Arcilloso blando ..... | 1,50 - 2,00 | 20º | 1 | 14º - 16º | 4 - 5 |
| d) Arcilloso fluido ..... | 1,60 - 1,70 | | - | 0º | 2 - 3 |
| V. Fangos turbosos y terrenos pantanosos de general ..... | 0,60 - 1,10 | | (c) | | (c) |
| VI. Terrenos de relleno sin consolidar | 1,40 - 1,60 | 30º - 40º | (c) | 14º - 20º | (c) |

(c) Se determinará experimentalmente.

## 31.7.5. ESFUERZO LIBRE EN PUNTA.

Se define esfuerzo libre en punta, *como el esfuerzo que el apoyo es capaz de soportar en dirección normal a su eje y aplicado en cogolla.*

Los fabricantes de postes, indican en sus catálogos el esfuerzo libre en punta para cada tipo de apoyo, este esfuerzo se da en dos

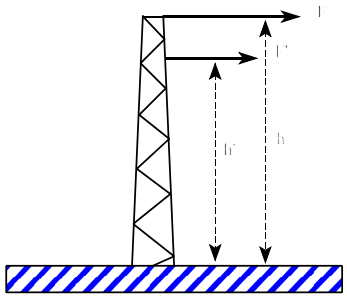


Fig.31.6

direcciones; en la de la línea, y en la perpendicular a la misma.

En la Fig.31.6 se indica el esfuerzo libre en punta de un apoyo (altura h), así como el que corresponde a una altura menor (altura h').

Los esfuerzos a que está sometido el apoyo son:

☞ En la dirección de la línea: Desequilibrio de tracciones y rotura de conductores.
☞ En dirección perpendicular a la línea: Viento.

## 31.8. TIRANTES.

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

No se utilizarán tirantes definitivos cuya carga de rotura sea inferior a 1.750 kg 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 2, del artículo 25 (28.8 2. Distancia de los conductores entre sí y entre éstos y los apoyos).

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.

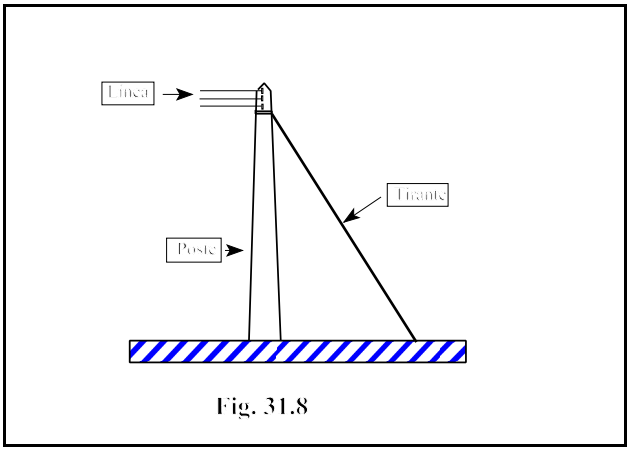


Fig. 31.8

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 estuviese conectado a tierra a través del apoyo, o directamente en la forma que se señala en el apartado 6, del artículo 12[16], estará provisto de aisladores. Estos aisladores se dimensionarán eléctrica y mecánicamente de forma análoga a los aisladores de la línea, de acuerdo

[16] Conexión de los apoyos a tierra.

con lo que se establece en el artículo 24[17] y en el apartado 1 del artículo 29[18].

Los aisladores estarán a una distancia mínima de U/75 metros del conductor más próximo, estando éste en la posición que proporcione la distancia mínima al aislador, siendo U la tensión nominal en kV de dicho conductor más próximo. 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.

## 31.9. CONEXIÓN DE LOS APOYOS A TIERRA.

Los apoyos de las líneas eléctricas de alta tensión deberán conectarse a tierra de un modo eficaz, de acuerdo con las normas que el presente apartado se dictan, determinadas teniendo en cuenta las características que pueden influir en:

a) La magnitud de tensión en la toma de tierra durante las descargas.

b) La duración de las descargas a tierra.

c) La probabilidad de fallo del aislamiento.

Deberán conectarse a tierra, mediante una conexión específica, todos los apoyos metálicos y de hormigón armado, así como las armaduras metálicas de los de madera en líneas de primera categoría, cuando formen puente conductor entre los puntos de fijación de los herrajes de los diversos aisladores.

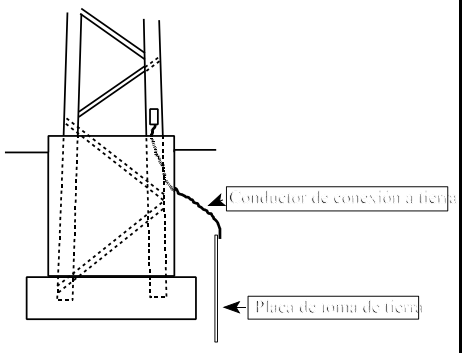


Fig. 31.7

En el caso de líneas equipadas con protecciones de la sensibilidad necesaria para detectar faltas francas a tierra en cualquier punto de la línea y capaces de desconectar la línea averiada en un tiempo muy breve podrá omitirse la prescripción del párrafo anterior, en los casos siguientes:

a) En los apoyos de hormigón armado, así como en los metálicos implantados

[17]Nivel de Aislamiento.

[18]Condiciones electromecánicas.

directamente en el terreno, situados en zonas no frecuentadas y no equipados con cable de tierra, puede prescindirse de la puesta a tierra de los apoyos en líneas de tensiones nominales de:

Hasta 45 kV para los primeros y

Hasta 20 kV para los segundos

Ambas tensiones incluidas.

b) En líneas equipadas con cables de tierra, sea cual fuese el material constituyente del apoyo, deberá disponerse toma de tierra en un apoyo por lo menos cada 500 metros, salvo en apoyos de seguridad reforzada, que deberán estar siempre conectados a tierra.

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

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

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

Los conductores de conexión a tierra podrán ser de cualquier material metálico que reúna las condiciones exigidas en al apartado 1, Art.8 [19]. Tendrán una acción tal que puedan soportar sin un calentamiento peligroso la máxima corriente de descarga a tierra prevista, durante un tiempo doble al de accionamiento de las protecciones de la línea.

En ningún caso la sección de estos conductores será inferior a la eléctricamente equivalente a 16 milímetros cuadrados de cobre.

Se cuidará la protección de los conductores de conexión a tierra en las zonas inmediatamente superior e inferior al terreno, de modo que queden defendidos contra golpes, etc. En este sentido, cuando en el apoyo exista macizo de hormigón el conductor no debe tenderse por encima de él sino atravesarlo.

Las tomas de tierra deberán ser de un material, diseño, dimensiones, colocación en el terreno y número apropiados para la naturaleza y condiciones del propio terreno, de modo que puedan garantizar una resistencia de difusión, mínima en cada caso, y de larga permanencia.

---

[19] Art.8º 1. Naturaleza. Los conductores podrán ser de cualquier material metálico o combinación de éstos que permitan constituir alambres o cables de características eléctricas y mecánicas adecuadas para su fin e inalterables con el tiempo, debiendo presentar además una resistencia elevada a la corrosión atmosférica.
Sus características mecánicas y sus dimensiones satisfarán las condiciones que posteriormente se indican.
Podrán emplearse cables huecos y cables rellenos de materiales no metálicos.
Los conductores de aluminio y sus aleaciones serán siempre cableados.

El tipo o modelo, dimensiones y colocación (bajo la superficie del terreno) de los electrodos de difusión deberá figurar claramente en un plano de los que forman el proyecto de la línea, de modo que pueda ser aprobado por el Servicio correspondiente de la Administración.