

NUEVO REGLAMENTO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN

COMENTARIOS, COMPARACIÓN CON EL REGLAMENTO VIGENTE, E INCIDENCIA SOBRE EL DISEÑO Y CÁLCULO DE LÍNEAS AERIAS DE MEDIA TENSIÓN

JULIÁN MORENO CLEMENTE

INTRODUCCIÓN

En el Boletín Oficial del Estado de fecha 19-03-08 aparece publicado el nuevo Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión, que contempla tanto las líneas aéreas como las subterráneas.

En nuestra Obra que ha sido puesta a la libre disposición de todos los técnicos que puedan estar interesados en las materias tratadas, se incluye un Programa para el cálculo de Líneas Eléctricas Aéreas de Media Tensión, confeccionado de acuerdo con el Reglamento del año 1968. Este programa se completa con dos documentos, que titulamos:

- Cálculo de Líneas Eléctricas Aéreas de Media Tensión, con información que consideramos útil para el diseño y cálculo de este tipo de líneas.
- Programas para el Cálculo de Líneas Eléctricas Aéreas de Media Tensión, donde se contiene las aclaraciones e instrucciones para la utilización de los programas.

Aparecido el nuevo Reglamento, se hace un examen comparativo analizando las modificaciones más significativas que aporta el nuevo precepto legal.

Hemos de indicar que para líneas de media tensión, hasta 30 kV, se prevé la posible utilización de conductores aislados trenzados en haz, o de conductores recubiertos.

En este documento nos ocuparemos principalmente de su incidencia en el diseño y cálculo de las líneas de media tensión con conductores desnudos, que son las que con más frecuencia se ven obligados a proyectar los técnicos que trabajan en Empresas instaladoras, o que se dedican al ejercicio libre de la profesión.

Dentro del Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión, la Instrucción Técnica Complementaria que trata de las líneas eléctricas aéreas con conductores desnudos es la ITC LAT 07

CONDUCTORES

Hay que utilizar la nueva designación y características según UNE EN 50182.

La temperatura máxima de servicio bajo carga normal no debe sobrepasar los 85° C

Las temperaturas máximas de servicio en casos excepcionales se fija en 100 ° C. Para aleaciones especiales de Aluminio-Zirconio se pueden admitir temperaturas superiores, según Norma IEC 62004. Para el cálculo del incremento de temperatura debido a las corrientes de cortocircuito, se remite a la Norma UNE EN 60865-1.

El coeficiente de seguridad con respecto a la carga de rotura en los cables queda fijado, como en el caso del Reglamento vigente, en 2,5.

Las Normas UNE sobre conductores incluyen la masa por metro, en Kg. Una masa de 1 Kg. sufre una atracción por efecto de la gravedad. El valor de la fuerza vertical correspondiente se determina aplicando la ley de la mecánica que expresa que

Fuerza = Masa x Aceleración. La unidad de fuerza es el Newton.

Por consiguiente la fuerza vertical descendente actuante sobre una masa de 1 Kg. es:

Fuerza = 1 x 9,81 Newton, o bien

Fuerza = 1 x 0,98 daN

Determinados de esta forma los pesos por metro de conductor, y dado que todas las demás tracciones y sobrecargas viene fijadas por el Reglamento en daN, podemos operar con magnitudes homogéneas.

De acuerdo con lo expuesto y lo establecido en el Reglamento, hemos determinado los parámetros que se han incluido en las bases de datos de los programas. Los valores del módulo de elasticidad se han consignado en daN/mm². Hemos de indicar que no todos los datos utilizados están incluidos en la Norma UNE EN 50182, por lo que, en su caso, hemos recurrido a los contenidos en las Normas existentes. Concretamente en la versión que nosotros utilizamos no se contemplan los conductores del tipo LARL

En los programas hemos utilizado las denominaciones antiguas por ser aquellas con las que estamos más familiarizados. De todas formas hacemos constar las siguientes equivalencias.

Código antiguo	Código UNE EN 50182-2001
LA-30	27-AL1/4-ST1A
LA-56	47-AL1/8-ST1A
LA-78	67-AL1/11-ST1A
LA-110	94-AL1/22-ST1A
LA-145	119-AL1/28-ST1A
LA-180	147-AL1/34-ST1A

Fenómenos vibratorios.

Con en fin de evitar la aparición de fenómenos vibratorios, el nuevo Reglamento indica como valor máximo del EDS el de 22, siempre que se utilicen antivibradores, y 15 si no se utilizan estos elementos.

La utilización de antivibradores ha sido contemplada en nuestro documento "Líneas Eléctricas Aéreas de Media Tensión"

Flechas máximas en los conductores

Para las líneas de media tensión, las flechas máximas a calcular son las mismas establecidas en el Reglamento actual, es decir:

- 15° C + Viento
- Sin sobrecarga, a una temperatura no inferior a 50° C,
- 0° + Hielo.

CARGAS Y SOBRECARGAS A CONSIDERAR

Fuerzas del viento sobre los componentes de las líneas aéreas.

En las líneas de media tensión ha de suponerse una velocidad mínima del viento de 120 km/h. Los esfuerzos que a continuación se reseñan corresponden a esa velocidad. En el caso de utilizarse velocidades mayores, los esfuerzos figurados deben multiplicarse por el cuadrado de la relación de velocidades del viento.

Fuerza del viento sobre los conductores.

No hay variación con respecto al Reglamento anterior, salvo lo indicado para el caso de que el proyectista decida utilizar una velocidad del viento superior a la mínima reglamentaria. Por consiguiente, los esfuerzos a considerar son;

- 60 daN/m² para conductores hasta 16 mm de diámetro.

- 50 daN/m² para conductores de diámetros superiores a 16 mm.

Es decir, que utilizamos las mismas ecuaciones que hemos venido empleando, si bien los esfuerzos quedan expresados en daN

Fuerza del viento sobre las cadenas de aisladores

70 daN/m² de superficie proyectada en dirección perpendicular al viento.

Fuerza del viento sobre apoyos de celosía.

170 daN por m² de área del apoyo proyectada en la dirección normal al viento.

La ecuación correspondiente sustituye a la existente en el Reglamento vigente, que consideraba la acción del viento sobre las caras de barlovento y sotavento..

Al igual que con el Reglamento anterior, esta información ha de ser facilitada por el fabricante, proporcionando bien el esfuerzo resultante, bien el área del apoyo expuesta al viento. No afecta, por consiguiente, a nuestros programas, en los cuales lo que existen son celdas para introducir estos datos proporcionados por los fabricantes.

Fuerza del viento sobre superficies cilíndricas.

No varía con respecto al anterior Reglamento, debiendo considerarse 70 daN por m² de superficie proyectada.

Sobrecargas motivadas por el hielo.

Para las líneas de media tensión son exactamente las mismas figuradas en el Reglamento actual, es decir:

Zona A.- Hasta 500 m de altitud. No se considera sobrecarga de hielo.

Zona B.- Entre 500 y 1000 m de altitud. Sobrecarga de $0,18x\sqrt{d}$ daN por m lineal

Zona C.- Altitud superior a 1.000 m. Sobrecarga de $0,36x\sqrt{d}$ daN por m lineal

Siendo d el diámetro del conductor expresado en mm.

Temperaturas coincidentes con las tracciones máximas en el conductor.

Son las mismas previstas en el Reglamento vigente, es decir, - 5º C en zona A, -15º C en zona B y -20º C en zona C.

En la hipótesis de viento la temperatura es de -5º C en Zona A, -10º C en Zona B y -15º C en Zona C.

No obstante, si la línea atraviesa zonas en las que son de prever vientos excepcionales, se considerarán los conductores sometidos a los esfuerzos resultantes de velocidades del viento superiores a 120 km/ h, calculándose dichos esfuerzos en la forma que anteriormente ha sido indicada. En tal caso las temperaturas mínimas coincidentes con la sobrecarga de viento serán las anteriormente indicadas

APOYOS

Diferentes tipos de apoyos considerados

Los tipos de apoyos a utilizar son similares a los del Reglamento actual.

En cuanto a las funciones, que actualmente son:

- Alineación
- Angulo
- Anclaje
- Fin de línea.

Quedan establecidas de la siguiente forma

Apoyos de suspensión, que utilizan cadenas de este tipo, que a su vez pueden ser:

- Apoyos de alineación
- Apoyos de ángulo.

Apoyos de amarre, en los que se utilizan cadenas de amarre, que a su vez se dividen en

- Apoyos de alineación
- Apoyos de ángulo

Apoyos de anclaje, que equivalen a los actuales con dicha denominación, cuya misión es la de proporcionar puntos firmes en la línea, en relación con los esfuerzos dirigidos en la dirección de la misma. Se utilizan cadenas de amarre. Estos apoyos pueden estar situados tanto en una alineación como en un ángulo. Se indica que deberán tener una identificación propia en los planos.

Apoyos de principio o fin de línea, con funciones similares a las encomendadas por el vigente Reglamento. Se utilizan cadenas de amarre.

Apoyos especiales, que tienen una función distinta de las anteriormente mencionadas.

Esta clasificación requiere, a nuestro entender, los siguientes comentarios:

El Reglamento actual realmente ya preveía la posibilidad de utilizar cadenas de suspensión en apoyos de ángulo, para valores pequeños de éste, aunque al menos en nuestra zona estamos acostumbrados a utilizar siempre cadenas de amarre en este tipo de postes.

Tenemos noticias de que una determinada Corporación ha sugerido que se eliminen los apoyos de ángulo con cadenas de suspensión, pero el Ministerio no ha aceptado la propuesta. A la vista de ello hemos modificado nuestros programas para que puedan utilizarse cadenas de suspensión en determinados apoyos de ángulo, si bien con la limitación de que el ángulo tenga un valor máximo adoptado por el usuario. Para ello hemos tenido en cuenta el esfuerzo resultante del ángulo, tanto para determinar sus características resistentes como para calcular las desviaciones de las cadenas de suspensión por efecto del viento.

En los apoyos con cadenas de amarre, aparte de los de fin de línea, ahora se prevén dos tipos: los de amarre y los de anclaje. La función de los últimos es la misma asignada en el Reglamento anterior, que ya hemos comentado. Los apoyos de amarre son aquellos en los cuales no pueden utilizarse cadenas de suspensión porque las desviaciones de las cadenas serían excesivas y no se cumplirían las distancias reglamentarias. En estos apoyos el desequilibrio de tracciones exigido es inferior al de los apoyos de anclaje, que además tienen la misión de proporcionar puntos firmes en la línea. Es decir que, hasta ahora, si en un apoyo no podíamos utilizar cadenas de suspensión por su excesiva desviación por la acción del viento (o porque el apoyo quedaba "ahorcado"), teníamos que transformar el apoyo en anclaje, mientras que ahora se puede solucionar el problema utilizando apoyos de menor resistencia que son los de amarre. Más adelante trataremos de los diferentes valores de los desequilibrios de tracciones en los diversos tipos de apoyos.

Estos apoyos de amarre pueden estar situados en una alineación, o en un cambio de dirección.

De acuerdo con lo indicado, hemos introducido en los programas de cálculo estos apoyos de amarre, perfectamente diferenciados de los apoyos de anclaje.

Adaptándonos a la nueva nomenclatura, en nuestros programas distinguimos entre

- Apoyos de alineación
- Apoyos de ángulo
- Apoyos de principio o fin de línea.

Si bien se ha añadido una columna en la que para cada poste se indica si las cadenas son de suspensión o de amarre, así como otra para reseñar los apoyos que, por decisión del proyectista, serán de anclaje

Para hacer la debida distinción entre apoyos de amarre y de anclaje, en la Hoja de Cálculo nº 1 (Datos del Perfil), hemos dispuesto dos columnas distintas para consignar el ángulo formado por las dos alineaciones que confluyen en el apoyo, en tanto que en la versión correspondiente al Reglamento actual solamente existía una columna para dicho fin. El valor del ángulo (sea 180° sea si no existe cambio de dirección, sea un valor menor si existe cambio de dirección), se introduce en la columna primitivamente prevista para los apoyos de amarre, y en la nueva para los apoyos de anclaje.

En la lista general de esfuerzos sobre apoyos cada uno queda calculado según la función que le ha sido asignada, de acuerdo con lo anteriormente indicado.

Cálculo de apoyos.

Para el cálculo de los apoyos el nuevo Reglamento establece unos cuadros en los que se recogen los esfuerzos simultáneos a considerar para cada tipo de apoyo. Estos cuadros y las Hipótesis de cálculo son similares a las del reglamento vigente, con las matizaciones que indicaremos a continuación;

Las cuatro hipótesis consideradas son:

- Hipótesis 1ª.- Viento
- Hipótesis 2ª.- Hielo (En zonas B y C)
- Hipótesis 3ª.- Desequilibrio de tracciones.
- Hipótesis 4ª.- Rotura de conductores.

De estas Hipótesis se consideran normales la 1ª y la 2ª, y anormales la 3ª y la 4ª .

Los coeficientes de seguridad establecidos para las Hipótesis normales y anormales son diferentes, y coinciden con lo establecido en el Reglamento actual.

Los cálculos correspondientes a las hipótesis 1ª y 2ª son similares a los del Reglamento vigente, teniendo en cuenta las sobrecargas de viento y hielo que quedan definidas en el nuevo Reglamento, a las cuales nos hemos referido anteriormente.

Desequilibrio de tracciones. (Hipótesis tercera)

A continuación nos referimos al desequilibrio de tracciones. Lo que se indica es válido para líneas de hasta 66 kV, y por consiguiente aplicable a las líneas de media tensión, que son las contempladas en este documento.

Apoyos de alineación y ángulo con cadenas de suspensión

Se considerará un esfuerzo longitudinal del 8 % de las tracciones unilaterales de todos los conductores. Este esfuerzo se considerará aplicado en el eje del apoyo, a la altura de los puntos de fijación de los conductores.

Apoyos de alineación y ángulo con cadenas de amarre.

Se considerará un esfuerzo longitudinal del 15 % de las tracciones unilaterales de todos los conductores. Este esfuerzo se considerará aplicado en el eje del apoyo, a la altura de los puntos de fijación de los conductores.

Apoyos de anclaje.

Se considerará un esfuerzo longitudinal del 50 % de las tracciones unilaterales de todos los conductores. Este esfuerzo se considerará aplicado en el eje del apoyo, a la altura de los puntos de fijación de los conductores.

Para este tipo de líneas, en los apoyos anteriormente indicados, al aplicarse los esfuerzos sobre el eje, no se consideran esfuerzos de torsión en la hipótesis de desequilibrio de tracciones. Otro es el caso de líneas de tensiones más elevadas.

Apoyos de fin de línea.

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

Desequilibrios muy pronunciados en apoyos

En este caso el Reglamento nuevo indica que se efectuará un análisis por el proyectista.

Rotura de conductores.

Rotura de conductores en apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de suspensión

En las líneas de media tensión, que disponen de un conductor por fase, se considerará la rotura de un solo conductor, teniendo en cuenta el punto de aplicación del mismo y los consiguientes momentos de torsión que se puedan producir. Se admite una reducción del 50 % por desviación de la cadena (Coincide con lo actual).

Rotura de conductores en apoyos de alineación y ángulo con cadenas de amarre.

Las condiciones son las mismas que en el caso anterior, pero no se admite ningún tipo de reducción.

Rotura de conductores en apoyos de anclaje.

Condiciones iguales a las del caso anterior.

Rotura de conductores en apoyos de fin de línea.

Igual que en los dos casos anteriores.

Esfuerzos resultantes del ángulo

En los apoyos situados en los cambios de dirección, se tendrá en cuenta, además de los esfuerzos anteriores que sean de aplicación, la resultante del ángulo

Posibilidad de prescindir de la hipótesis de rotura de conductores en apoyos de alineación y ángulo.

Al igual que en el Reglamento actual, se admite la posibilidad de prescindir de la rotura de conductores en apoyos de alineación y ángulo, en líneas de hasta 66 kV, y conductor con carga de rotura inferior a 6.600 daN, siempre que se den las siguientes circunstancias:

- Que el coeficiente de seguridad en el conductor sea de 3 como mínimo.
- Que el coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en la hipótesis 3ª sea el que corresponde a las hipótesis normales.
- Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 km como máximo.

Ello es aplicable a los apoyos de alineación y ángulo, tanto si disponen de cadenas de alineación como de amarre.

Apoyos de hormigón

Llamamos la atención sobre el hecho de que, actualmente, en los apoyos con cadenas de amarre (apoyos de anclaje en el Reglamento de 1968) queda limitada la utilización de apoyos de hormigón como consecuencia de los esfuerzos por desequilibrio de tracciones y de torsión, por lo cual en la Normas Particulares de Sevillana Endesa se indica que los apoyos con cadenas de amarre deben ser metálicos de celosía.

Lo anteriormente indicado puede favorecer, al menos para determinadas secciones de conductor, el empleo de apoyos de hormigón, por el hecho de pasar en el desequilibrio de tracciones de una exigencia del 50 % en apoyos de anclaje, al 15 % en apoyos de amarre, y poder prescindir en determinados casos de la hipótesis de rotura de conductores, tanto en apoyos con cadena de suspensión como de amarre.

Para este tipo de postes de hormigón hemos efectuado un estudio, para dar una idea de la posibilidad de utilización en apoyos con cadena de suspensión y de amarre (apoyos de amarre, no de anclaje), el cual exponemos a continuación.

Recordemos que tanto la Recomendación UNESA como las Normas de las Empresas suministradoras derivadas de aquella distinguen dos tipos de apoyos: los normales y los reforzados. Estos últimos, además de los esfuerzos exigidos a los normales, deben cumplir que el esfuerzo a una determinada altura de la cogolla sea el nominal, multiplicado por un determinado coeficiente k que se calcula por la ecuación:

$$K = 5,4/(H5+5,25), \text{ siendo } H5 \text{ la altura sobre la cogolla.}$$

En los apoyos de hormigón es muy frecuente la utilización de crucetas bóveda. Para una altura del perfil de sujeción de los conductores sobre la cogolla de 1,20 m, el coeficiente resultante es de 0,8372. Luego los esfuerzos admisibles en este tipo de montaje serán los nominales multiplicados por el coeficiente indicado, o el que resulte en función de la altura a la que se ha hecho referencia.

Por otra parte, estos apoyos presentan la particularidad de ofrecer distinta resistencia en función de la cara sobre la que se aplica el esfuerzo, por lo que se distingue entre esfuerzo principal o transversal, y esfuerzo secundario o longitudinal. La posición que denominamos **normal** es aquella en la que la cara que soporta el esfuerzo principal se sitúa para absorber los esfuerzos del viento en la dirección perpendicular a la de la línea. Si la cara que soporta el esfuerzo secundario se sitúa para absorber dichos esfuerzos, hablamos de posición **invertida**.

Los esfuerzos sobre la cara de mayor resistencia son libres de viento, es decir que soportan el esfuerzo nominal además del correspondiente al viento. Por consiguiente, si el apoyo se dispone de forma que el viento incida sobre la cara de menor resistencia en la hipótesis que se considere, habrá que deducir del esfuerzo nominal el del viento, para obtener el esfuerzo útil sobre dicha cara.

Los apoyos de hormigón normalizados del tipo reforzado responden a las siguientes características

ESFUERZO PRINCIPAL (daN)

ESFUERZO SECUNDARIO (daN)

250	160
400	250
630	360
800	400
1000	400

Es apoyo normalizado el de 1600 daN, pero no del tipo reforzado. Como nuestro estudio supone la utilización de crucetas tipo bóveda, con esfuerzos resultantes aplicados por encima de la cogolla, obviamos la utilización de dicho apoyo.

Hemos podido comprobar en el Catálogo de algún fabricante que los esfuerzos secundarios correspondientes a los apoyos de 1000 y 1600 daN son superiores a los de la Norma. Tal es el caso de Postes Nervión, al que hacemos mención a título de ejemplo, y que posiblemente se repetirá en otros fabricantes. Concretamente en el caso que comentamos los esfuerzos secundarios de los postes de 1000 y 1600 daN son, respectivamente 530 y 740 daN

En el caso de apoyos de alineación, tanto con cadenas de suspensión como con cadenas de amarre (apoyos de amarre), los resultados que se reflejan a continuación han sido obtenidos comparando los desequilibrios de tracciones reglamentarios con los esfuerzos admisibles en el apoyo en las condiciones consideradas.

En el caso de apoyos de ángulo hemos recurrido al concepto de esfuerzo equivalente cuya dirección coincide con uno de los ejes de simetría del poste, concepto que se encuentra desarrollado en la documentación que se acompaña, y que puede ser utilizado a falta de otros datos más precisos facilitados por el fabricante.

Por similitud con el caso de apoyos metálicos de celosía, en los apoyos de hormigón se considera como esfuerzo equivalente a otro que forma un determinado ángulo con uno de los ejes de simetría del apoyo, a la suma de las dos componentes en las que puede ser descompuesto el esfuerzo desviado, multiplicando la dirigida según la cara de menor resistencia por la relación de esfuerzos nominales, y ello bajo el supuesto de que la disposición sea la que anteriormente hemos definido como **normal**

En estas condiciones, y, repetimos, para el caso de utilizar crucetas tipo bóveda con distancia del perfil superior a la cogolla de 1,20 m, obtenemos los siguientes resultados en relación con los apoyos a utilizar para absorber los esfuerzos de desequilibrio de tracciones:

CONDUCTOR LA-56

Apoyos de alineación con cadenas de suspensión.

Apoyo válido 250 daN en posición normal

Apoyos de alineación con cadenas de amarre (Apoyos de amarre)

Apoyo válido 630 daN en posición normal.

Apoyos de ángulo con cadenas de suspensión.

Apoyo válido 400 daN en posición normal.

Apoyo de ángulo con cadenas de amarre

Apoyo válido 630 daN en posición normal

CONDUCTOR LA-110

Apoyos de alineación con cadenas de suspensión.

Apoyo válido 2X400 daN en posición normal
Apoyo Válido (Postes Nervión) 1000 daN en posición normal.

Apoyos de alineación con cadenas de amarre (Apoyos de amarre)

Apoyo válido 2x800 daN en posición normal.

Apoyos de ángulo con cadenas de suspensión.

Apoyo válido 2x400 daN en posición normal.
Apoyo válido (Postes Nervión) 1000 daN en posición normal.

Apoyo de ángulo con cadenas de amarre

Apoyo válido (Postes Nervión) 2x1000 daN en posición normal

CONDUCTOR LA-180

Apoyos de alineación con cadenas de suspensión.

Apoyo válido 2X630 daN en posición normal

Apoyos de ángulo con cadenas de suspensión.

Apoyo válido 2x800 daN en posición normal.

El desequilibrio de tracciones en apoyos de amarre con conductor LA-180, que asciende a 945 daN con las tensiones normalmente utilizadas, no parece fácil cubrir con apoyos de hormigón. Parece más adecuado utilizar en tales casos apoyos metálicos de celosía.

OBSERVACIONES.-

En relación con lo anteriormente expuesto sobre apoyos de hormigón, hemos de indicar:

- Los cálculos se han efectuado utilizando las tensiones máximas normalmente empleadas para cada conductor.
- Por otra parte, responden a las condiciones de seguridad normal. Para seguridad reforzada hay que pasar al tipo siguiente de apoyo normalizado.
- El estudio se refiere a la comprobación del cumplimiento de las condiciones reglamentarias en lo que al desequilibrio de tracciones se refiere, por ser la hipótesis que normalmente limita la utilización de postes con diferentes resistencias según la cara sobre la que se aplica el esfuerzo, y bajo el supuesto de que en todos los casos se va a prescindir de la hipótesis de rotura de conductores, lo cual es factible dada la carga de rotura de las secciones consideradas. De todas formas deberá comprobarse el cumplimiento de las condiciones reglamentarias en las restantes hipótesis.

CADENAS DE AISLADORES Y HERRAJES.

Se establece con carácter general que todos los herrajes que puedan ser sometidos al peso de una persona deben resistir una carga característica concentrada de 1,5 kN.

Desde el punto de vista de características mecánicas, los coeficientes de seguridad para los elementos de las cadenas de aisladores y los herrajes que completan las mismas, son iguales que los establecidos en el Reglamento actual, es decir 3, que en la práctica queda reducido a 2,5 por ejercerse normalmente un control estadístico en la recepción.

Desde el punto de vista eléctrico, en el Documento "Cálculo de Líneas Eléctricas Aéreas de Media Tensión" hemos hecho constar las tensiones de ensayo reales que soportan las cadenas de tres elementos, y que son

	AISLADORES TIPO	
	U40 BS	U70 BS
Tensión de ensayo al choque (kV cresta)	195	260
Tensión de ensayo a frecuencia industrial (kV efectivos)	78	105

Para las líneas de 20 kV de tensión nominal y 24 kV de tensión más elevada, el Reglamento en la Tabla 12 del apartado 4.4. establece los siguientes valores:

Tensión de ensayo al choque (kV cresta)	145
Tensión de ensayo a frecuencia industrial (kV efectivos)	50

En el Documento anteriormente citado, consignamos los valores mínimos de las longitudes de la línea de fuga establecidos en las Normas Sevillana ENDESA, en función del grado de contaminación de la zona, que reproducimos a continuación:

TIPO DE ZONA	Longitud de la línea de fuga mm / kV	
NORMAL	20	(11,5)
ALTA CONTAMINACIÓN	40	(23)
MUY ALTA CONTAMINACIÓN	60	(37)

Para altitudes superiores a 1000 m sobre el nivel del mar se añadirán 20 (11,5) mm/ kV.

En la tabla anterior los valores indicados corresponden a la tensión más elevada de la red entre fase y tierra, Se han indicado entre paréntesis los valores equivalentes considerando la tensión más elevada entre fases, ya que éste es el dato que figura en el nuevo Reglamento.

En la Tabla 14 del nuevo Reglamento se establecen unos valores recomendados para las líneas de fuga. Estos valores vienen referidos a la tensión más elevada de la red entre fases

NIVEL DE CONTAMINACIÓN	LINEA DE FUGA MINIMA (mm/ kV)
I.- Ligero	16
II.- Medio	20
III.- Fuerte	25
IV.- Muy fuerte	31

A la vista de los datos anteriores, estimamos que es perfectamente válido todo lo indicado en relación con el tema en el Documento "Líneas Eléctricas Aéreas de Media Tensión".

En cualquier caso indicaremos que para ambientes salinos o con fuerte contaminación, puede ser interesante la utilización de aisladores de silicona, de los cuales se acompaña información, así como de elementos para aumentar las líneas de fuga.

DESVIACIÓN DE LAS CADENAS DE SUSPENSIÓN POR LA ACCION DEL VIENTO

El nuevo Reglamento establece las mismas condiciones que el actual, para el cálculo de las desviaciones de las cadenas de suspensión por la acción del viento. Es decir, hay que considerar una presión sobre los distintos elementos mitad de la que corresponde a un viento de 120 km /h.

Si se introduce una variación en cuanto a la temperatura a considerar en el cálculo. En el Reglamento actual es de -5° C en todas las zonas, mientras que en el nuevo hay que considerar la acción del viento a las siguientes temperaturas

- Zona A : -5° C
- Zona B : -10° C
- Zona C : -15° C.

Las modificaciones correspondientes han sido introducidas en los programas.

En el apartado 5.2. del nuevo Reglamento figura una tabla con distancias mínimas de seguridad entre partes en tensión y masa. Para la tensión nominal de 20 kV la distancia mínima entre conductores y partes puestas a tierra debe ser de 22 cm.

En el cálculo efectuado que figura en el Documento "Cálculo de Líneas Eléctricas Aéreas de Media Tensión", habíamos tomado una distancia de 28 cm, para tener un cierto margen de seguridad. Por consiguiente la desviación máxima calculada de 59° sex es válida para el nuevo Reglamento, bien entendido que esta desviación se refiere al caso de crucetas al tresbolillo, debiendo consultarse con el fabricante en el caso de utilizar crucetas bóveda.

Nos referimos concretamente al caso de tensión nominal igual a 20 kV por ser la más frecuentemente utilizada. Para tensiones superiores el proyectista deberá comprobar en cada caso las desviaciones realmente admisibles, en función de la tensión de la línea, la longitud de la cadena y las características de las crucetas.

DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD. CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS

Introducción

Se distingue entre distancias internas y distancias externas.

Las distancias internas se utilizan para diseñar una línea con una adecuada capacidad para resistir las sobretensiones.

Las distancias externas se utilizan para determinar las distancias de seguridad entre conductores en tensión y los objetos debajo o en las proximidades de la línea, para evitar el daño a terceros.

Distancias de aislamiento para evitar descargas.

Se distinguen las siguientes distancias:

D_{ei} = Distancia de aislamiento mínima para evitar descargas entre conductores de fase y objetos a potencial de tierra en sobretensiones de frente lento y rápido. Esta distancia puede ser tanto interna, cuando se consideran distancias del conductor a la estructura de la torre, como externa, cuando se considera la distancia del conductor a un obstáculo. **Para 20 kV de tensión nominal y 24 kV de tensión más elevada, esta distancia es de 0,22 m.**

D_{pp} = Distancia de aislamiento mínima para prevenir descargas disruptivas entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido. Es una distancia interna **Para 20 kV de tensión nominal y 24 kV de tensión más elevada esta distancia es de 0,25 m.**

a_{scm} = 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.

Para determinar las distancias internas y externas, se ha de tener en cuenta lo siguiente:

La distancia D_{ei} previene descargas eléctricas entre las partes en tensión y objetos a potencial de tierra, en condiciones de explotación normal de la red

La distancia D_{pp} previene las descargas eléctricas entre fases durante maniobras y sobretensiones de rayos.

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.

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

Nos hemos referido en lo anteriormente expuesto a las líneas de tensión nominal de 20 kV. Para otras tensiones el Reglamento establece los siguientes valores para los parámetros D_{el} y D_{pp}

TENSIONES (kV)		D_{el}	D_{pp}
Nominal	Más elevada		
20	24	0.22	0.25
25	30	0.27	0.33
30	36	0.35	0.40
45	52	0.60	0.70

Estos criterios son utilizados para definir las distancias mínimas en los distintos casos concretos, que se definen más adelante-

Prescripciones especiales

Se definen en el Reglamento las prescripciones especiales que deben cumplirse en aquellos casos en los que se exige una seguridad reforzada.

En relación con las exigencias de carácter general, el contenido coincide en general con lo establecido en el artículo 33 del Reglamento actual.

Distancias en el apoyo

Distancia entre conductores

La separación entre conductores se calcula por la ecuación $D = K \sqrt{F + L} + K' D_{pp}$

Siendo

D la distancia mínima entre conductores de fase

K un coeficiente que depende de la oscilación de los conductores. Viene definido en una tabla que coincide con la figurada en el artículo 25 apartado 2 del Reglamento actual. Consta de dos columnas con valores que se aplican en función de la tensión nominal de la línea. En el Reglamento actual la primera columna corresponde a líneas de 1ª y 2ª categoría, y la segunda a líneas de 3ª categoría. En el nuevo Reglamento el límite de aplicación queda fijado en 30 kV.

F es la flecha máxima en metros.

L es la longitud de la cadena de aisladores. Para aisladores rígidos o cadenas de amarre $L = 0$.

K' es un coeficiente que depende de la tensión de la línea. Para líneas de media tensión $K' = 0,75$.

D_{pp} es la distancia anteriormente definida, cuyos valores han quedado indicados para las diferentes tensiones

Distancia entre conductores y partes puestas a tierra.

La separación mínima no será inferior al valor definido como D_{el} .

Este valor D_{el} es el que se ha considerado para el caso de la desviación de las cadenas de suspensión por la acción del viento.

Distancias al terreno, a caminos y a cursos de agua no navegables.

No son de aplicación las condiciones exigidas para la seguridad reforzada.

La altura mínima de conductores será $5.3 + D_{el}$ con un mínimo de 6 m.

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

En la hipótesis de 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, 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.

Distancias a otras líneas aéreas eléctricas o de telecomunicación

Cruzamientos

Son exigibles las condiciones de seguridad reforzada, modificadas en la misma forma que se indica en el artículo 33 apartado 1 del Reglamento actual.

En general, las condiciones fijadas coinciden con las del artículo citado, salvo lo indicado a continuación

La distancia entre los conductores de la línea inferior y los apoyos de la superior no deberá ser inferior a $1,5 + D_{el}$ m, con un mínimo de 2 m, considerándose los conductores en su posición de máxima desviación por la acción del viento.

Para líneas hasta 30 kV la distancia vertical entre los conductores de fase de ambas líneas no debe ser inferior a

$1,8 + D_{pp}$ metros para distancia del apoyo de la línea superior al punto de cruce igual o inferior a 25 m.

$2,5 + D_{pp}$ metros para distancia del apoyo de la línea superior al punto de cruce mayor de 25 m.

Para 45 kV la distancia es en todos los casos de 2,5 m.

La distancia vertical mínima entre conductores de fase de la línea superior y el cable de tierra de la inferior será de $1,5 + D_{ei}$ metros, con un mínimo de 2 metros.

Independientemente del punto de cruce, 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 inferior, en el caso de que existan, se comprobará considerando los conductores de fase de la línea superior en las condiciones más desfavorables de flecha máxima, y los conductores de fase o los cables de guarda de la inferior, en el caso de que existan, 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 por la acción del viento.

Paralelismos entre líneas eléctricas

No son de aplicación las condiciones correspondientes a seguridad reforzada

El nuevo Reglamento coincide exactamente en su redacción con lo indicado en el artículo 34 apartado 1 del Reglamento actual. Únicamente cabe señalar que se hace referencia a la separación entre conductores contiguos de las líneas paralelas, que no será inferior a la calculada para conductores de distinta fase correspondientes a la línea de mayor tensión.

Paralelismo entre líneas eléctricas aéreas y de telecomunicación.

No son de aplicación las prescripciones correspondientes a seguridad reforzada

Se evitará siempre que se pueda el paralelismo de las líneas eléctricas aéreas de alta tensión con las 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 igual a 1,5 veces la altura del apoyo más alto.

Distancias a carreteras

Para la instalación de apoyos, tanto en el caso de cruzamiento como en el de paralelismo, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Para la red de carreteras del Estado, la instalación de apoyos se realizará preferentemente detrás de la línea límite de la edificación, y a una distancia de la arista exterior de la calzada superior a vez y media su altura. La línea límite de edificación es la situada a 50 m en autopistas, autovías y vías rápidas, y a 25 m en el resto de carreteras de la Red de Carreteras del Estado de la arista exterior de la calzada.
- 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.
- 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 Administrativos competentes. Para la red de carreteras del Estado la zona de afección comprende una distancia de 100 m desde la arista exterior de la explanación en el caso de autopistas, autovías y vías rápidas, y 50 m en el resto de carreteras de la Red de Carreteras Del Estado.
- 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.

Cruzamientos.

Son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada. No obstante, en el 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

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

Según ha quedado indicado con anterioridad, D_{el} tiene un valor para la tensión de 20 kV de 0,22 m. Para este tipo de líneas el valor de D_{add} se fija en 6,3 m para el caso de cruzamientos con carreteras. En cualquier caso la distancia mínima es de 7 m.

Ello significa que no existe variación práctica en relación con las distancias contempladas en el Reglamento actual.

Paralelismos

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

Distancias a ferrocarriles sin electrificar

Para la colocación de apoyos, tanto en el caso de paralelismo como de cruzamiento, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- 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 obras de edificación, reconstrucción o ampliación.
- La línea límite de edificación es la situada a 50 m de la arista exterior de la explanación medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea. La instalación de apoyos se realizará preferentemente detrás de la línea límite de edificación.
- Para la colocación de apoyos en la zona de protección de las líneas ferroviarias, se solicitará la oportuna autorización a los Órganos Administrativos competentes. La línea límite de la zona de protección es la situada a 70 m de la arista exterior de la explanación, medidos en horizontal y perpendicularmente al carril exterior de la vía férrea.
- 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.
- 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.

Cruzamientos.

Son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

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

Paralelismos.

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada

Distancias a ferrocarriles electrificados, tranvías y trolebuses

Para la instalación de apoyos es válido lo indicado en el caso de ferrocarriles sin electrificar.

Cruzamientos

Son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

La distancia mínima vertical de los conductores de la línea eléctrica, con su máxima flecha vertical, sobre el conductor más alto de todas las líneas de energía eléctrica, telefónicas y telegráficas del ferrocarril será de

$$3,5 + D_{el} \text{ en metros, con un mínimo de 4 m.}$$

Para las líneas de 20 kV D_{el} tiene por valor 0,22 m. Por consiguiente para este tipo de líneas hay que cumplir el valor mínimo de 4 m.

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.

Paralelismos

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

Distancias a teleféricos y cables transportadores.

Cruzamientos

Son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

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, 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 la carga en caso de accidente, será de:

$$4.5 + D_{el} \text{ en metros, con un mínimo de 5 metros.}$$

Para las líneas de 20 kV D_{el} tiene por valor 0,22 m. Por consiguiente para este tipo de líneas hay que cumplir el valor mínimo de 5 m.

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 lo indicado al respecto en el Reglamento.

Paralelismos

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

Distancias a ríos y canales, navegables y flotables

Para la instalación de los apoyos, tanto en el caso de paralelismos como de cruzamientos, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- La instalación de apoyos se realizará a una distancia de 25 m 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.
- 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.

Cruzamientos

Son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

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

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

G es el gálibo. D_{el} para las líneas de 20 kV de tensión nominal tiene por valor 0,22 m.

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

Paralelismos

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

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 propio peso y a una sobrecarga de viento, para una velocidad de éste de 120 km /h a la temperatura de + 15° C.

Las líneas deberán cumplir el R.D. 1995/2000 en todo lo referente a las limitaciones a la constitución de servidumbre de paso.

Bosques, árboles y masas de arbolado.

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

Para evitar las interrupciones de servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos con los conductores de una línea eléctrica aérea, deberá establecerse, mediante la indemnización correspondiente, una zona de protección de la línea cuya anchura será la definida por la proyección sobre el terreno de los conductores extremos y de sus cadenas de aisladores en las condiciones más desfavorables de viento, incrementada por la siguiente distancia de seguridad a ambos lados de dicha protección:

$$1,5 + D_{el} \text{ en metros, con un mínimo de 2 m.}$$

En las líneas de 20 kV de tensión nominal, dado el valor reglamentario de D_{el} habrá que considerar el mínimo de 2 m.

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 establecidas en el 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.

Para el cálculo de las distancias de seguridad entre el arbolado y los conductores extremos de la línea, se considerarán los conductores sometidos a la hipótesis más desfavorable de viento.

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 provocada puedan alcanzar los conductores en su posición normal, en la hipótesis de temperatura.

Los titulares de las redes de distribución y transporte de energía eléctrica deben mantener los márgenes por donde discurren las líneas limpios de vegetación, al objeto de evitar la generación o propagación de incendios forestales.

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

Edificios, construcciones y zonas urbanas

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

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 urbano 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 de suelo urbano no comprendidos dentro del casco de la población en Municipios que carezcan de Plan de Ordenación.

Conforme a lo establecido en el RD 1955/2000, para las líneas eléctricas aéreas, queda prohibida la construcción de edificios e instalaciones industriales en la franja definida por la proyección sobre el terreno de los conductores extremos en las condiciones más desfavorables (máxima desviación por efecto del viento), incrementada en la siguiente distancia de seguridad

$3,3 + D_{el}$ en metros, con un mínimo de 5 metros.

Para líneas de tensión nominal de 20 kV, dado el valor asignado para D_{el} , habrá que considerar en todos los casos la distancia de seguridad mínima de 5 metros.

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

No obstante de todo lo anterior, 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 m.
- Sobre puntos no accesibles a las personas $3,3 + D_{el}$ metros, con un mínimo de 4 m.

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 inmediatas.

Proximidad a aeropuertos

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

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

Proximidad a parques eólicos

No son de aplicación las condiciones de seguridad reforzada.

Por motivos de seguridad de las líneas eléctricas aéreas de conductores desnudos, queda prohibida la instalación de nuevos autogeneradores en la franja de terreno definida por la zona de servidumbre de vuelo incrementada en la altura total del autogenerador, incluida la pala, más 10 metros

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 R.D. 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.

CALCULO DE CIMENTACIONES DE APOYOS

El cálculo de cimentaciones de tipo monobloque no queda afectado por el nuevo Reglamento.

DERIVACIONES, SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES

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 en el propio apoyo en el que se efectúe 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 la 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.

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 de efectuar o no 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 las líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV.
- c) Los seccionadores tipo intemperie estarán situados a una altura del suelo superior a 5 m, 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 A.
- 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, se prohíbe instalar dispositivos con el fin de efectuar maniobras de acoplamiento, a no ser que se ponga de manifiesto la conformidad de ambas partes por escrito.

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

Interruptores

En el caso de 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 del servicio.

Protecciones

En las líneas eléctricas y sus derivaciones se dispondrán las protecciones contra sobrecargas y sobretensiones necesarias de acuerdo con la instalación receptora, de conformidad con lo especificado en el 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 la adecuada para garantizar la detección de un defecto franco a tierra de la línea.

PUESTA A TIERRA DE LOS APOYOS EN LAS LINEAS DE MEDIA TENSIÓN

Introducción

En el nuevo Reglamento se prevé la conexión a tierra de los apoyos de material conductor y de hormigón.

Al igual que ocurre en el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y garantías de seguridad en Centrales, Subestaciones y Centros de Transformación, no se indican valores máximos de las resistencias de tierra, sino que se remite al cumplimiento de las tensiones de contacto y de paso reglamentarias, tomando como referencia lo indicado en dicho Reglamento. Se utilizan las mismas ecuaciones para las tensiones de contacto, con la única variación de que en determinados casos se toma en consideración la resistencia al paso de la corriente del calzado, que se estima en 1.000 ohmios. La resistencia de la pisada se estima en 3 veces la resistividad superficial del terreno, al igual que en el Reglamento de Centrales.

El cálculo de las intensidades de defecto, así como el de las tensiones de contacto y de paso varía en función de las características de cada distribución, muy especialmente de la forma de conexión a tierra del neutro del transformador en la Subestación de la Empresa suministradora. Nosotros nos basamos en las condiciones de la distribución de Sevillana Endesa.

Quedó de manifiesto cuando estudiamos la conexión a tierra de los Centros de Transformación, que así como las condiciones acerca de las tensiones de paso eran relativamente fáciles de cumplir, (una vez que se multiplicaron por 10 los valores admisibles para la tensión de paso aplicada), salvo casos excepcionales, las condiciones relativas a las tensiones de contacto eran de muy difícil cumplimiento con los tiempos de desconexión que facilitaba la Empresa. Pasa igual, naturalmente, en el caso de las líneas, por lo que se hace necesario recurrir a la utilización de las mismas medidas complementarias que quedaron indicadas para los centros de transformación de tipo intemperie sobre poste.

Electrodos

Se indican en el Reglamento los distintos tipos de electrodos que pueden utilizarse. Nosotros nos referiremos siempre a electrodos compuestos de picas de acero cobre de 14 mm de diámetro y 2 m de longitud, con las cabezas unidas por cable de cobre desnudo de 50 mm² de sección. Se ha de hacer especial mención a la perfecta ejecución de las uniones. Por nuestra parte, consideramos aconsejable el empleo de soldadura aluminotérmica.

Líneas de tierra

Son las que unen los electrodos con las masas que deben quedar conectadas a tierra.

Las secciones mínimas de los conductores a utilizar serán

- Cobre de 25 mm²
- Aluminio de 35 mm²
- Acero de 50 mm².

Clasificación de los apoyos según su ubicación

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 ocupen ocasionalmente, como bosques, campo abierto, etc no están incluidos

Desde el punto de vista de la seguridad de las personas, los apoyos frecuentados podrán considerarse, a todos los efectos, como apoyos no frecuentados, en los siguientes casos:

- Cuando se aíslen 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 m. Dicho aislamiento podrá realizarse mediante vallas aislantes, antiescalos aislantes, etc.
- Haciendo inaccesibles 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 m. Debido a agentes externos (orografía del terreno, obstáculos naturales, etc) puede ocurrir que todas las partes metálicas de apoyo a distancias de contacto inferiores o iguales a 1,25 m sean inaccesibles, con lo que estos apoyos deberán considerarse como apoyos no frecuentados.
- Deberá tenerse en cuenta que los apoyos que contengan aparatos de maniobra deberán considerarse en cualquier caso como apoyos frecuentados.

Estos apoyos frecuentados se clasifican a su vez en

- a) Apoyos frecuentados con calzado. Se considera una resistencia adicional de 1,000 ohmios. Este valor se utiliza a efectos del cálculo de las tensiones de contacto, y se suma al valor $1,5 \rho_s$, de lo que hemos de deducir que en realidad se considera una resistencia de 2000 ohmios por cada pie, que al situarse los dos en paralelo resulta una resistencia de 1000 ohmios.
- b) Apoyos frecuentados sin calzado, situados en lugares tales como piscinas, camping, áreas recreativas, etc. No se considera la resistencia adicional del calzado.

Apoyos no frecuentados.

Son los situados en lugares que no son de acceso público, o donde el acceso de personas es poco frecuente.

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

Disposición que se estima debe adoptarse en cada uno de los casos citados.

Apoyos no frecuentados,

Se establece en el Reglamento que, si la línea está provista de desconexión automática (tal es el caso de la distribución en la zona de Sevillana Endesa, mediante la conexión a tierra del neutro del transformador de la Subestación), no es exigible el cumplimiento de las condiciones establecidas con carácter general en relación con las tensiones de contacto, ya que se puede considerar despreciable la probabilidad de acceso y la coincidencia de un fallo simultáneo.

Puede en tal caso utilizarse uno de los sistemas descritos en nuestro libro "Instalaciones de Puesta a Tierra en Centros de Transformación", si bien parece más sencillo conectar una pica de tierra a cada montante, utilizando el número de picas que resulte necesario, de tal forma que si se emplea más de una queden conectadas en paralelo a través del apoyo. Dado que el Reglamento exige que, cuando se conecten picas en paralelo, la distancia mínima entre ellas sea de 1,5 veces su longitud, consideramos que lo más adecuado es abrir unas zanjas en los vértices de la cimentación con una profundidad de 1 m para que las cabezas de las picas queden enterradas a 0,80 m. El número de picas a instalar vendrá impuesto por la resistencia máxima que pueda tener el electrodo, en función de la resistividad del terreno, de tal forma que quede asegurado el correcto funcionamiento de las protecciones, información que tendrá que venir definida en la versión definitiva del Reglamento, o bien que deberá facilitar la Empresa suministradora.

Este tipo de electrodos no está contemplado en nuestro libro "Instalaciones de Puesta a Tierra en Centros de Transformación", en el que se prevé en todo caso la interconexión de las picas por medio de cable de cobre de 50 mm². Es por ello por lo que se incluyen los valores de los coeficientes K_r correspondientes, que multiplicados en cada caso por la resistividad del terreno proporcionarán la resistencia del electrodo.

1 pica Kr = 0,416

2 picas Kr = 0,227

4 picas Kr = 0,147

Multiplicando la resistividad del terreno por el coeficiente Kr que corresponda, determinaremos la resistencia del electrodo. A partir de ella calculamos la intensidad de defecto en Amperios mediante la ecuación

$$I_d = \frac{11547}{R_N + R_t}$$

Siendo R_t = Valor de la resistencia de la toma de tierra de la instalación, calculada en la forma anteriormente indicada.

R_N es la resistencia de la tierra del neutro del transformador de la Subestación, que tiene los siguientes valores:

Para intensidad máxima de defecto = 300 A	$R_N = 40$ ohmios
Para intensidad máxima de defecto = 600 A	$R_N = 20$ ohmios
Para intensidad máxima de defecto = 1000 A	$R_N = 12$ ohmios
Para intensidad máxima de defecto = 2000 A	$R_N = 6$ ohmios

Apoyos frecuentados con calzado.

Como ya hemos indicado, las tensiones de contacto son muy difíciles de cumplir por lo que, al igual que ocurre en los centros de transformación tipo intemperie, es necesario adoptar medidas de seguridad complementarias.

En los apoyos frecuentados o que contienen aparatos de maniobra y/o protección, nos parece conveniente disponer un electrodo cerrado en anillo, con picas de acero-cobre de 14 mm de diámetro y 2 m de longitud, unidas sus cabezas con cable de cobre desnudo de 50 mm² de sección. El electrodo tipo más adecuado de entre los incluidos en el libro "Instalaciones de Puesta a Tierra en Centros de transformación" es posiblemente el nº 2, formado por 4 picas con sus cabezas unidas, cuyas dimensiones son 3x3 metros.

Con las cabezas de las picas enterradas a una profundidad de 0,80 m no debe haber ningún problema en relación con el cumplimiento de las tensiones de paso. En cualquier caso en el libro anteriormente citado existe información más detallada al respecto.

En relación con las tensiones de contacto, se deben adoptar las siguientes medidas complementarias:

- Construcción de una peana de hormigón alrededor del apoyo, de 1,25 m de ancho por 0,20 m de altura.
- Recubrimiento del apoyo por obra de fábrica de ladrillo hasta una altura mínima de 2,5 m.

Debemos indicar que cuando se hizo el estudio correspondiente con motivo de la aparición del Reglamento que incluye los Centros de Transformación, hicimos muchos ensayos con la disposición anteriormente indicada, midiendo las tensiones de contacto, con resultados absolutamente favorables. Concretamente las máximas tensiones de contacto aplicadas medidas entre el terreno y el recubrimiento de la torre fueron del orden de 6 Voltios.

Esta solución de recubrir el apoyo con fábrica de ladrillo viene contemplada en el nuevo Reglamento (Apartado 7.3.4.2.)

Apoyos frecuentados sin calzado

En nuestra opinión se debe evitar por todos los medios la existencia de apoyos de líneas de alta tensión en este tipo de terrenos. Si la instalación fuese inevitable, consideramos que se deben adoptar las medidas siguientes:

- Instalar una valla aislante e inaccesible a una distancia mínima de 1,25 m , con vistas e evitar cualquier tensión de contacto.
- En relación con las tensiones de paso, nos encontramos que este es un caso en el cual normalmente la resistividad superficial del terreno será muy inferior a la resistividad en la zona de los electrodos, especialmente después del riego de los jardines o zonas verdes que puedan existir. En este caso debemos elegir un sistema con el cual se cumplan las condiciones reglamentarias cualquiera que sea la diferencia de las resistividades en las zonas señaladas. . Para ello se ha de verificar que la tensión de paso real sea igual o inferior a la tensión de paso aplicada reglamentaria.

Si se adopta el sistema nº 2 al que antes nos hemos referido, para que se cumpla la condición a que se ha hecho referencia, y hasta una resistividad del terreno en la zona de electrodos de 600 ohmios metro, las cabezas de tal electrodo deben quedar enterradas a las siguientes profundidades mínimas:

Intensidad máxima de defecto = 300 A	h = 1 m
Intensidad máxima de defecto = 600 A	h = 1.2 m.
Intensidad máxima de defecto = 1000 A	h = 1.4 m
Intensidad máxima de defecto = 2000 A	h = 1.5 m.

Para mayor seguridad, si ello es posible, debe procurarse que la zona comprendida en un radio de unos 3 m del apoyo no sea normalmente frecuentada, por ejemplo instalando jardines en los que normalmente no entre el público. Por supuesto sería una solución muy efectiva el que dicha zona estuviese recubierta por una capa de hormigón, aunque ello tal vez no se compagine mucho con el entorno.

RESUMEN DE MODIFICACIONES INTRODUCIDAS EN LOS PROGRAMAS DE CALCULO

- a) En apoyos de ángulo, con una limitación de hasta a fijar por el usuario, pueden utilizarse cadenas de suspensión. La modificación afecta a los esfuerzos sobre el apoyo y a la desviación de las cadenas por la acción del viento.
- b) En el Reglamento actual la hipótesis de viento se calcula considerando la tracción correspondiente, coincidente con un temperatura de -5° C en todas las zonas. En el nuevo Reglamento ha de considerarse una temperatura de -10° C en zona B, y -15° C en zona C. Se han introducido las correspondientes modificaciones en los programas.
- c) Se han modificado las ecuaciones para el cálculo de las desviaciones de las cadenas de suspensión por la acción del viento, en zonas B y C. En el Reglamento anterior este cálculo se hacía en todos los casos a la temperatura de -5° C, mientras que con el nuevo Reglamento hay que hacerlos para -10° C en zona B, y -15° C en zona C. La presión del viento es la mitad de la que corresponde a un viento de una velocidad de 120 km/h.
- d) En los apoyos con cadenas de amarre, se han desglosado los de anclaje, ya considerados en el Reglamento actual, y los de amarre, que corresponden a una nueva concepción, con esfuerzos de desequilibrio de tracciones menos exigentes que en el caso de los apoyos de anclaje.
- e) Subsiste la posibilidad de prescindir de la hipótesis de rotura de conductores en apoyos de alineación y ángulo, en condicione similares a las contempladas en el reglamento actual. Se han modificado las condiciones de cálculo, ya que en el nuevo Reglamento el suprimir el esfuerzo de rotura de conductores se hace extensivo a todos los apoyos de alineación y ángulo, tanto si llevan cadenas de suspensión como de amarre. Naturalmente esto no es aplicable a los apoyos de anclaje o de fin de línea, pero sí a los de amarre.
- f) Dado que con la nueva nomenclatura se distingue entre apoyos de alineación, ángulo y fin de línea, se ha añadido a la tabla de esfuerzos una columna indicado para cada apoyo si las cadenas son de suspensión o de amarre.

- g) La ecuación para el cálculo de la separación mínima entre conductores de fase ha experimentado una variación, habiéndose efectuado en los programas la modificación correspondiente.

Málaga. Marzo de 2008
JULIAN MORENO CLEMENTE