

# 10 propuestas de mejora del reglamento de líneas de alta tensión

Alberto González Martínez, Pablo Zapico Gutiérrez y Jorge Juan Blanes Peiró

*10 proposed improvements to the regulation of high-voltage lines*

## RESUMEN

La publicación y posterior entrada en vigor del Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09, ha supuesto una modificación importante en el sistema de diseño y cálculo de las líneas eléctricas de alta tensión, y el llenado de un vacío normativo en el caso de las líneas aéreas aisladas y ejecutadas con conductor trenzado o en el de las líneas subterráneas de alta tensión. Todo ello hace indispensable examinar en profundidad esta norma, analizar los cambios y compararlos con la situación reglamentaria precedente prevista en el, ya derogado, Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión de 1968. Se han observado una serie de incoherencias y dislates en su redacción, en ocasiones incongruencias graves a juicio de los autores, que se ponen de manifiesto en el siguiente artículo y que exigen una revisión por parte de la autoría del reglamento o una adecuada interpretación por la autoridad competente encargada de que llegue a buen término la aplicación del mismo.

Recibido: 15 de octubre de 2012

Aceptado: 18 de febrero de 2013

## ABSTRACT

*The publication and subsequent entry into force of Royal Decree 223/2008 of February 15, which approves the regulation on technical conditions and safety guarantees in high voltage power lines and technical instructions ITC-LAT 01-09, has been a major change in the system design and calculation of high voltage power lines. It has also filled a regulatory gap in the case of airlines and executed with isolated or stranded conductor of underground high tension. All this makes it essential to examine in depth this rule, to analyze and to compare changes the regulatory status under the previous, now repealed, Regulation of Overhead Lines High Voltage 1968. There have been a number of inconsistencies and absurdities in its writing, sometimes serious inconsistencies in the opinion of the authors that are revealed in the following article. They require a review by the authorship of adequate regulation or interpretation by the competent authority in charge of its good application.*

Received: October 15, 2012

Accepted: February 18, 2013

## Palabras clave

Alta tensión, líneas eléctricas, normativa, legislación

## Keywords

High voltage, power line, regulations, legislation



Foto: Shutterstock

Con fecha 19 de marzo de 2008 fue publicado en el Boletín Oficial del Estado el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. Este Real Decreto establece, debido a su complejidad técnica, una serie de períodos de adaptación, desde seis meses para su entrada en vigor hasta dos años para la adecuación de instalaciones en fase de proyecto o ejecución o para la adaptación de las empresas instaladoras.

Transcurrido este periodo transitorio solamente se ha realizado una corrección de erratas, y se ha observado que no eran pocas las que han quedado por resolver. Y eso que no fueron pocos los borradores y revisiones por grupos de interés que sufrió este reglamento antes de su aprobación.

Como indica en su preámbulo el propio real decreto, su promulgación implica un amparo normativo a instalaciones a las que no atendía el anterior decreto. Además, el avance técnico de materiales y procedimientos ha visto notablemente sobrepasado el decreto de 1968, por lo que era inevitable una revisión del mismo.

El presente artículo expone de forma razonada que algunas de las prescripciones son incompatibles con la realidad.

Se observan, aparte de algunas erratas, errores de redacción, inconsistencias o directamente contradicciones. Incluso se ha observado que, en ocasiones, las disposiciones planteadas dan lugar a más desatino que las propias indicaciones ya existentes en la normativa interna de las propias compañías eléctricas.

Por último, se incluyen en el artículo propuestas de mejora para cada uno de los aspectos considerados, algunos de ellos imprescindibles para una mayor corrección del articulado del reglamento.

### Incongruencia en la definición de apoyos en amarre

#### Introducción

Como se presentará a continuación, el espíritu de la definición de apoyo en amarre no es la de proporcionar un punto fuerte en la línea, sino tratar de dar solución a un problema acaecido de forma cotidiana en la historia de las líneas aéreas de alta tensión.

En el supuesto escenario de encontrarse un apoyo de alineación con aislamiento en suspensión “ahorcado”, es decir, que por su ubicación en la línea –ubicado en un valle o desnivel–, los esfuerzos verticales debido al peso de los conductores resultasen ascendentes, o descendentes de pequeño valor, de tal manera que no pudiesen garantizarse,

en hipótesis de viento, la distancia mínima entre conductores y masa (según el diseño de la cruceta), la solución más habitual era la instalación de contrapesos. Esta solución no era la más deseada por las compañías distribuidoras, que, de hecho, no la incluían en sus proyectos tipo. La única solución pasaba por cambiar el tipo de aislamiento a amarre. Según el derogado Decreto 3151/1968, este apoyo automáticamente pasaba a apoyo en anclaje, proporcionando un punto fuerte de la línea, normalmente sin necesidad, encareciendo considerablemente el coste de esta.

Aparentemente, el apoyo en amarre resolvía esta situación, una instalación de un aislamiento en amarre, que imposibilita la aparición de apoyos “ahorcados”, garantizando la distancia de seguridad entre los conductores y la cruceta, aunque apareciesen esfuerzos verticales ascendentes.

De hecho, estos apoyos están dimensionados, como se comprobará con posterioridad, para cubrir el desequilibrio de tracciones entre dos vanos muy desiguales o en los que aparezcan condiciones climatológicas dispares, teniendo en cuenta que no se debe considerar el efecto amortiguador del desequilibrio de tracciones provocado por la oscilación de aisladores en suspensión. En ningún caso están dimensionados para evitar un

fallo en cascada de la línea por la rotura de algún conductor.

#### Revisión de la normativa

A continuación se observa lo indicado en el articulado del RD 223/2008, con respecto al diseño de líneas aéreas de alta tensión. Se deben considerar los siguientes epígrafes:

1. ITC-LAT 01. Terminología, Definición número 11. Cantón de una línea.

2. ITC-LAT 07. Líneas aéreas con conductores desnudos, en los siguientes apartados:

a. Apartado 1. Prescripciones generales. Subapartado 1.5 Requisitos.

b. Apartado 2. Materiales: conductores y cables de tierra, herrajes y accesorios, aisladores y apoyos. Subapartado 2.4.1 Apoyos, Clasificación según su función.

c. Apartado 3. Cálculos mecánicos. Subapartado 3.1.4.2. Desequilibrio en apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de aislamiento de amarre

En primer lugar, el epígrafe señalado como 1, simplemente presenta la definición de cantón de una línea, clave para la interpretación de la función de un apoyo en amarre.

*ITC-LAT 01. Terminología, Definición número 11. Cantón de una línea.*

*Conjunto de vanos de una línea eléctrica comprendidos entre dos apoyos de amarre.*

Quizá este sea el origen de la confusión que arrastra el error hacia delante en el texto legal.

Resulta muy interesante extraer del apartado 2.4.1 de la ITC-LAT 07, epígrafe 2.b, la exposición de la definición de apoyo en anclaje y apoyo en amarre.

*Apartado 2.4.1. Clasificación según su función*

...

*b) Apoyo de amarre: Apoyo con cadenas de aislamiento de amarre.*

*c) Apoyo de anclaje: Apoyo con cadenas de aislamiento de amarre destinado a proporcionar un punto firme en la línea. Limitará, en ese punto, la propagación de esfuerzos longitudinales de carácter excepcional. Todos los apoyos de la línea cuya función sea de anclaje tendrán identificación propia en el plano de detalle del proyecto de la línea.*

...

Seguidamente, se muestra la disposición reglamentaria que establece la base de cálculo del esfuerzo que debe soportar el apoyo en amarre para el desequilibrio de tracciones, indicado anteriormente como epígrafe 2.c.

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

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

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

Queda demostrado, que para un vano suficientemente corto (en el que el esfuerzo transversal por el viento no determine el diseño de la línea) apoyos del tipo HV 400 o HV 630 son adecuados para su instalación como apoyos en amarre, no evitando en ningún caso una rotura en cascada de la línea.

Por último, se extrae la información relativa a los criterios de diseño de la línea atendiendo a los requisitos para evitar la rotura en colapso de la línea del apartado 1.5 de la ITC-LAT 07.

##### 1.5 Requisitos

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

##### 1.5.1 Requisitos básicos

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

*a) Desempeñe su propósito bajo un conjunto de condiciones definidas, con niveles aceptables de fiabilidad y de manera económica. Esto se refiere a aspectos de requisitos de fiabilidad.*

*b) No sea susceptible de un colapso progresivo (en cascada) si sucede un fallo en un componente específico. Esto se refiere a aspectos de requisitos de seguridad de lo construido.*

...

*1.5.2 Requisitos de seguridad de la obra construida*

*Los requisitos de seguridad de la obra construida considerarán la existencia de cargas*

*especiales y el proyecto incluirá las medidas necesarias para prevenir fallos en cascada.*

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

#### Conclusiones

1. Debería ser modificada la definición de cantón, resultando *conjunto de vanos de una línea eléctrica comprendidos entre dos apoyos de anclaje*. Esta sería la mejor opción; se debe tener en cuenta que provoca otra disposición del reglamento, no permitiendo cambiar el coeficiente de seguridad entre dos vanos contiguos a un apoyo en amarre, modificando el concepto de vano de regulación.

2. Deberían ser modificados, al menos, los requisitos de diseño (apartado 1.5 de la ITC-LAT 07), estableciendo el límite de propagación de un fallo en cascada a apoyos en anclaje.

#### Instalación del cable de tierra

##### Introducción

El cable de tierra es un elemento tradicionalmente empleado en las líneas de primera categoría y categoría especial. Estos cables deben cumplir una doble función:

1. Realizar un apantallamiento electrostático de forma que los conductores activos sean protegidos por sobretensiones de origen atmosférico (rayos).

2. Unir eléctricamente todas las puestas a tierra de todos los apoyos, reduciendo el valor de la resistencia de tierra de la instalación, ya que será la resultante la asociación en paralelo de las resistencias de difusión a tierra de cada apoyo.

En el caso de pretenderse que solamente cumplan la función señalada como 2, no es de especial importancia su ubicación en un plano superior al de los conductores activos.

#### Revisión de la normativa

Se atiende a lo indicado en los siguientes epígrafes:

1. ITC-LAT 01. TERMINOLOGÍA, Definición número 7 CABLE DE TIERRA

2. ITC-LAT 07. Líneas aéreas con conductores desnudos, en el apartado 2.1.7.- Consideraciones en la instalación de los cables de tierra

La primera referencia simplemente presenta la definición de cable de tierra.

*Conductor conectado a tierra en alguno o en todos los apoyos, dispuesto generalmente, aunque no necesariamente, por encima de los conductores de fase, con el fin de asegurar una determinada protección frente a las descargas atmosféricas.*

La segunda referencia es una copia literal del artículo 9 del antiguo reglamento.

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

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

...

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

### Conclusiones

Las cuestiones que acontecen son varias:

- Si, como se introduce en la ITC-LAT 01, el cable se utiliza para asegurar protección frente a descargas atmosféricas, no debe considerarse la posibilidad de que se produzca esta situación, como se plantea en la referencia 2, en la que no se emplee para la protección de la línea.

- La instalación del cable de tierra bajo los conductores activos de la línea ofrecería la posibilidad de reducir la resistencia a tierra efectiva de cada uno de los apoyos de la línea, situación no planteada si quiera como posible función del cable de tierra en la ITC-LAT 01.

A juicio de los autores, no es necesaria ninguna mención a la función que desempeñan los cables de tierra en la ITC-LAT 01, ya que ni siquiera en el articulado deja clara cuál es esa función. Por otra parte, si se considerase la función contra sobrecargas de origen atmosférico, deberá dejar claro que el cable de tierra debe ubicarse en un plano superior a los conductores activos, donde realmente puede ejercer la función indicada.

### Aplicación de la cuarta hipótesis

#### Introducción

Existe un problema heredado (y/o mal entendido) del antiguo reglamento. Este es un problema que ya existía en el anterior reglamento y que no se ha corregido, resultando una incongruencia en la aplicación cotidiana de las disposiciones contenidas.

La no consideración de la cuarta hipótesis de cálculo mecánico es la que permite instalar apoyos HV en líneas de media tensión. Para que el lector tome conciencia del asunto, si no fuese por esta prescripción, todos los apoyos de una línea de tercera categoría tendrían un coste inasumible tratándose, al menos, de apoyos con 1.600 daN de esfuerzo nominal.

#### Revisión de la normativa

Toda la información necesaria para abordar la problemática aquí establecida se encuentra en el apartado 3.5.3 de la ITC-LAT 07.

##### 3.5.3 Hipótesis de cálculo

...

*En las líneas de tensión nominal hasta 66 kV, en los apoyos de alineación y de ángulo con cadenas de aislamiento de suspensión y amarre con conductores de carga mínima de rotura inferior a 6.600 daN, se puede prescindir de la consideración de la cuarta hipótesis.*

*tesis, cuando en la línea se verifiquen simultáneamente las siguientes condiciones:*

*a) Que los conductores y cables de tierra tengan un coeficiente de seguridad de 3 como mínimo.*

*b) Que el coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en la hipótesis tercera sea el correspondiente a las hipótesis normales.*

*c) Que se instalen apoyos de anclaje cada 3 kilómetros como máximo.*

Este artículo estaba redactado de igual modo en el antiguo reglamento con una salvedad que parece menor pero que, estudiada en mayor profundidad, tiene una carga de concepto importante, sobre todo por los perjuicios que ha supuesto a las instalaciones: fijaba una carga mínima de rotura de 6.600 kg (que son 6.468 daN). Este detalle, a simple vista es insignificante, pero la carga mínima de rotura es ligeramente inferior a 6.494 daN, resistencia a la tracción de uno de los cables más utilizados, el LA 180. En el antiguo reglamento las líneas con LA 180 no permitían el empleo de apoyos de uso cotidiano que soportaran los esfuerzos de torsión. Es por esto por lo que algunas compañías normalizaron el cable LA 175.

### Conclusiones

En el actual reglamento, en lugar de modificar sustancialmente la redacción del artículo, que no resuelve la gran duda, se pasaron los kg a daN y así se resuelve el problema concreto. La gran duda es: cómo se justifica que ahora sea reglamentario el conductor LA 180 tensado con un coeficiente de seguridad de 3 (que es una exageración para este cable), y no sea posible la instalación de un cable como el 263-AL7 (que se utiliza en Noruega, según la UNE EN 50182:2001), que tiene una resisten-

Tabla 1. Tabla F.30: Características de los conductores de aluminio reforzado con acero utilizados en España (tipo AL1/ST1A).

Código	Código antiguo	Al mm <sup>2</sup>	Sección Acero mm <sup>2</sup>	Total mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción asignada kN
27-AL1/4-ST1A	LA 30	26,7	4,45	31,1	9,74
47-AL1/8-ST1A	LA 56	46,8	7,79	54,6	16,29
67-AL1/11-ST1A	LA 78	67,3	11,2	78,6	23,12
94-AL1/22-ST1A	LA 110	94,2	22,0	116,2	43,17
119-AL1/28-ST1A	LA 145	119,3	27,8	147,1	54,03
147-AL1/34-ST1A	LA 180	147,3	34,4	181,6	64,94
242-AL1/39-ST1A	LA 280 HAWK	241,6	39,5	281,1	84,89
337-AL1/44-ST1A	LA 380 GULL	337,3	43,7	381,0	107,18
402-AL1/52-ST1A	LA 455 CONDOR	402,3	52,2	454,5	123,75
485-AL1/63-ST1A	LA 545 CARDINAL	484,5	62,8	547,3	149,04
565-AL1/72-ST1A	LA 635 FINCH	565,0	71,6	636,6	174,14

Código	Código antiguo	Sección mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción asignada kN
46-AL7	AL58 - 46	46,2	13,41
65-AL7	AL58 - 65	65,1	17,89
93-AL7	AL58 - 93	92,9	23,68
130-AL7	AL58 - 130	129,9	33,11
167-AL7	AL58 - 167	167,5	46,05
178-AL7	AL58 - 178	177,6	48,84
210-AL7	AL58 - 210	209,8	55,61
225-AL7	AL58 - 225	224,7	59,53
263-AL7	AL58 - 263	263,2	67,12
280-AL7	AL58 - 280	279,8	71,34
322-AL7	AL58 - 322	322,2	88,62
342-AL7	AL58 - 342	341,9	94,02
444-AL7	AL58 - 444	444,3	117,73
484-AL7	AL58 - 454	454,5	124,98
594-AL7	AL58 - 594	593,6	157,31
685-AL7	AL58 - 685	684,5	181,40
865-AL7	AL58 - 865	865,4	220,67

Tabla 2. Tabla F.24: Características de los conductores de aluminio reforzado con acero utilizados en España (tipo AL1/ST1A).

tado y el esfuerzo que va a soportar el apoyo en la hipótesis de tracción máxima es mayor en el caso del LA 180.

Los autores proponen el planteamiento de una tracción máxima, por ejemplo de 2.200 daN, y no remendar un error que se arrastraba desde hace 40 años, manteniendo la estructura del articulado.

Se muestra a continuación información relevante de la norma UNE 50182/2002. Dado que la nueva denominación no se ha extendido todavía. Se extraen, en concreto, datos de la *tabla F.30. Características de los conductores de aluminio reforzado con acero utilizados en España Tipo AL1/ST1A* y de la *tabla F.24*.

*Características de los conductores de aleación de aluminio utilizados en Noruega Tipo AL7.*

## Definición de empalme

### Introducción

Los empalmes son elementos que se disponen en las líneas eléctricas para dar continuidad a un cable eléctrico cuando finaliza su longitud, asegurando la continuidad otro cable que comienza.

Debido al diferente comportamiento y necesidades de las líneas eléctricas aéreas y subterráneas, la tecnología empleada en sendos empalmes es diferente. En el caso de las líneas aéreas el cable está sometido a un esfuerzo de tracción mecánica, por lo que el empalme debe soportar del mismo modo este esfuerzo, a no ser que se instale en alguna parte de la línea sin esfuerzo mecánico.

terráneas el empalme debe garantizar la continuidad de todos los componentes del cable –conductor, aislamiento, etcétera–.

### Revisión de la normativa

Se tiene en consideración lo indicado en los siguientes puntos:

1. ITC-LAT 01. TERMINOLOGÍA, Definición número 40. EMPALME.

2. ITC-LAT 07. Líneas aéreas con conductores desnudos, en el apartado 2.1.6.-2.1.6 Empalmes y conexiones.

El punto número 1 expone la definición de empalme, no exento de erratas ortográficas.

*40. EMPALME. Accesorio que garantiza la conexión entre dos cables para formar un circuito continuo.*

La segunda referencia expone las condiciones de utilización de empalmes y conexiones.

#### 2.1.6 Empalmes y conexiones

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

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

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

*deslizamiento del cable el 95% de la carga de rotura del cable empalmado.*

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

...

*Con carácter general los empalmes no se realizarán en los vanos sino en los puentes flojos entre las cadenas de amarre.*

...

La lectura detallada de los artículos indicados sugiere varias cuestiones:

• El reglamento no incorpora ninguna referencia a empalme en la ITC-LAT 06, líneas subterráneas con cables aislados. Tradicionalmente, se ha asociado el término “empalme” en el ámbito de las líneas subterráneas a un elemento que no garantiza continuidad mecánica.

• Existe una incongruencia, que radica en el concepto de empalme, no coincidiendo en la terminología y en la ITC LAT-07.

• La normativa sugiere que es preferente el uso de empalmes en los puentes flojos, partes de la línea no expuestas a tracciones mecánicas. En este caso parece conveniente que la normativa ofrezca la posibilidad de emplear conexiones, y no empalmes, en los puentes flojos. La instalación de conexiones en los puentes flojos es una técnica empleada en las líneas sin ninguna contraindicación.

### Conclusiones

Los autores proponen una serie de cambios en torno a estos conceptos:

1. Deben ser incluidas prescripciones relativas a empalmes en la ITC-LAT 06, líneas subterráneas con cables aislados. En este caso los empalmes deben garantizar la continuidad de todos los elementos del cable, aunque no es necesario que garantice continuidad mecánica.

2. Debe ser incluido un nuevo concepto aplicable a las líneas aéreas, que es el empalme de plena tracción, que garantice la continuidad eléctrica y que soporte sin rotura ni deslizamiento el esfuerzo mecánico suficiente para garantizar la continuidad mecánica de la línea.

3. Si la normativa establece como situación preferente la instalación de “empalmes” en los puentes flojos, deberá denominarlos conexiones.

## Definición de impedancia

### Introducción

La impedancia establece la relación entre la tensión y la corriente. Cobra especial

relevancia si la tensión y la corriente varían con el tiempo, en cuyo caso, la impedancia se conoce como una magnitud operacional. En el caso concreto de la corriente alterna, en el que la tensión y la corriente son magnitudes que evolucionan en el tiempo siguiendo funciones sinusoidales se describe con un número complejos. El módulo de la impedancia, comúnmente denominado también como impedancia –impropriamente– establece la relación entre los valores eficaces de la tensión y de la corriente. El concepto de impedancia permite ampliar la Ley de Ohm a circuitos con magnitudes variables, dando lugar a la Ley de Ohm generalizada. El término fue acuñado por Oliver Heaviside en 1886.

Una consulta al diccionario de la RAE nos ofrece la siguiente información: **Impedancia**.- (Del fr. *impédance*). 1. f. Electr. Relación entre la tensión alterna aplicada a un circuito y la intensidad de la corriente producida. Se mide en ohmios. 2. f. Fís. Relación entre la magnitud de una acción periódica y la de la respuesta producida en un sistema físico. Está claro que esta definición no es la más adecuada porque obvia el concepto impedancia aplicable a magnitudes variables, aunque es de reconocer que la corriente alterna es la forma de energía eléctrica utilizada de forma casi exclusiva.

#### Revisión de la normativa

En este caso solamente se somete a estudio la ITC-LAT 01. TERMINOLOGÍA, Definición número 43. IMPEDANCIA.

43. **IMPEDANCIA**. *Cociente de la tensión en los bornes de un circuito por la corriente que fluye por ellos. Esta definición solo es aplicable a corrientes sinusoidales.*

Esta referencia es una copia literal de la misma definición presentada en la ITC-BT-01. Terminología, del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

#### Conclusiones

En la definición de impedancia no se han tenido en cuenta conceptos básicos del estudio de los circuitos eléctricos, ni el concepto de impedancia operacional o impedancia compleja. A lo que se refiere la definición estudiada es al módulo de la impedancia compleja.

La redacción es poco o nada académica:

- Un circuito eléctrico no tiene bornes.
- Sería más propio hablar de magnitudes sinusoidales en lugar de corrientes sinusoidales. Esta expresión viene derivada de la expresión “corriente alterna”, aceptada en el argot para indicar circuitos sometidos a magnitudes sinusoidales, pero no es habitual hacer mención a corrientes sinusoidales.

Se propone una nueva redacción de la definición de impedancia más acorde con lo expuesto en este apartado, un ejemplo sería la recogida de la definición de la RAE con una pequeña variación: *Relación entre la tensión variable en el tiempo aplicada a un circuito y la intensidad de la corriente producida. Se mide en ohmios.*

#### Definición de conductor desnudo

##### Introducción

En el presente artículo se manifiesta solamente la existencia una errata detectada en la definición de conductor desnudo.

#### Revisión de la normativa

Se somete a estudio la ITC-LAT 01. TERMINOLOGÍA, Definición número 19. CONDUCTOR DESNUDO.

19. **CONDUCTOR DESNUDO**. *Elemento formado por varios alambres no aislados y cableados entre sí previsto para transportar la corriente eléctrica.*

#### Conclusiones

Se propone subsanar la errata detectada, sustituyendo **aislados** por **aislados**.

#### Paso de líneas eléctricas subterráneas por zonas de tránsito de vehículos

##### Introducción

Como ya se ha indicado con anterioridad, las líneas eléctricas de alta tensión eran un tipo de instalación que no estaba regulado en normativa alguna hasta la aparición del RD 223/2008. Sin embargo, este tipo de instalación ha sido diseñado y ejecutado desde hace muchos años, siguiendo otras fuentes normativas, como los proyectos tipo de las compañías distribuidoras o incluso el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Las líneas eléctricas de alta tensión pueden ser ejecutadas dejando tendido directamente el cable en el interior de la zanja, con los cables directamente enterrados. Suele mejorarse esta instalación alojando los cables en el interior de tubos, que permiten la instalación y retirada de los cables con mayor comodidad, incluso con la obra civil terminada, la sustitución de cables, la inspección de las canalizaciones. Incluso los tubos proporcionan una resistencia mecánica que ofrece una protección adicional al cable. El único inconveniente de este tipo de instalación, menor y fuera del alcance de este artículo, es que la disipación térmica es menor, disminuyendo la corriente máxima admisible del cable.

Por otra parte, la circulación de vehículos puede provocar un daño sobre las líneas subterráneas de alta tensión, por lo que hace necesario dar al cable una protección mecánica adicional.

#### Revisión de la normativa

Se discutirá lo indicado en los siguientes epígrafes:

1. ITC-LAT 06. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS CON CABLES AISLADOS, Apartado 4. Instalación de cables aislados. Subapartado 4.2. En canalización entubada.

2. ITC-LAT 06. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS CON CABLES AISLADOS, Apartado 5. Cruzamientos, proximidades y paralelismos. Subapartado 5.2. Calles y carreteras.

En primer lugar, el epígrafe señalado como 1 presenta la forma de ejecución de las canalizaciones entubadas de forma general sin entrar en detalle de la fundación afectada ni considerar si esta canalización entubada debe estar protegida adicionalmente por un hormigonado en calzada.

##### 4.2 En canalización entubada

*La profundidad, hasta la parte superior del tubo más próximo a la superficie, no será menor de 0,6 metros en acera o tierra, ni de 0,8 metros en calzada.*

Se transcribe a continuación la disposición reglamentaria que establece el criterio de diseño de las líneas eléctricas subterráneas de alta tensión en el caso de que discurran cruzando calles o calzadas, indicado anteriormente como epígrafe 2.

##### 5.2 Cruzamientos

*A continuación se fijan, para cada uno de los casos indicados, las condiciones a que deben responder los cruzamientos de cables subterráneos de A.T.*

###### 5.2.1 Calles y carreteras

*Los cables se colocarán en canalizaciones entubadas hormigonadas en toda su longitud. La profundidad hasta la parte superior del tubo más próximo a la superficie no será inferior a 0,6 metros. Siempre que sea posible, el cruce se hará perpendicular al eje del vial.*

La normativa sometida a estudio es inconsistente y falta de criterio.

Conviene distinguir entre líneas entubadas que cruzan una calzada o líneas entubadas a lo largo de calzada –o cualquier tipo de fundación en la que se prevea tráfico de vehículos–. La experiencia acumulada por las compañías distribuidoras, reflejada en sus proyectos tipo, permite que las canalizaciones de las líneas eléctricas subterráneas de alta tensión a lo largo de una calzada no estén hormigonadas, justificándose por un mejor comportamiento mecánico de los tubos cuando sufren una circulación sobre ellos de forma longitudinal que de forma transversal –cruzamientos–. Esta circunstancia no es manifestada por el reglamento. En todo caso parece lógico establecer condiciones más severas en el caso de cruzamiento que en caso de discurso longitudinal a lo largo de calzadas.

Los autores no consideran adecuado en absoluto que se establezca una condición más restrictiva en el caso general (apartado 4.2) que en el caso particular (apartado 5.2), pues el caso particular, más desfavorable, quedaría al amparo de la casuística general. En este caso no sería necesario plantear el caso particular.

Curiosamente, el reglamento no hace referencia alguna al discurso de líneas subterráneas sobre tramos de acera en los que es probable el tránsito de vehículos, como puede ser el acceso a garajes.

### Conclusiones

Se propone que se tenga en consideración una condición igual o más restrictiva en la situación más desfavorable.

Se propone que se sustituya el término *calzada* o los términos *calles y carreteras* por la expresión *zonas en las que se prevea la circulación de vehículos*.

Se propone que se regulen situaciones que no han sido tenidas en cuenta, como los accesos a garajes.

## Distancias al terreno de líneas eléctricas aéreas por zonas de tránsito de vehículos

### Introducción

Una situación no incluida en el derogado decreto era la circunstancia de que vehículos, maquinaria o instalaciones agrícolas, de grandes dimensiones, ocuparan de forma masiva los campos de cultivo. Por este motivo, el nuevo reglamento establece como nueva prescripción particular un endurecimiento de las distancias de seguridad de las líneas eléctricas aéreas en explotaciones ganaderas o agrícolas. Los autores consideran un acierto incluir esta disposición, ya que han sido muchos los agricultores y ganaderos que han sufrido las consecuencias de la instalación de líneas eléctricas en sus explotaciones.

### Revisión de la normativa

La prescripción que se estudiará en este caso se encuentra en ITC-LAT 07. Líneas aéreas con conductores desnudos, en el apartado 5. Distancias mínimas de seguridad. Cruzamientos y paralelismos. Subapartado 5.5.

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

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

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

*Dadd+ Del = 5,3 + Del metros, con un mínimo de 6 metros. No obstante, en lugares de difícil acceso las anteriores distancias podrán ser reducidas en un metro.*

...

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

El aumento de la distancia de seguridad en explotaciones es acertado: tránsito de tractores, instalación de regadíos, etcétera, pero ¿cómo consideran que van a llegar los tractores a las fincas, por autopista?

En opinión de los autores, la redacción olvidó distinguir caminos de herradura (o terrenos no accesibles a vehículos) y caminos (que permiten el tránsito de tractores, con remolques cargados de muchas filas de pacas).

### Conclusiones

A juicio de los autores, esta disposición es la que deberá corregirse con más urgencia.

Se propone que se aumente la distancia de seguridad a 7 metros en todo tipo de vías donde se prevea el tránsito de vehículos, quedando solamente fuera del ámbito de aplicación de esta distancia las sendas o caminos de herradura, en los cuales sea absolutamente imposible la circulación de un vehículo de grandes dimensiones.

## Proyectos de líneas eléctricas de alta tensión

### Introducción

La Norma UNE 157001:2002. Criterios generales para la elaboración de proyectos es una norma que tiene por objeto plantear de forma general un conjunto de pautas que permitan determinar las condiciones que deben satisfacer los proyectos, para que sean conformes al fin para el que están destinados. Esta norma no es de obligado cumplimiento, sino que son los distintos reglamentos técnicos, dentro de cada ámbito de aplicación, los que indican la obligatoriedad o no de su aplicación.

La misma norma define las cualidades de proyecto, indicando: *Los proyectos deberán estar desarrollados en forma concisa, concreta y con suficiente amplitud para que queden determinados todos los aspectos que interesan al destinatario del mismo, de tal forma que quien deba desarrollarlo o materializarlo pueda hacerlo sin necesidad de solicitar al autor aclaraciones, sin las cuales no sea posible su interpretación.*

### Revisión de la normativa

Se estudiará en este caso la concordancia entre las siguientes normas:

1. ITC-LAT 09. Anteproyectos y Proyectos. Apartado 1. Prescripciones generales.

2. Norma UNE 157001:2002. Criterios generales para la elaboración de proyectos. Apartado 4 REQUISITOS GENERALES. Subapartado 4.2 Documentos.

3. ITC-LAT 09. Anteproyectos y Proyectos. Apartado 3. Proyecto de ejecución. Subapartado 3.3. Documentos que comprende

La referencia señalada como 1 establece:

#### 1. PRESCRIPCIONES GENERALES

Para la elaboración de los anteproyectos y proyectos se utilizarán, como guía, las consideraciones indicadas en la norma UNE 157001.

A pesar de no tratarse de una norma de obligado cumplimiento, los autores consideran un acierto que se haya adoptado como referente una norma que tiene como objetivo vigilar por la claridad y el orden en la redacción de un proyecto.

La referencia señalada como 2 propone cuántos, cuáles y en qué orden deben ubicarse los documentos que componen un proyecto:

#### 4 REQUISITOS GENERALES

##### 4.1 Título

*Todo Proyecto debe de tener un título que haga expresar de forma clara e inequívoca el producto, obra, instalación, servicio o software (soporte lógico) objeto del mismo.*

##### 4.2 Documentos

4.2.1 *El Proyecto constará de los siguientes documentos básicos: Índice General, Memoria, Anexos, Planos, Pliego de Condiciones, Estado de Mediciones, Presupuesto y, cuando proceda, Estudios con Entidad Propia, presentados en el orden indicado.*

...

La referencia señalada como 3 curiosamente propone que el proyecto conste de los siguientes documentos:

##### 3.3 Documentos que comprende

*El proyecto de ejecución constará, en general, de los documentos siguientes:*

*a) Memoria;*

*b) Pliego de condiciones técnicas;*

*c) Presupuesto;*

*d) Planos;*

*e) Estudio de seguridad y salud.*

Curiosamente, el orden y número de los documentos no coincide en los epígrafes 2 y 3.

Conviene destacar que la Norma UNE 157001:2002 identifica proyecto y proyecto ejecutivo o constructivo.

### Conclusiones

Se propone simplemente que en el reglamento, en el que se ha decidido adoptar la Norma UNE 157001:2002 para la redacción de proyectos, se sigan los criterios establecidos en esta norma.

## Instalación líneas aéreas con cables aislados reunidos en haz

### Introducción

Otra de las importantes novedades incluidas en el nuevo reglamento es el empleo de cables aislados en líneas aéreas de alta tensión.

Las líneas aisladas son una buena solución técnica alternativa a las líneas con conductores desnudos en el caso de que se quiera reducir la distancia entre cables o entre cables y el terreno o propiciada por la mayor seguridad que proporciona la capa aislante recubre el material conductor. Su uso hasta ahora es muy reducido, debido a su elevado coste. Sin embargo, se trata de una solución excelente para zonas de bosques o de gran arbolado, zonas con proximidad a obras o con vehículos en circulación, zonas urbanas de elevada contaminación o penetración en núcleos urbanos.

### Revisión de la normativa

Dentro de la ITC-LAT 08. Líneas aéreas con cables unipolares aislados reunidos en haz o con conductores recubiertos, se encuentran los apartados que serán observados:

1. Apartado 1. Condiciones generales.
- Subapartado 1.5 Sistemas de instalación.
2. Apartado 4. Cálculos mecánicos.
- Subapartado 4.6 Herrajes.
3. Apartado 5. Cálculos eléctricos.
- Subapartado 5.2 Otros cables o sistemas de instalación.
4. Apartado 6. Distancias mínimas de seguridad. Cruzamientos y paralelismos. Paso por zonas. Subapartado 6.13.2 Edificios, construcciones y zonas urbanas.

Parece obvio que el reglamento exige, a tenor de lo planteado en el epígrafe 1, que únicamente son de aplicación para todo tipo de instalaciones reguladas por la ITC-LAT 08, un sistema de instalación basado en instalación de red tensada sobre apoyo, y no está permitida ningún otro tipo de instalación, como el soportar alguno de los dos tipos de líneas aquí incluidas (en concreto el de cables aislados en haz) en soportes a fachadas, o fijarlo directamente a fachadas.

#### 1.5 Sistemas de instalación

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

Esta afirmación no parece tan obvia tras una lectura a los epígrafes 2 y 3.

#### 4.6 Herrajes

*Se considerarán bajo esta denominación todos los elementos utilizados para la fijación del fijador portante del haz o cables de fase al apoyo, soportes, etc.*

...

### 5.2 Otros cables o sistemas de instalación

*Para cualquier otro tipo de cable o composiciones u otro sistema de instalación no contemplado en esta instrucción, así como para los cables que no figuran en las tablas anteriores, para el cálculo de las corrientes máximas admisibles deberá consultarse la norma UNE 20435 o calcularse según la norma UNE 21144.*

Y se siembran más dudas observando el epígrafe 4, dejando un vacío en un aspecto tan importante como las distancias a edificios construcciones y zonas urbanas en los cables aislados en haz

#### 6.13.2 Edificios, construcciones y zonas urbanas

*Para los conductores recubiertos, se aplicará, a este respecto, lo especificado en el apartado 5.12.2 de la ITC-LAT 07.*

Se puede ver como indica el epígrafe 1 que el sistema de instalación se restringe a red tensada sobre apoyo, cuando este cable –el que es en haz trenzado– podría, si fuese necesario, fijarse a una construcción (hay elementos normalizados), o disponerse en bandejas. De hecho, lo señalado en el epígrafe 2 parece que deja abierta la puerta a otros sistemas de instalación, incluso en el epígrafe 3 no indica solo apoyo.

En principio, los autores consideramos que la instalación de cables trenzados en haz no debería plantear mayor inconveniente, pero es ilegal, al señalarse clarísimamente los sistemas de instalación exclusivos en apoyo.

El principal inconveniente que puede provocar la instalación de cables aislados en haz en alta tensión posada sobre fachada podría ser una confusión con cables de baja tensión, debido a su aspecto similar. Este inconveniente se resolvería con una cubierta de color diferente del negro en este tipo de cables.

En opinión de los autores, el principal error cometido en la redacción de esta instrucción fue mezclar líneas formadas por conductores recubiertos y líneas en haz trenzado.

### Conclusiones

Se propone que se separe en dos ITC diferentes los dos tipos de instalación recogidos en la ITC-LAT 08, debido que estos dos tipos de instalación tienen, en nuestra opinión, más diferencias que semejanzas.

Se propone que se indique de forma clara si se permite la instalación de cables aislados reunidos en haz en otro tipo de instalación diferente de red tensada sobre apoyos.

En el caso de que no se considere adecuado cualquier otro sistema de instalación diferente del de tensada sobre apoyo, se pro-

pone que se elimine cualquier referencia que pueda crear confusión sobre la legalidad de cualquier otro sistema de instalación.

### Conclusiones

Los autores consideran que se debería someter a trámite una modificación del actual reglamento para tratar las propuestas tratadas en cada uno de los 10 apartados anteriores y, si procede, corregir los aspectos indicados en el presente artículo.

### Bibliografía

BOE (2008). Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

BOE (2008). Corrección de erratas del Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09 (BOE nº 120 de 17 de mayo de 2008).

BOE (2008). Corrección de erratas del Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09 (BOE nº: 174 de 19 de julio de 2008).

BOE (1968). Decreto 3151/1968, de 28 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión (derogado).

BOE (2010). Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

BOE (2010). Corrección de errores del Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio

BOE (2002). R.D. 842/2002. Reglamento electrotécnico para baja tensión.

Aenor (2002). Norma UNE 157001:2002. Criterios generales para la elaboración de proyectos.

Aenor (2001). Norma UNE EN 50182:2001. Conductores para líneas eléctricas aéreas. Conductores de alambres redondos cableados en capas concéntricas.

### Alberto González Martínez

alberto.gonzalez@unileon.es

Ingeniero industrial. Universidad de León. Área de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática.

### Pablo Zapico Gutiérrez

Ingeniero técnico industrial Y máster en energías renovables. Universidad de León. Área de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática.

### Jorge Juan Blanes Peiró

Doctor ingeniero industrial. Universidad de León. Área de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática