

OPINIÓN

Novedades en el nuevo reglamento de alta tensión

Pablo Zapico Gutiérrez, Alberto González Martínez y Luis Vidal Conde Salán

New developments in high voltage regulation

RESUMEN

La publicación y posterior entrada en vigor del Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23, ha supuesto una modificación importante en el sistema de diseño y cálculo de las instalaciones eléctricas 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 Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación.

Se han observado una serie de posibles desaciertos en su redacción, en ocasiones importantes, a juicio de los autores, que se ponen de manifiesto en el siguiente artículo y que pueden ser la base que propicie una mejora del reglamento o una adecuada interpretación por la autoridad competente encargada de que llegue a buen término la aplicación del mismo.

Recibido: 12 de noviembre de 2014

Aceptado: 22 de enero de 2015

ABSTRACT

The publication and subsequent entry into force of Royal Decree 337/2014, on May 9, amending the Regulation on technical conditions and safety guarantees in high voltage electrical installations and approve Technical Instructions ITC-RAT 01 to 23, has been a major change in system design and calculation of high voltage electrical installations. This makes it essential to examine in depth this rule, analyze changes and compare them with the regulatory status precedent provided for Royal Decree 3275/1982, on November 12, on Technical Conditions and Guarantees in Power Plants and Centers Transformation.

There has been a number of possible blunders in wording, on important occasions, in the opinion of these authors that are apparent in the following article, which can be the basis to improve the regulation or proper interpretation of the competent authority that comes to fruition the application.

Received: November 12, 2014

Accepted: January 22, 2015

Palabras clave

Alta tensión, electricidad, transformador, aparamenta, transformador, instalación, legislación.

Keywords

High voltage line, electric power generation, transformers, electricity, installation, administrative authorization.



Foto: Tomgigabite / Shutterstock.

Introducción

La publicación en el Boletín Oficial del Estado de 9 de junio de 2014 del Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus 23 Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23, ha supuesto un cambio importante en la regulación de estas instalaciones, por lo que procede realizar una serie de comentarios sobre dicha norma.

Para comenzar, deroga y sustituye el Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación, la Orden de 6 de julio de 1984, por la que se aprueban las Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación y sus modificaciones. Esta regulación se mantuvo en vigor durante más de 30 años y, aun con ciertas limitaciones técnicas, sobrevenidas sobre todo por el continuo avance de la tecnología empleada, ha permitido mantener unos estándares

de calidad más que aceptables en este tipo de instalaciones.

Reglamento

Los primeros cambios importantes comienzan en el articulado del propio reglamento, previamente a los criterios técnicos establecidos en las correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias, más completas, en cuanto a detalles, a juicio de los autores. El artículo 20 elimina la autorización administrativa para las instalaciones de particulares, lo que supone un avance muy importante que preserva los derechos del ciudadano particular, pues simplifica y agiliza mucho la tramitación de las instalaciones. Algunas comunidades autónomas ya lo habían propuesto y publicado en sus boletines oficiales, pero supone un beneficio regularlo a nivel nacional, ya que aumenta la seguridad jurídica de todos los españoles.

Desarrollo de las instrucciones técnicas complementarias

Introducción

Las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-RAT) detallan y justifican aspectos técnicos del reglamento en los diversos temas concretos, como se irá comentando pormenorizadamente a lo largo del presente artículo.

ITC-RAT 05.

Circuitos eléctricos

La citada instrucción técnica indica textualmente: *"Todos los circuitos de baja tensión no conectados a tierra, que estén en contacto con máquinas o aparatos de alta tensión, o que estén muy próximos a otros circuitos de alta tensión, deben ser considerados, a efectos de su disposición y servicio, como si fuesen ellos mismos elementos de alta tensión"*. Esta prescripción no es novedosa; en la MIE-RAT 05 del antiguo reglamento ya decía algo similar. Si aplicamos el reglamento de líneas de alta tensión sería preceptivo la actuación de un instalador de alta tensión. Además, actualmente, en muchas comunidades autónomas existe la figura del instalador de alta tensión. La correcta aplicación de esta disposición implica que este instalador, y no otro, es el único que puede realizar los circuitos de baja tensión dentro del recinto de un centro de transformación, salidas en baja tensión, cableado de medida, alumbrado, servicios auxiliares o seguridad.

Por otra parte, la misma instrucción incluye: *"Las canalizaciones de alta tensión deberán ser dispuestas y realizadas de acuerdo con el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión, considerando en la*

transición a las acometidas de instalaciones de alta tensión lo indicado en el apartado 5.2 de esta instrucción. Se tendrá en cuenta, en su disposición, el peligro de incendio, su propagación y consecuencias, para lo cual se procurará reducir al mínimo sus riesgos adoptando las medidas que a continuación se indican: a) Las canalizaciones no deberán disponerse sobre materiales combustibles no autoextinguibles, ni se encontrarán cubiertas por ellos...". En los centros de transformación se utiliza, de forma casi exclusiva, en las canalizaciones de entrada-salida de cables espuma de poliuretano para sellar tubos e impedir la entrada de humedad y roedores. Sin embargo, dicha espuma no tiene ninguna resistencia al fuego y arde desprendiendo vapores y humos tóxicos (entre otros productos el cianuro de hidrógeno o HCN). Por ello, es totalmente desaconsejable para utilizarlo en centros de transformación adosados a un edificio o ubicados en su interior. Será necesario sustituir dicha espuma por mantas intumescentes, silicona y sus derivados y/o capuchones termoretráctiles homologados.

ITC-RAT 06.

Aparatos de maniobra de circuitos

Esta instrucción técnica permite la instalación en las subestaciones de un interruptor automático en cabecera y varios seccionadores aguas abajo para maniobrar varios transformadores. Limita la intensidad mínima de dichos seccionadores a 200 amperios (punto 3.7), lo que es una medida de seguridad adecuada. Su apertura quedará condicionada a que exista un enclavamiento con el corte previo de la salida, en el lado secundario (punto 4.5). En opinión de los autores se debería limitar la potencia máxima de los transformadores y la tensión de los mismos, para que se pueda implantar este montaje. Para altas tensiones o potencias este sistema podría ser muy peligroso para las personas, instalaciones y bienes. En el punto 3.4, sin embargo, incluye la obligación de utilizar seccionadores con puesta a tierra enclavada y bases sin posibilidad de contorneo, lo que redunda en una mejora del comportamiento de los dispositivos. Por otra parte, admite que se supriman los seccionadores si el interruptor es extraíble, punto 4.3, lo que puede considerarse precisamente una buena práctica desde el punto de vista de la seguridad. Todo ello ya se incluía en la antigua MIE-RAT 06 y se ha perdido una espléndida

ocasión de mejorarlo y adaptarlo a la tecnología actual.

ITC-RAT 07.

Transformadores y autotransformadores de potencia

En el punto 5 de esta instrucción, se limita la impedancia de cortocircuito a unos valores máximos. Esta prescripción es, a priori, beneficiosa, en aras de un mejor comportamiento energético de los transformadores, aumentando la eficiencia energética del equipo. A juicio de los autores, la aplicación de este apartado merece una reflexión particular en el caso de la sustitución de un transformador antiguo por otro que cumpla dichas especificaciones, que tampoco son especialmente modernas, puesto que ya estaban en la norma UNE 20138-82 y en la RU 5204-B. En estas especificaciones no se hace mención a los transformadores secos. Se debe considerar que todos los transformadores del mercado cumplirán estas especificaciones.

La limitación de la impedancia de cortocircuito no solo reduce las pérdidas de potencia del transformador, sino que, además, eleva en la misma proporción el valor de la corriente máxima de cortocircuito aguas abajo del mismo. Esta sustitución debe ser motivo de un estudio exhaustivo, ya que obligaría a realizar un estudio detallado de los valores de corrientes de cortocircuito en su totalidad, y posiblemente a la sustitución de los dispositivos de protección correspondientes máxime cuando la sustitución de un transformador por otro de la misma potencia no es objeto de redacción de proyecto¹.

Se indican, a modo de ilustración, dos casos:

1. Sustitución de un transformador de 800 kVA antiguo, con una impedancia de cortocircuito del 8%, valor perfectamente posible en transformadores antiguos. La impedancia de cortocircuito del transformador sustituto no puede exceder del 6%. La intensidad de cortocircuito trifásica máxima en el transformador que se sustituye sería de 14.434 A, por lo que sería válida una gama de interruptores automáticos con una corriente de cortocircuito asignada de 16 kA. Esta aparenta ya no sería válida una vez sustituido el transformador, ya que la corriente de cortocircuito ascendería a 19.245 A.

2. Sustitución de un transformador de 2.000 kVA antiguo, con una impedancia de cortocircuito del 8,2%, valor típico de mercado en transformadores antiguos.

La impedancia de cortocircuito del transformador sustituto no puede exceder del 6%. La intensidad de cortocircuito trifásica máxima en el transformador que se ha de sustituir sería de 35.204 A, por lo que sería válida una gama de interruptores automáticos con una corriente de cortocircuito asignada de 36 kA. Esta aparenta ya no sería válida una vez sustituido el transformador, ni la gama inmediatamente superior, de 42 kA, ya que la corriente de cortocircuito ascendería a 48.112 A y sería necesaria una aparenta de protección de 50 kA de capacidad mínima de corte.

A pesar de no tener especial relevancia técnica, la terminología empleada en la tabla estudiada anteriormente se refiere a Z_{∞} , que no es el parámetro más adecuado para el estudio de la eficiencia energética del transformador, ya que el parámetro considerado de referencia para el estudio del ensayo de cortocircuito de un transformador es el valor de la tensión de cortocircuito. Además, las propias placas de características de los fabricantes de transformadores solamente facilitan el valor de U_{∞} .

La misma instrucción, en el apartado 6, hace referencia a los cables utilizados en los circuitos auxiliares de los transformadores y reactancias aislados con aceite, que deben ser resistentes a la degradación por líquidos aislantes. Esta prescripción ya estaba incluida en la MIE-RAT 07.5 del anterior reglamento. El motivo por el que los autores consideran que debe mencionarse el presente comentario es que, a raíz de su experiencia acumulada, la mayor parte de las instalaciones no están en cumplimiento de este aspecto, a pesar de no ser novedoso. El cumplimiento de este apartado exige la utilización de cables de cubierta de goma vulcanizada de policloropreno tipo SE 1 según IEC 60.502-1, tipo DN, o similar.

ITC-RAT 08.

Transformadores de medida y protección

En el punto 1 *in fine* de esta ITC, establece la obligación de adoptar medidas para evitar daños en el caso de explosión de los transformadores de medida. Los transformadores de intensidad, cuando se quedan en circuito abierto pueden explosionar y si son aislados con aceite, proyectarlo caliente sobre su entorno, con el consiguiente peligro para personas y bienes. Por ello, se ha plasmado la obligación de protegerlos en el nuevo reglamento, que considera que las cabinas de alta tensión pueden ser una

medida suficiente. En el caso de los equipos de intemperie deberá buscarse una solución adecuada equivalente.

El apartado 2 de la ITC referente a transformadores de medida y protección establece literalmente: *"En el caso de transformadores de tensión, la relación de transformación será un número entero tal que la tensión asignada del primario, elegida dentro de las series de tensiones asignadas normalizadas, esté comprendida entre el 100% y el 120% de la tensión nominal del circuito de potencia primario".*

Actualmente, esta prescripción no se cumple en todos los casos de los transformadores de tensión empleados en el mercado. Ejemplos de transformadores empleados en la actualidad que no cumplen estos requisitos son 46.000/ $\sqrt{3}$ /110V $\sqrt{3}$ y 44.000/ $\sqrt{3}$ /110V $\sqrt{3}$. En el primer caso cumple, pues la relación de transformación es de 40, que es un número entero. Sin embargo, la tensión está 1.000 V por debajo de la nominal y no cumple. En el segundo caso, es la relación de transformación la que no cumple, pues no es un número entero.

ITC-RAT 09.

Protecciones

Protección de generadores

La instrucción técnica ITC-RAT 09.4.1 sobre protecciones de generadores rotativos amplía de forma muy contundente el único párrafo que le dedicaba al tema el reglamento de 1982, reemplazándolo por una relación pormenorizada de protecciones en las que se incluyen protección contra los defectos de lubricación (38) refrigeración (49), sobrevelocidad (12), sobrecargas (50), cortocircuitos (51), sobretensiones de origen interno o externo (59), falta a tierra del estator (64) y en los generadores de más de 5 MW de potencia prescribe, además, una protección diferencial (87), máxima y mínima frecuencia (81), inversión de potencia (32), falta a tierra en el rotor (64), defecto de excitación (40), sobre-tensión (59), falta de tensión de alimentación del regulador (37), temperatura de bobinados y del circuito magnético (49), así como un sistema de protección contra incendios (45); prescribe como recomendables los detectores de vibraciones (30) y, en el caso de los generadores síncronos asociados a baterías de condensadores, una protección contra sobretensiones de autoexcitación (24). La diferencia con la regulación anterior es muy notable, pasando de un mero aspecto indicativo a un elevado nivel de

detalle. No obstante, muchas de estas protecciones se prescribían en la orden de 5 de septiembre de 1985 y en sus posteriores modificaciones, que complementaron el reglamento de 1982. Esta ampliación viene, sin duda, promovida por el elevado número de generadores instalados a lo largo del último decenio, sobre todo de pequeños generadores a lo largo de la red de distribución. Es un hecho que el modelo actual está agotado y parece evidente que el futuro discurre hacia una red de generación distribuida, democratizando el sector eléctrico, lo que implica unas protecciones mucho más versátiles.

Protección de transformadores

La instrucción técnica ITC-RAT 09.4.2 sobre protecciones de transformadores establece la novedad de que a partir de 1 MVA de potencia de transformador, la protección se realizará mediante interruptor automático (6). En la anterior reglamentación figuraba esta prescripción como recomendación, aunque en la práctica era de aplicación de forma mayoritaria en las instalaciones de este tipo.

En la instrucción técnica ITC-RAT 09.4.2.3, cuando considera la protección de grupos de transformadores, mantiene la posibilidad de proteger grupos de transformadores de hasta 800 KVA de potencia total, con un solo grupo o conjunto de fusibles, que ya incluía el antiguo reglamento. A tenor de la experiencia acumulada por los autores de la presente documentación, se trata de un sistema totalmente decimonónico y que solamente favorece a las empresas distribuidoras de electricidad, sin proporcionar mayor continuidad ni seguridad del servicio eléctrico. La protección en racimo, que es como se denomina este sistema de protección en el argot, es una estrategia seguida de forma tradicional por las compañías de distribución de energía eléctrica que puede provocar daños a centros de transformación de cliente, y muy graves en el caso de que se incluyan instalaciones de generación distribuida, ya que la norma no impide la coexistencia de centros de transformación de compañía y de propiedad particular.

Protección de generadores conectados a la red de distribución

Respecto a las protecciones de generadores conectados en redes de distribución, la instrucción técnica ITC-RAT 09.4.7.2 cambia todo lo relacionado con las faltas internas y externas de los gene-

radores, de forma que, además de lo prescrito en la ITC-RAT 09.4.1, añade además una serie de protecciones adicionales, como son las siguientes: mínima tensión (27), con medida de la tensión entre fases o fase tierra, según los criterios de protección de la red a la que se conecte la instalación; máxima tensión (59), con medida de la tensión entre fases o fase tierra, según los criterios de protección de la red a la que se conecte la instalación; máxima tensión homopolar (59N); máxima y mínima frecuencias (81), y sobreintensidad de fase y neutro, tanto temporizada (50/50N) como instantánea (51/51N). Dependiendo de los criterios de protección y explotación de la red a la que se conecta la instalación, además de las protecciones anteriores, se podrá requerir la instalación de una protección adicional que actúe en caso de desconexión de la red (25), con el fin de evitar el funcionamiento en isla y prevenir daños en caso de reconexión fuera de sincronismo. En función de la tecnología del generador, dicha función de protección podrá ser realizada mediante sistemas basados en comunicaciones, como el teledisparo (89), relés en el punto de conexión o sistemas de protección antiisla integrados en los inversores de conexión a red, acordes con los criterios de protección de la red. En caso de un sistema de protección antiisla integrado en un inversor, este debe funcionar correctamente en paralelo con otras centrales eléctricas, con la misma o distinta tecnología y alimentando las cargas habituales, tales como motores.

Además, prescribe la teledesconexión o teledisparo (89) del generador y limita la reposición automática (79) con una serie de condiciones.

La introducción de esta batería de requisitos técnicos ya supone un avance importante en la seguridad jurídica de los promotores de este tipo de instalaciones. Aunque la Orden de 5 de septiembre de 1985 y las normas particulares de las empresas eléctricas (no siempre aprobadas por el Ministerio de Industria) ya prescribían la mayor parte de las citadas protecciones, la instalación de todas o algunas de las seguridades prescritas, no estaba avalado por un acuerdo entre las compañías de distribución y los promotores de los generadores.

Protección de generadores conectados a través de convertidores electrónicos

La instrucción técnica ITC-RAT 09.4.7.5 sobre generadores conectados a través

Duración, t, de la sobretensión	Valor admisible de la sobretensión (% U _n)
0 < t < 1 ms	200
1 ms ≤ t < 3 ms	140
3 ms ≤ t < 500 ms	120
t ≥ 500 ms	110

Tabla 1. Sobre tensiones máximas admisibles entre fases en función de la duración de la sobre tensión

de convertidores electrónicos hace un aporte normativo sobre un sistema de instalación que en 1982 simplemente no existía. Considera que, además de cumplir los requisitos del apartado 4.7 de la ITC-RAT 09, se deben limitar sus sobre tensiones transitorias de acuerdo con la tabla 1.

Protección de generadores en parques eólicos

Sobre los parques eólicos, la instrucción técnica ITC-RAT 09.4.8, prescribe la instalación de descargadores de sobre tensiones. Resulta perfectamente lógica esta salvedad, pues son grandes receptores de rayos, ya que el movimiento de las palas incrementa su recepción o captura. Se trata de un caso que no existía en 1982 y que actualmente es muy abundante. Esto justifica la adopción de una medida de seguridad obligatoria y razonable.

ITC-RAT 11.

Instalaciones de acumuladores

En la instrucción técnica ITC-RAT 11.4.1.1, relativa al emplazamiento de instalaciones de acumuladores, hace referencia al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión de 2002, para locales con riesgo de incendio y/o explosión y corrosión. Este reglamento de baja tensión deja perfectamente estipuladas las condiciones que deben cumplir las instalaciones eléctricas sometidas a condiciones de contorno adversas con respecto a este tipo de riesgo. Esta coordinación entre distintas reglamentaciones es relativamente nueva en España. La prescripción de regulaciones aisladas en cada marco regulatorio es el sistema seguido tradicionalmente en la legislación técnica-administrativa española. A juicio de los autores es un acierto considerable que se unifiquen criterios, sobre todo si estos criterios son buenos, en instalaciones sometidas a las mismas condiciones de contorno, aunque sean aplicables en instalaciones de naturaleza diferente.

Como novedad, la instrucción técnica ITC-RAT 11.5 permite que un

polo de las baterías esté conectado a tierra e incluye nuevas protecciones como la de bajo nivel de electrolito, las sondas de temperatura en las baterías y la alarma de sustitución de la batería, que no existían. Ciertamente la electrónica y los sensores y/o transductores han avanzado mucho en estos años y a ello debe de acomodarse la regulación técnica del sector.

La instrucción técnica ITC-RAT 11.6 desarrolla con mucho mayor detalle que la reglamentación anterior los equipos de carga de baterías (no en vano han evolucionado mucho), incluyendo la obligatoriedad de que exista una placa de características, protección contra sobre tensiones, cables no propagadores del incendio, de baja emisión de humos y opacidad reducida, marcados y referenciados, un commutador manual-automático y protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos. Todo ello como novedad respecto al anterior reglamento y que supone una mejora considerable sin un incremento apreciable del coste.

ITC-RAT 12.

Aislamiento

La instrucción técnica ITC-RAT 12 desarrolla las diferentes categorías, denominadas grupos, y propone los diferentes niveles de aislamiento en función de estos, establecidas a tenor de las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2. Estas normas UNE-EN son las seguidas también por el Reglamento de Líneas de Alta Tensión. Los autores consideran que deberían establecerse criterios comunes para resolver problemas coincidentes en instalaciones diferentes, evitando los problemas de criterio que deben seguir los diferentes actores en una instalación, entre los cuales no siempre existe un elevado grado de realimentación: el ingeniero proyectista y/o director de obra, como profesional libre y experto en la materia, demasiado centrado en la parte técnica de sus proyectos y más descuidado en ocasiones en

la parte jurídica del mismo, sobre todo en la relacionada con la Administración pública; el ingeniero funcionario, que debe aunar conocimientos técnicos que avalen la supervisión de proyectos y obras con los conocimientos jurídicos que dan un buen fin al cauce legal que deben seguir este tipo de instalaciones; el cliente o promotor, que debe costear la instalación, y la empresa distribuidora que dispone de los mayores recursos, materiales y humanos, conocimientos y actúa a menudo como lobby legislativo, habitualmente interesado en que exista cierto desorden legal en los asuntos técnicos.

ITC-RAT 13.

Instalaciones de puesta a tierra

Introducción

La instrucción técnica ITC-RAT 13 cambia por completo la forma de entender la protección por medio de la puesta a tierra de las masas metálicas en alta tensión. La ITC sobre este tema de la reglamentación anterior nunca estuvo bien lograda, ni tuvo un criterio acorde con el funcionamiento real de las instalaciones. Cabe reseñar como positivo que instauró el cálculo y las mediciones de tensiones de paso y contacto y definió el procedimiento para realizar el ensayo, lo que redundó en una clara mejora de la seguridad de las instalaciones, pues no existía precedente en España.

La norma actual supera la instalación de aquellas dos tierras independientes, a veces imposibles de obtener, separadas entre sí y que posteriormente se unían, por una nueva forma de enfocar el problema. La normativa del año 1982 no pudo implantarse en la práctica nunca. La ejecución final del sistema de puesta a tierra realmente era una puesta a tierra a la que se conectaba todo excepto el neutro de salida en baja tensión, que tenía otra puesta a tierra alejada y separada físicamente del centro de transformación. El conocimiento acumulado por los agentes hacía satisfactorio este montaje. Se realizaba de este modo porque, entre otros motivos, era mucho más seguro y producía menos averías a las compañías y a sus clientes. Se trató de un caso claro de legislación hueca, todos los agentes conocían cómo decía la legislación que había que realizar las instalaciones y la forma correcta de ejecución, no coincidente con la disposición reglamentaria.

Concretamente, a las antiguas tomas de tierra de "servicio" y de "protección",

definidas en el antiguo reglamento de 1982, se debían de conectar las masas metálicas, en particular a la denominada de “servicio” se debía conectar: el neutro, los pararrayos autovalvulares o descargadores, los secundarios de los transformadores de medida y el neutro de la instalación. Esta medida podía producir sobretensiones peligrosas en el neutro, por lo que jamás se llevó a la práctica.

Desarrollo normativo

Primeramente, establece los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de la corriente de falta. Estos valores son exactamente iguales a los estipulados por 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. A continuación, presenta el concepto de Tensión de Paso, concepto ya descartado en el Reglamento de Líneas. Sorprendentemente, esta magnitud no será tenida en cuenta como criterio de seguridad en el desarrollo normativo de la ITC.

En la Instrucción Técnica ITC-RAT 13.1.1, se dice textualmente: *“Si un sistema de puesta a tierra satisface los requisitos numéricos establecidos para tensiones de contacto aplicadas, se puede suponer que, en la mayoría de los casos, no aparecerán tensiones de paso aplicadas peligrosas. Cuando las tensiones de contacto calculadas sean superiores a los valores máximos admisibles, se recurrirá al empleo de medidas adicionales de seguridad a fin de reducir el riesgo de las personas y de los bienes, en cuyo caso será necesario cumplir los valores máximos admisibles de las tensiones de paso aplicadas”*. Ello es ampliamente discutible. En primer lugar, que se cumplan las tensiones de paso no quiere decir que indefectiblemente se cumplan las de contacto. Suele ser así, pero no siempre se cumple y no puede tomarse como axioma. Ello va en detrimento de la seguridad de las personas. En segundo lugar, parece que el punto y seguido siguiente está mal expresado, pues tal como se redactó, parece entenderse que cuando no se cumplan los valores máximos admisibles y se aplique alguna medida adicional de seguridad se multipliquen los valores admisibles por 10. Estas magnitudes son tensiones diferentes, que medidas in situ arrojan valores que no están indexados matemáticamente uno con otro.

A juicio de los autores, cabría proponer un protocolo de seguridad de las

personas interreglamentario, común para todos los reglamentos eléctricos de diferentes instalaciones, en alta y baja tensión pues se hacen alusiones a criterios utilizados en el reglamento de líneas de alta tensión y a otras reglamentaciones.

En la instrucción técnica ITC-RAT 13.1.1 no se consideran los tiempos de desconexión para tiempos superiores a 10 segundos, es más, se considera la opción de que no haya un elemento automático de desconexión. En condiciones normales, los tiempos de desconexión oscilan entre valores que normalmente son muy inferiores al segundo y como máximo de cinco o seis segundos. Es más, en sistemas con neutro muy impedante o aislado, se puede solicitar al órgano competente mantener el servicio bajo desconexión manual durante días. A juicio de los autores, no se mantienen las suficientes condiciones de seguridad, si va a mantenerse el servicio durante días enteros, las tensiones de

paso y contacto se deberán mantener, en todo momento, por debajo de los 24 voltios de seguridad en emplazamientos húmedos, mojados y potencialmente conductores, debido a que la probabilidad de que simultáneamente se produzca una falta a tierra y a que la persona o animal pueda contactar con un componente conductor de la instalación, aumenta considerablemente si la falta persiste de forma indefinida. De este modo, en los sistemas con neutro a tierra, directamente o por medio de una impedancia muy baja, el coeficiente multiplicador de la falta con respecto a la medida es muy alto, con lo que rápidamente obliga a la ejecución aceras perimetrales aislantes, encachado de piedra y otras medidas de seguridad adicionales. A juicio de los autores, se tratan con demasiada levedad legal los sistemas con neutro altamente impedante o aislado: la corriente de falta teórica es muy pequeña y no suele superar unas decenas de amperios, pues cuando se miden las tensiones de paso y contacto, al ser la corriente de falta muy baja, el coeficiente de multiplicación es bajo y no obliga a utilizar aceras perimetrales, piedra que actúe de aislante, etc. Ello puede llevar a una disminución de las medidas de seguridad, olvidando que al tratarse de instalaciones que no son desconectadas en segundos al primer defecto, deben tener unas tensiones de paso y contacto bajísimas (menores de 24 V) para mantener a los usuarios

en unas adecuadas condiciones de seguridad, pues pueden mantenerse durante días en situación de defecto.

En concreto, se indica textualmente: *“Cada defecto a tierra será desconectado automáticamente o manualmente. Por lo tanto, las tensiones de contacto o de paso de muy larga duración, o de duración indefinida, no aparecen como una consecuencia de los defectos a tierra”*. Los autores consideran que este párrafo deberá ser explicado con mayor profundidad, pues las tensiones de duración indefinida pueden tener consecuencias fatales.

Las tensiones de paso y contacto de muy larga duración no parecen, para dicha instrucción técnica, consecuencia de defectos a tierra. Sin embargo, no se puede suponer que dichas tensiones sean seguras, ni que tengan otra etiología, por lo que hay que comprobar teóricamente y medir la realidad práctica. Este extremo es obviado por el legislador y la realidad más, con el consiguiente peligro para personas y bienes.

Los autores han detectado que no se visualiza la figura 2. Circuitos para el cálculo de las tensiones de paso y contacto admisibles en una instalación.

En el Reglamento de 1982, se estableció en la MIE-RAT 13.1.1, en la expresión enunciada en la ecuación 1, la forma de calcular la tensión de contacto admisible, que era:

$$U_c = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1,5\rho_t}{1000} \right)$$

El Real Decreto 337/2014, en su ITC-RAT 13.1.1, en la tabla 1, establece unos valores máximos admisibles de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de la falta. Además, facilita una expresión para la tensión de contacto, que es la reflejada en la ecuación 2:

$$U_c = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2Z_B} \right] = U_{ca} \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5\rho_t}{1000} \right]$$

Donde:

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

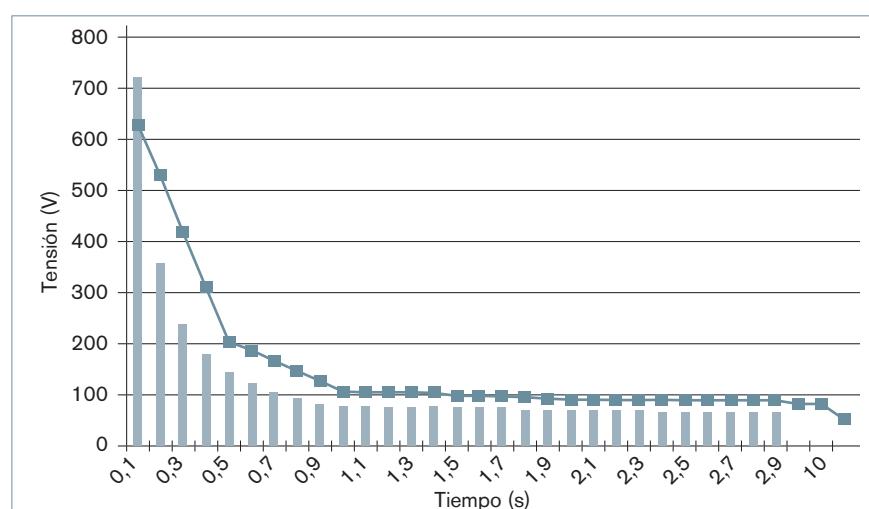
U_{pa} =Tensión de paso aplicada admisible: la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los dos pies ($U_{pa} = 10 U_{ca}$).

Z_B =Impedancia del cuerpo humano.

t (s)	Uc R.D. 3275/1982	Uca R.D. 337/2014
0,1	720	633
0,2	360	528
0,3	240	420
0,4	180	310
0,5	144	204
0,6	120	185
0,7	103	165
0,8	90	146
0,9	80	126
1,0	79	107
1,1	77	105
1,2	76	104
1,3	75	102
1,4	74	100
1,5	73	98
1,6	72	97
1,7	71	95
1,8	71	93
1,9	70	92
2	69	90
2,1	69	90
2,2	68	89
2,3	68	89
2,4	67	89
2,5	67	88
2,6	66	88
2,7	66	88
2,8	65	88
2,9	65	87
5		81
10		80
>10		50

Tabla 2. Valores de Uca de las dos reglamentaciones estudiadas.

Figura 1. Comparación de las tensiones máximas de contacto aplicadas entre el antiguo y el nuevo reglamento de alta tensión. Las barras corresponden al reglamento de 1982 y la línea azul al nuevo de 2014.



Se considerará un valor de 1.000 Ω.

I_B =Corriente que fluye a través del cuerpo.

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

U_p =Tensión de paso aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los dos pies ($U_{pa} = 10 U_c$).

R_a =Resistencia adicional total suma de las resistencias adicionales individuales.

R_{a1} =Es, por ejemplo, la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2.000 Ω. Se considerará nula esta resistencia cuando las personas puedan estar descalzas, en instalaciones situadas en lugares tales como jardines, piscinas, cámpines y áreas recreativas.

R_{a2} =Resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. $R_{a2} = 3 \rho_s$, donde ρ_s es la resistividad del suelo cerca de la superficie.

Dicha fórmula depende absolutamente de la tabla 2 (denominada tabla 1 en la ITC-RAT 13), pues, al ser independiente del tiempo, hay que introducirle un valor externo que nos proporciona la antecitada tabla.

A continuación, se realiza una comparativa muy básica entre los valores indicados en la reglamentación de 1982 y los actuales, reflejados en la tabla 2 del presente artículo.

La actual instrucción ITC-RAT 13 establece unas tensiones de contacto superiores a las que establecía el Reglamento de 1982, como se puede ver en la figura 1, lo que supone una disminución de la seguridad para las personas difícilmente explicable.

No se han estudiado las tensiones de paso, pues la reglamentación actual las toma como un valor fijo, equivalente a 10 veces la tensión de contacto, lo que quizás sea una simplificación excesiva. Sin embargo, el Reglamento de 1982 propone una fórmula de cálculo más compleja, expresada en la ecuación 3, que solamente era equivalente a 10 veces la tensión de paso si se consideraba cero el valor de la resistividad de la capa superficial del terreno ρ_s .

$$U_p = \frac{10K}{t^n} \left(1 + \frac{6\rho_s}{1000} \right)$$

ITC-RAT 14.**Instalaciones eléctricas de interior**

Respecto a la ventilación, la instrucción técnica ITC-RAT 14.4.4.4, cuando considera el gas SF₆, y recordando que sobre este tema no se había reglamentado nunca, especifica que hay que conocer la cantidad de gas en condiciones normales de presión y temperatura que almacena una instalación para que ejerza de aislante eléctrico y/o de elemento mixto, como aislante, medio de corte y gas de apagado de arcos eléctricos. Dado que se empiezan a utilizar abundantemente celdas de 132 y 220 kV, donde no solamente el elemento de corte se encuentra en atmósfera de SF₆, sino que las barras y elementos de medida e interconexión también van aislados en gas a una cierta sobrepresión, su cantidad de SF₆ ha aumentado de forma muy notable y puede ser peligrosa para las personas por desplazamiento del oxígeno del aire ambiente en entornos cerrados y en caso de escape importante.

En cuanto a los campos magnéticos, la instrucción técnica ITC-RAT 14.4.7 incluye las limitaciones de los mismos. Se trata de una novedad completa, pues nunca se había incluido en una reglamentación eléctrica con suficiente detalle.

La instrucción técnica ITC-RAT 14.4.8 considera la limitación de ruido de las instalaciones de alta tensión, coordinando con la legislación sobre el ruido existente.

Limitación del nivel de ruido emitido por instalaciones de alta tensión

En opinión de los autores, no se ha tenido en cuenta lo suficiente la emisión de ruido de los transformadores secos, que, como la experiencia ha demostrado, son incompatibles con su instalación en edificios de viviendas, por la gran cantidad de ruido que generan y que transmiten al edificio.

Sistemas contra incendios

Las instrucciones técnicas ITC-RAT 14.5.1.a y ITC-RAT 16.6.1.d prescriben el foso de recogida de líquido dieléctrico para determinados tipos de transformadores. Esta norma, entonces, no es de aplicación en transformadores con dielectricos de silicona. A juicio de los autores, el foso de recogida de aceites cumple una segunda misión que no ha sido tenida en cuenta de forma explícita: recogida de aceites, con objeto de que no se produzca ningún vertido al medio ambiente. Los

autores creen que el foso de recogida de aceite debe considerarse una función separada del pozo de extinción, aunque esta función la pueda cumplir un mismo dispositivo. Además, debe ser atendida independientemente de la naturaleza del líquido dieléctrico.

La instrucción técnica ITC-RAT 14.5.1.b.2 establece diferencias para la instalación de sistemas automáticos de extinción de incendios y dependiendo de que el edificio donde se ubique el transformador sea de pública concurrencia, minora los valores para instalar un sistema automático de extinción. Así fija, como la legislación anterior, unos límites de 600 litros de líquido dieléctrico por transformador o de 2.400 litros en total, con potencias de 1.000 KVA por transformador o de 4.000 KVA en total. Dichos valores pasan a ser de 400 litros por transformador y 1.600 litros en total, y a 630 KVA por transformador y 2.520 KVA en total, en el caso de edificios de pública concurrencia y como valores mínimos para instalar un sistema fijo de extinción. Todo ello no estaba incluido en la legislación anterior.

La instrucción técnica ITC-RAT 14.5.1.b.2 se refiere a sistemas de extinción. Entre ellos propone como medio de extinción el agua pulverizada y/o nebulizada. Para los autores es un buen medio de extinción y enfriamiento en caso de incendio, pero también es un elemento conductor de la electricidad. Una proyección de agua sobre un elemento en tensión puede agravar la situación, máxime si dicho transformador se encuentra en situación de incendio porque la protección, que tenía que haber despejado la falta, no ha funcionado. En conclusión, los sistemas de extinción por agua solo deberían de disparar si existe la garantía de la no existencia de tensión en los equipos en los que se pretende extinguir el fuego. La presencia de electricidad puede producir la descomposición del agua y la del CO₂, pudiendo dar lugar a altas temperaturas a monóxido de carbono (CO).

Para otros sistemas de extinción, hay que recordar que los sistemas de halón hace años que se prohibieron, por sus efectos negativos sobre la capa de ozono, y que los sistemas de CO₂ o nitrógeno precisan de unas rejillas para permitir la refrigeración natural del equipo de alta tensión en funcionamiento y que deben cerrarse lo más herméticamente posible para que, en

caso de activarse el sistema, no se disperse el gas. Simultáneamente, debe activarse una alarma para la evacuación del emplazamiento, pues la emisión de estos gases provoca la reducción de la concentración del oxígeno en el aire, lo que los hace muy peligrosos para las personas.

ITC-RAT 15.**Instalaciones eléctricas de exterior**

La instrucción técnica ITC-RAT 15.5 considera equivalentes las instalaciones sobre apoyo o a pie de apoyo, reconociendo su existencia. En el caso de los transformadores en caseta prefabricada simplificada al pie del apoyo (separada un máximo de 25 metros del mismo y con la protección con fusibles sobre el apoyo), lo que abarata la instalación enormemente, pues no son precisas celdas de alta tensión, ya que el equipo de medida, de acuerdo con el Real Decreto 1164/2001, en su artículo 5.5, puede ser en baja tensión hasta 50 kVA, o superior, si el transformador es aéreo, o equivalente. En el caso que se indica, el equipo de medida y la apertura de maniobra y protección serán muchísimo más económicos, aunque la empresa le impute al cliente unas pérdidas muy importantes en el transformador y que, normalmente, son superiores a las reales. Recordemos que los transformadores situados a pie de poste en caseta prefabricada son posteriores a la reglamentación de 1982, aunque su uso ya se ha generalizado en los últimos años.

ITC-RAT 19.**Instalaciones privadas para conectar a redes de distribución y transporte de energía eléctrica**

Respecto al acceso directo de las empresas distribuidoras de energía eléctrica a las instalaciones, la instrucción técnica ITC-RAT 19 conjuga con el artículo 25.5 del Real Decreto 1048/2013, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica, que establece la obligatoriedad de que la celda, o la posición de conexión, deberá ser financiada por el consumidor final y cedida obligatoriamente a la empresa suministradora de energía eléctrica. Al titular le resta el derecho a suscribir un convenio de resarcimiento frente a terceros por un período mínimo de 10 años. Esta prescripción es novedosa. Debe recordarse y tenerse como principio que el artículo



21 del ya citado Real Decreto 1048/2013 establece el criterio del mínimo coste como criterio de diseño y ejecución de las instalaciones. Dicho criterio debe presidir las actuaciones y exigencias, tanto del cliente, como del instalador, de la ingeniería y de la empresa distribuidora de electricidad.

ITC-RAT 20.

Anteproyectos y proyectos

La norma UNE 157001:2014, de criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico 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 a 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 lo siguiente: Los proyectos deberán estar desarro-

llados de 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.

La ITC-RAT 20, Anteproyectos y Proyectos, indica literalmente: *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 Norma UNE 157001:2014 propone cuántos, cuáles y en qué orden deben ubicarse los documentos que componen un proyecto:

4 Requisitos generales

4.1 Generalidades

...

Todo proyecto debe tener un título que lo identifique de forma clara e inequívoca. El proyecto debe constar de la siguiente estructura documental:

- Índice
- Memoria
- Anexos
- Planos
- Pliego de condiciones
- Mediciones
- Presupuesto

Resulta simplemente incomprensible para los autores que durante el desarrollo de la ITC-RAT 20 se propongan diferentes formatos a los indicados por la Norma UNE 157001:2014. A modo de ejemplo, se refleja literalmente el apartado 3.2: *El Proyecto técnico administrativo de una instalación eléctrica de alta tensión constará, en general, al menos de los documentos siguientes: a) Memoria, b) pliego de condiciones técnicas, c) planos y d) otros estudios de aplicación.*

Curiosamente, el orden de los documentos no coincide. Se propone simplemente que en el reglamento, en el que se ha decidido adoptar la Norma UNE 157001:2014 para la redacción de pro-

yectos, se sigan los criterios establecidos en esta norma.

Por otra parte, la instrucción técnica ITC-RAT 20 introduce la obligatoriedad de realizar un estudio de los campos magnéticos. Este extremo es nuevo e innovador, pues hasta ahora se estudiaban las interferencias de las líneas de más de 66 kV y en relación con su afectación al espacio radioeléctrico de las comunicaciones, pero nunca los campos magnéticos.

ITC-RAT 21.

Instaladores y empresas instaladoras para instalaciones de alta tensión

La instrucción técnica ITC-RAT 21, respecto a los instaladores, unifica a nivel nacional las dos categorías que ya introdujo 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. Sin embargo, al no existir prueba de acceso facilita enormemente el intrusismo y la falta de profesionalidad. Todos los conocimientos y medios obligatorios, sin control, quedan en una simple declaración de intenciones sin valor real.

Disposición transitoria tercera

La Disposición Transitoria Tercera del Real Decreto 337/2014, referida a la regularización administrativa de instalaciones en explotación en la fecha de obligado cumplimiento del reglamento, implementa un sistema de legalización de instalaciones que por su antigüedad, destrucción de archivos o por causas de fuerza mayor, no cuenten con autorización de puesta en marcha. Este sistema es novedoso y nunca se ha legislado sobre él. Solo abarca un plazo de dos años, desde el 9 de mayo de 2014 hasta la misma fecha de 2016, pero es algo que nunca se ha incluido en la legislación de alta tensión española y permite legalizar instalaciones, que seguro que en su momento tuvieron todos los permisos precisos, pero que en el momento actual no disponen de ellos. El particular no los encuentra y la empresa eléctrica, que debería de disponer de dicha documentación, no sabe dónde está su archivo, a pesar de su obligación legal de conservarlo.

De acuerdo con su disposición final cuarta, el Real Decreto 337/2014 entró en vigor el 9 de diciembre de 2014, pues tiene una vacatio legis de seis

meses desde la fecha de su publicación, excepto en el caso comentado en el punto anterior en el que su aplicación es inmediata.

Conclusiones

El nuevo reglamento de alta tensión aprobado por Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, mejora en diversos puntos el anterior de 1982, refunde en otros puntos el precitado Real Decreto con otra normativa sectorial, si bien, en otros casos, disminuye los valores de seguridad de protección a las personas con la consiguiente minoración de los márgenes de seguridad de las instalaciones. Los autores consideran que debería presidir siempre el ánimo del legislador garantizar al máximo la seguridad de las personas. En otros casos, utiliza criterios técnicos que se considera que pueden ser francamente mejorables, como ya se ha detallado.

Bibliografía

BOE (1982). Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1982-31526. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (1984). Orden de 6 de julio de 1984, por la que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. Disponible en: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1984-17224>. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (1985). Orden de 5 de septiembre de 1985, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5000 KVA y centrales de autogeneración eléctrica. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1985-19384. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. Disponible en: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-24019>. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (2001). Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2001-20850. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (2001). 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. Disponible en: http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2008-5269. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

txt.php?id=BOE-A-2008-5269. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (2013). Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental de proyectos. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-12913. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (2013). Ley 24/2013, de 26 diciembre, del Sector Eléctrico. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-13645. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (2013). Real Decreto 1048/2013, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2013/12/30/pdfs/BOE-A-2013-13767.pdf>. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (2014). Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6084. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

BOE (2014). Conflicto positivo de competencia nº: 2304/2014. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2014/05/31/pdfs/BOE-A-2014-5735.pdf>. (Consultado el 15 de octubre 2014.)

Rodríguez Espantoso, J.L. y Zapico Gutiérrez, P. (2012). Cálculo de la intensidad de cortocircuito con los cambios normativos. *Técnica industrial* 297;60-68.

Notas

¹ Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero.

² Rodríguez Espantoso, J.L. y Zapico Gutiérrez, P. (2012). Cálculo de la intensidad de cortocircuito con los cambios normativos. *Técnica industrial* 297; 60-68.

³ Los números incluidos entre paréntesis corresponden a la numeración ANSI/IEEE de funciones de relés de protección.

Pablo Zapico Gutiérrez

Máster Oficial en Energías Renovables. Ingeniero técnico industrial. Ingeniero técnico de minas. Jefe de Sección de Industria y Energía de la Junta de Castilla y León en León. Profesor asociado en la Universidad de León, Área de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática.

Alberto González Martínez

Ingeniero industrial. Diplomado de estudios avanzados en sistemas inteligentes en la ingeniería. Profesor colaborador en la Universidad de León, Área de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática.

Luis Vidal Conde Salán

Ingeniero industrial. Gerente de Conde Montajes Eléctricos S.L. Profesor asociado en la Universidad de León, Área de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática.