

Comparación de las normas NTC 4552 de 2008 e IEC 62305 de 2010 para el análisis de riesgo

Comparison of standards NTC 4552 of 2008 and IEC 62305 of 2010 for risk analysis

OSCAR IGNACIO SÁNCHEZ

Ingeniero eléctrico e integrante del Grupo GCEM de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: os_carsa@hotmail.com

CÉSAR ALBERTO TORRES

Ingeniero eléctrico e integrante del Grupo GCEM de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: catorress12@hotmail.com

FRANCISCO SANTAMARÍA

Ingeniero electricista, doctor en Ingeniería. Docente e integrante del Grupo GCEM de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: fsantamariap@udistrital.edu.co

Fecha de recepción: 7 de mayo de 2013

Clasificación del artículo: reflexión

Fecha de aceptación: 27 de agosto de 2013

Financiamiento: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Palabras clave: compatibilidad electromagnética, esfera rodante, evaluación de riesgo, nivel ceráuneo, protección contra rayos.

Key words: Electromagnetic Compatibility, Rolling Sphere, Risk Management, Keranic Level, Protection Against Lightning.

RESUMEN

Para realizar un diseño eficiente de un sistema de protección contra descargas atmosféricas sobre una estructura es necesario evaluar el riesgo que puede presentar en la estructura y cuáles podrían ser los daños y pérdidas consecuentes de ese evento. En este sentido, se deben tener en cuenta los aspectos descritos en la norma NTC 4552 o la IEC

62305 para poder realizar la evaluación del riesgo y, de esta manera, determinar si la estructura implicada necesita o no un sistema de protección contra descargas atmosféricas y, en caso de tener uno, si este necesita modificaciones. La norma colombiana NTC 4552 “Protección contra descargas eléctricas atmosféricas” se basa en los principios descritos en la norma IEC 62305 del 2006. Sin embargo, en la norma IEC 62305 de 2010 se rea-

lizaron modificaciones, las cuales varían de forma significativa la evaluación del riesgo y pueden generar un análisis erróneo para el caso colombiano, además, en la norma NTC 4552 se han incorporado resultados de investigaciones realizadas en Colombia y otros países de la región, lo cual ha llevado a que algunos de los parámetros empleados en el análisis y diseño de los sistemas de protección contra rayos sean diferentes a los usados en la normativa internacional.

ABSTRACT

In order to design an efficient protection system of structures against lightning, a risk assessment shall be made, and damages and losses resulting from that event must be identified. In this sense, the is-

* * *

INTRODUCCIÓN

Las descargas eléctricas atmosféricas —rayos— son fuentes de problemas de compatibilidad electromagnética que pueden causar interferencia y mal funcionamiento de los sistemas eléctricos internos y de las redes de distribución, además de deterioro en las instalaciones o edificaciones en las cuales impactan (Avendaño, Ortiz e Ibáñez, 2005). La mayoría de las perturbaciones eléctricas que ocurren en los sistemas de distribución y transmisión de energía eléctrica son causadas por rayos que impactan en sus estructuras o cerca de ellas (Avendaño *et al.*, 2005). Además, los rayos no se pueden prever ni evitar, ya que son fenómenos naturales que varían de acuerdo con las características geográficas y climatológicas, las cuales definen el nivel isocerauneo de cada país o región, lo cual hace posible que, en una misma región, existan varios niveles de riesgo de descargas eléctricas atmosféricas (Younes *et al.*, 2005; Rodríguez y Zabala, 2005).

sues described in the standard NTC 4552 or the IEC 62305 to perform the risk assessment must be taken into account, and thus evaluate whether a protection system against lightning is needed or if the existing lightning protection system needs modifications. The Colombian standard NTC 4552 “Protection against lightning” is based on the principles described in IEC 62305, published in 2006. However, in the IEC 62305 (2010) changes were made, which significantly change the risk assessment and can generate an incorrect analysis for the Colombian case; in addition, several research results obtained in Colombian and other tropical countries have been incorporated in the NTC 4252, which has led some of the parameters used in the analysis and design of lightning protection systems are different from those used in international standards.

En la actualidad, la mayoría de la información disponible sobre las características y magnitudes de los rayos están basadas en estudios llevados a cabo en zonas semitropicales o templadas, pero muy pocos en zonas tropicales. Por razones de confiabilidad, economía y seguridad, es recomendable que los parámetros del rayo, estimados en zonas templadas —normas internacionales—, no sean directamente aplicados a zonas tropicales, por lo que dichos parámetros se han venido determinando a partir de investigaciones locales y se han llevado a normas nacionales (Torres, 2005; Torres, 2006).

METODOLOGÍA

En este artículo se estudian las segundas partes de las normas NTC 4552 de 2008 (Icontec, 2008b) e IEC 62305-2 de 2010 (International Electrotechnical Commission, 2010b); además, se hace un breve análisis de las diferencias encontradas en las partes 1 y 3 de dichas normas, a partir de las cuales se determinan los elementos y las caracte-

rísticas del sistema de protección contra rayos de una edificación.

El principal objetivo de este artículo se centra en la parte tres de las normas, debido a que en ellas se encuentra especificada la metodología para el análisis de riesgo, la cual se resume en la figura 1.

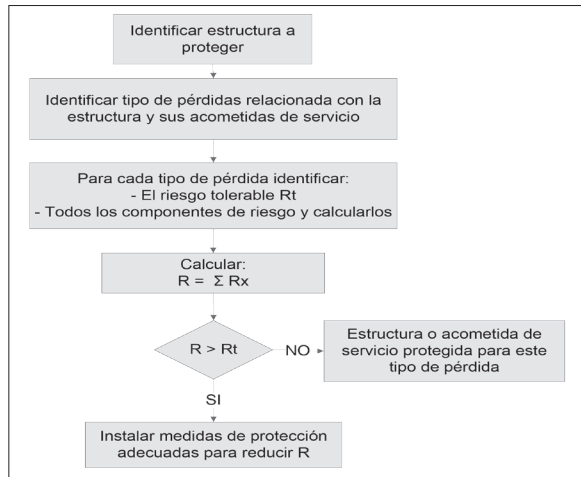


Figura 1. Metodología del análisis de riesgo

Fuente: NTC 4552 – 2 de 2008

Aunque el método para evaluar el riesgo de descargas atmosféricas de una estructura es similar en ambas normas, la mayoría de sus diferencias se encuentran en la parte matemática y su formulación. A partir del estudio preliminar de las normas, la primera diferencia observada está en que, en la norma colombiana, se realiza la evaluación de los riesgos en las acometidas del servicio, lo que determina riesgo de pérdida de vida humana, del servicio público y pérdidas económicas, mientras que en la norma internacional estos riesgos no son calculados.

Es importante recalcar que la filosofía y principios de la norma NTC 4552 de 2008 se basan en la norma internacional IEC 62305 de 2006, en la cual sí se incluían estos factores de riesgo, pero fueron excluidos en la versión vigente de dicha

norma promulgada en 2010, con la cual se realiza esta comparación.

Otra diferencia importante entre las dos normas es el hecho de que en la IEC 62305-2 (International Electrotechnical Commission, 2010b) el riesgo tolerable para el tipo de pérdida de patrimonio cultural es $R_3=0,0001$, mientras que en la NTC 4552-2 este valor es $R_3=0,001$. Los demás valores de riesgo se conservan iguales en ambas normas.

No es objetivo de este artículo determinar cuál de las normas es la más adecuada para el análisis de riesgo, diseño e implementación de un sistema de protección contra rayos en edificaciones. El lector especialista en el tema debe emplear la norma colombiana NTC 4552, ya que esta norma, además de seguir la filosofía propuesta por la norma europea IEC 62305, incluye parámetros propios de regiones tropicales y más específicamente de Colombia (Younes, y otros, 2005; Torres, 2005; Icontec, 2008b) obtenidos a partir de diferentes investigaciones desarrolladas en la región. El objetivo de este artículo es establecer las diferencias entre las normas en cuestión para, a partir de allí, poder establecer la necesidad o no de actualizar la normatividad colombiana a partir de las modificaciones realizadas en la normatividad europea.

Para evaluar la importancia de las diferencias encontradas en ambas normas, se tomó un caso de estudio y se realizó el análisis de riesgo. Los resultados de este análisis se presentan a continuación divididos en secciones, tal y como se desarrollan en las normas.

RESULTADOS

Número de eventos peligrosos (N_x)

Para determinar el número de eventos peligrosos se deben tener en cuenta parámetros como: nivel

ceráuneo, densidad de rayos a tierra DDT (Ng en inglés) y corriente de retorno del rayo, entre otros.

Para determinar la DDT, la NTC 4552 utiliza la ecuación (1), obtenida especialmente para regiones tropicales (Torres, 2000).

$$DDT = 0,0017 \times Nc^{1,56} \quad (1)$$

Mientras que en la IEC 62305 la densidad de rayos a tierra (Ng) es estimada para zonas templadas con la ecuación (2) (Torres, 2005).

$$N_g = 0,1 \times Td \quad (2)$$

Donde Nc o Td corresponde al número de días tormentosos al año o nivel ceráuneo.

Esta diferencia entre las dos norma no es nueva, y ha sido reportada por otros autores (Torres, 2005; Torres, 2010), la contribución de este artículo está orientada a mostrar el efecto que tiene esta diferencia en el análisis de riesgo, el cual es fundamental para la correcta selección del sistema de protección contra rayos de una edificación.

Debido a la diferencia en el cálculo de dicho parámetro, se generan una serie de variaciones en la forma de evaluar el promedio anual de descargas sobre y cercanas a la estructura, la acometida principal y a estructuras adyacentes, ya que utilizan el DDT como promedio anual de descargas cercanas a la estructura (N_M). Teniendo en cuenta únicamente esta variación, se encontró que la densidad de descargas a tierra (DDT) para Bogotá da un valor de 1,58 con la norma colombiana y de 8 utilizando la fórmula de la norma internacional (ecuación 2). Lo cual hace que al realizar la evaluación de riesgo para la misma estructura, esta pase de cumplir los límites del riesgo R1 con la norma colombiana a incumplirlos con la norma internacional.

Adicionalmente, en estos mismos cálculos se requiere del área de influencia de la estructura (A_M), la cual en la IEC está comprendida entre la frontera de la estructura y una línea localizada a 500 m del perímetro de la estructura, mientras que en la NTC se encuentra a 250 m, además influye en el cálculo otras variables, como lo son el área efectiva y el factor de localización relativa de la estructura, lo cual hace que en la norma internacional se obtenga un valor mayor para los riesgos R1 y R2.

Para el cálculo del número promedio anual de descargas sobre y cercanas a la acometida de servicio (N_L) y (N_I), en la norma internacional IEC se adicionan factores como el factor ambiental (C_E) para el cálculo (N_L), y el factor de instalación de la línea (C_I), el cual varía si la línea es aérea o subterránea, y que influye para el cálculo de (N_I), en la NTC no se utiliza este factor, por lo tanto, para el cálculo del área efectiva de la acometida A_L y A_I se utiliza la tabla 12 de la NTC 4552-2 (Icontec, 2008b), que depende del tipo de la línea —aérea o subterránea—. Por otra parte, para el caso “urbano con edificaciones altas”, que hace referencia a un ambiente con edificaciones de más de 20 m de altura, en la IEC se le asigna un valor C_E de 0,01, mientras que en la NTC este valor es 0.

Probabilidad de daño (P_X)

Existen varios tipos de probabilidad de daño a causa de descargas atmosféricas, los cuales dependen del lugar de impacto del rayo y del tipo de daño causado. En ambas normas la probabilidad de lesiones a seres vivos por descargas directas a la estructura (P_A) depende de las medidas de protección contra tensiones de paso y de contacto; sin embargo, en la norma IEC 62305-2 (International Electrotechnical Commission, 2010b) esta probabilidad depende además del nivel de protección contra descargas atmosféricas de la estructura.

Por otro lado, la probabilidad de daños en sistemas internos por descargas directas a la estructura, tanto en la norma colombiana como en la norma internacional, depende de la coordinación del sistema de protecciones contra sobretensiones. Además, en la norma internacional este parámetro depende del apantallamiento, puesta a tierra y condiciones de aislamiento de la línea. Adicionalmente, también se encuentra un cambio en el valor asignado para el nivel de protección (PSPD), ya que en la norma colombiana este factor es 0,02 puntos menor que en la internacional.

En el caso del cálculo de la probabilidad de daños en sistemas internos por descargas cercanas a la estructura (P_M), se observa que en la norma internacional el valor de la componente (K_{MS}), que es el factor de desempeño de las medidas de protección, corresponde al cuadrado del valor que se obtiene con la norma colombiana, y que dos de sus variables se multiplican por 1 y no por 1,5 como en la norma colombiana. Teniendo en cuenta estas diferencias se encontró que el valor del riesgo R_1 calculado con la NTC 4552 es mayor en casi el 40% con respecto al calculado con la norma internacional, mientras que en R_2 es mayor en un 15% aproximadamente.

Para la normatividad colombiana la probabilidad de lesiones a seres vivos, de daños físicos y de daños en sistemas internos por descargas directas a la acometida (P_U), (P_V) y (P_W), respectivamente, está condicionado a que el sistema de protección contra sobretensiones cumpla los requerimientos de equipotencialización según la NTC 4552-3 (Icontec, 2008c).

Además, la norma colombiana evalúa la probabilidad de daños a sistemas internos por descargas cercanas a la acometida (P_Z), lo cual depende de que el sistema coordinado de protecciones esté acorde con la normatividad nacional vigente o en su defecto a la norma IEC 62305-4 (International Electrotechnical Commission, 2010c). En caso de que el sistema coordinado de protecciones esté

acorde con la normatividad, (P_Z) tomará el menor valor entre (P_{11}) y (P_{SPD}), en caso contrario (P_Z) será igual a (P_{11}), que es un factor que depende de la tensión soportable del equipo y de la resistencia del apantallamiento del cable.

Al realizar el análisis de riesgo teniendo en cuenta únicamente las variaciones de las probabilidades (P_U), (P_V), (P_W) y (P_Z) se encontró que su variación es muy pequeña, del orden de 0,01% debido a que las variables que se adicionan a una u otra norma tienen valores muy pequeños y no afectan directamente los valores de probabilidad.

Otra diferencia entre la norma colombiana NTC 4552-2 (Icontec, 2008b) y la norma internacional IEC 62305-2 (International Electrotechnical Commission, 2010b) es que en la norma colombiana se calcula la probabilidad de daño de acuerdo al tipo de conductor que pasa por la acometida, aunque solo se ha desarrollado para conductores metálicos, mientras que en la norma internacional no se realiza este cálculo.

Pérdidas consecuentes (Lx)

Pérdidas de vidas humanas (L1)

En la norma internacional el valor asignado a las “pérdidas por lesiones debido a tensiones de paso y de contacto” (L_T) tiene un solo valor de 10^{-2} , y por otra parte el valor asignado a la variable “pérdidas por falla de sistemas internos” (L_O) divide la opción de hospitales en dos opciones que varían su valor dependiendo de la ubicación dentro del mismo hospital.

En la norma colombiana el valor de L_T se divide en dos opciones que varían su valor dependiendo si las personas se encuentran afuera de la estructura (10^{-2}) o dentro de la estructura (10^{-4}), y el valor asignado a L_O tiene un solo valor de (10^{-3}) para el caso de hospitales.

Las pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y de contacto fuera y dentro de la estructura (L_A) y (L_U) respectivamente en la norma internacional están dadas por las ecuaciones (3) y (4).

$$L_A = r_a \times L_T \times \left(\frac{n_z}{n_T} \times \frac{t_z}{8760} \right) \quad (3)$$

$$L_U = r_u \times L_T \times \left(\frac{n_z}{n_T} \times \frac{t_z}{8760} \right) \quad (4)$$

Donde (r_a y r_u) son factores reductores de pérdidas de vidas humanas que dependen de las características del terreno, (L_T) es el valor medio relativo del número de víctimas lesionadas por choque eléctrico, (n_z) es el número de personas fuera o dentro de la zona de la estructura, (n_T) es el número total de personas fuera o dentro de toda estructura y (t_z) es el tiempo en horas al año en el cual las personas están presentes en la estructura.

En la norma colombiana para el cálculo de las pérdidas (L_A) y (L_U) se omite L_T , y en caso de no conocer alguno de los datos de n_z , n_T y t_z , el valor de las pérdidas (L_A) y (L_U) corresponde al producto de (r_a) y (r_u), respectivamente, por L_T .

En la norma internacional las pérdidas de vidas humanas debido a fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico o por impacto sobre la estructura (L_B), y las pérdidas de vidas humanas por daños físicos debido al impacto sobre la acometida (L_V) están dadas por la ecuación (5).

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \times \left(\frac{n_z}{n_T} \times \frac{t_z}{8760} \right) \quad (5)$$

Donde (r_p) es el factor reductor de pérdidas debido a daño físico que depende las medidas de protección tomadas para reducir las consecuencias de incendio, (r_f) es el factor reductor de pérdidas debido a daño físico que depende del riesgo de fuego y del riesgo de explosión de la estructura, (h_z) es el factor multiplicador de pérdidas debido a daño físico cuando existe un peligro especial,

(L_f) es el valor medio relativo del número de víctimas por daño físico. Para la norma colombiana se utilizan las ecuaciones (6) y (7).

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_f \quad (6)$$

$$L_f = L_o = \left(\frac{n_z}{n_T} \times \frac{t_z}{8760} \right) \quad (7)$$

En caso de no conocer los datos del número de personas o tiempo de permanencia, el factor (L_f) toma el valor según la tabla 26 de la NTC 4552-2 (Icontec, 2008b) dependiendo del tipo de estructura.

En la norma internacional cuando el daño a la estructura por rayo involucra las estructuras circundantes o el medio ambiente, se debe tener en cuenta la pérdida adicional (L_E) para evaluar la pérdida total (L_{FT}), la cual se calcula con las ecuaciones (8) y (9).

$$L_{FT} = L_f \times L_E \quad (8)$$

$$L_E = L_{FE} \times \left(\frac{t_e}{8760} \right) \quad (9)$$

Donde L_{FE} es la pérdida de los daños físicos fuera de la estructura y (t_e) es el tiempo de permanencia de las personas en la zona de peligro fuera de la estructura, mientras que en la norma colombiana, en la tabla 24, se incluyen unos valores predeterminados para este factor. Por otra parte, la variable (r_f) en la norma internacional define tres zonas de riesgo de explosión, mientras en la norma colombiana no definen estas zonas.

En la norma internacional las pérdidas de vidas humanas por fallas del sistema interno por IER debido a descargas en la estructura (L_C), las pérdidas de vidas humanas por fallas de sistema interno por IER debido a descargas próximas a la estructura (L_M), las pérdidas de vidas humanas por fallas de sistema interno por IER debido a

descargas en la línea (L_w) y las pérdidas de vidas humanas por fallas de sistema interno por IER debido a descargas cerca a la acometida (L_z) están dadas por la ecuación (10).

$$L_c = L_M = L_w = L_z = L_o \times \left(\frac{n_z}{n_T} \times \frac{t_z}{8760} \right) \quad (10)$$

Donde L_o es el valor medio relativo del número de víctimas por daños de sistemas internos. Para la norma colombiana (ver ecuaciones 11 y 12), en caso de no conocer los datos del número de personas o tiempo de permanencia, el factor (L_o) toma el valor según la tabla 26 de la NTC 4552-2 (Icontec, 2008b) la cual depende del tipo de estructura.

$$L_c = L_M = L_w = L_z = L_o \quad (11)$$

$$L_o = \left(\frac{n_z}{n_T} \right) \times \left(\frac{t_p}{8760} \right) \quad (12)$$

Pérdidas inaceptables de servicio público (L_2)

Estas pérdidas pueden ser causadas por una explosión dentro de la estructura por arco eléctrico debido al impacto sobre la estructura (L_B) o debidas al impacto sobre la acometida (L_v), en la norma IEC 62305-2 (International Electrotechnical Commission, 2010b) son expresadas por la ecuación (13).

$$L_B = L_v = r_p \times r_f \times L_f \times \left(\frac{n_z}{n_T} \right) \quad (13)$$

Donde L_f es el valor medio relativo de usuarios no servidos resultado de daño físico. Las pérdidas inaceptables de servicio público por falla en los sistemas internos por IER debido a descargas en la estructura (L_c), las pérdidas debidas a descargas cerca de la estructura (L_M), las debidas a descargas sobre la acometida (L_w), y las debidas a descargas cerca a la acometida (L_z), en la norma internacional están dadas por la ecuación (14).

$$L_c = L_M = L_w = L_z = L_o \times \left(\frac{n_z}{n_T} \right) \quad (14)$$

Donde L_o es el valor medio relativo de usuarios no servidos resultado de la falla de sistemas internos. En la norma colombiana (n_z) y (n_T) no son necesarios para hallar (L_c), (L_M), (L_w), (L_z), (L_B) o (L_v), puesto que si se desconoce alguno de estos dos valores, el factor (L_o) o (L_f) tendrán un valor asignado de acuerdo a la tabla 31 de la norma NTC 4552-2 (Icontec, 2008b).

En la norma colombiana se consideran algunas pérdidas que son omitidas en la norma internacional, como lo son las pérdidas inaceptables del servicio público por falla de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura (L'_c), por falla de líneas y equipos conectados debido a sobretensiones inducidas sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio (L'_z) y por falla de equipos conectado debido a sobretensiones de acople resistivo (L'_w), por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la estructura (L'_B), y por impacto sobre la acometida de servicio (L'_v).

Pérdidas de valor cultural irremplazable (L_3)

Las pérdidas de valor cultural irremplazable por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico debido al impacto sobre la estructura (L_B) y por daños físicos debido al impacto sobre la acometida (L_v), en la norma IEC 62305-2 (International Electrotechnical Commission, 2010b) están dadas por la ecuación (15).

$$L_B = L_v = r_p \times r_f \times L_f \times \left(\frac{c_z}{c_T} \right) \quad (15)$$

Donde L_f es el valor medio relativo de todos los bienes deteriorados debido a daño físico de la estructura, (c_i) es el valor del patrimonio cultural de

toda la estructura y su contenido, y (c_z) es el valor del patrimonio cultural de la zona. En la norma NTC 4554-2 (Icontec, 2008b) (c_z) y (c_t) no son utilizados para hallar (L_B) o (L_V), solo son utilizados en el caso de que se quiera hallar el valor de (L_p) para eso se deben conocer los valores de (c_z), (c_t), si estos se desconocen el factor (L_p) toma el valor .

Pérdidas económicas (L4)

En la norma internacional no se clasifican “lesiones debido a choque” por lo tanto solo se define un valor para todos los tipos (anexo C, tabla C.12 de la IEC 62305-2; International Electrotechnical Commission, 2010b). En la norma colombiana la variable “pérdidas físicas” (L_f) no especifica un valor para riesgo de explosión (tabla 32 de la NTC 4552-2; Icontec, 2008b).

Las pérdidas económicas por tensiones de paso y de contacto fuera de la estructura (L_A) y por tensiones de contacto dentro de la estructura (L_U), en la norma internacional están dadas por la ecuación (16).

$$L_A = r_t \times L_t \times \left(\frac{c_a}{c_t}\right) \quad (16)$$

Donde (r_t) es el factor reductor de pérdidas económicas que depende las características del suelo o terreno, (L_t) pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura, (c_a) es el número de animales en la zona, (c_t) es el valor total de la estructura. En la norma colombiana se utilizan las ecuaciones (17) y (18).

$$L_A = L_U = r_u \times L_t \quad (17)$$

$$L_t = \frac{c}{c_t} \quad (18)$$

Las pérdidas económicas por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico o por im-

pacto sobre la estructura (L_B) y por daños físicos debido al impacto sobre la acometida (L_V), en la norma internacional son expresadas con la ecuación (19).

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_f \times \left(\frac{c_a \times c_b \times c_c \times c_s}{c_t}\right) \quad (19)$$

Donde (L_p) pérdidas debido a daños físicos, (c_a) es el valor de los animales en la zona, (c_b) es el valor de la construcción correspondiente a la zona, (c_c) es el valor del contenido en la zona; (c_s) es el valor de los sistemas internos incluyendo sus actividades en la zona, (c_t) es el valor total de la estructura —la suma sobre todas las zonas para los animales, la construcción, el contenido y los sistemas internos, incluyendo sus actividades.

En la norma colombiana (c) y (ct) no son necesarios para hallar (L_A), (L_u), (L_b) o (L_v), solo son utilizados en el caso en que se quiera hallar el valor de (L_t) o (L_f) según sea el caso, donde c es el valor de posibles pérdidas en la estructura, si estos se desconocen, los factores (L_t) y (L_f) toma su respectivo valor de la tabla 32 de la norma NTC 4552-2 (Icontec, 2008b). En la norma internacional, cuando el daño a la estructura por rayo involucra las estructuras circundantes o el medio ambiente, la pérdida adicional (L_E) debe tenerse en cuenta para evaluar la pérdida total (L_{FT}) la cual se calcula con las ecuaciones (20) y (21).

$$L_{FT} = L_f \times L_E \quad (20)$$

$$L_E = L_{FE} \times \left(\frac{c_e}{c_t}\right) \quad (21)$$

Donde (L_{FE}) es la pérdida debida a daños físicos fuera de la estructura y (c_e) es el valor total de los bienes en el lugar peligroso fuera de la estructura, mientras que en la norma colombiana se incluyen dentro de la tabla 13 de la norma NTC 4552-2

(Icontec, 2008b) unos valores predeterminados para este factor (c).

Las pérdidas económicas por falla en los sistemas internos por IER debido a descargas en la estructura (L_C), debido a descargas próximas a la estructura (L_M), debido a descargas sobre la acometida (L_W) y debido a descargas cerca a la acometida (L_Z) están dadas en la norma internacional por la ecuación (22).

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \times \left(\frac{c_s}{c_t}\right) \quad (22)$$

Para el caso de las pérdidas (L_C), (L_M), (L_W) y (L_Z) en la norma colombiana se aplica el mismo procedimiento que explicamos anteriormente con las pérdidas (L_A), (L_u), (L_b) o (L_v).

Solo en la norma NTC 4552-2 (Icontec, 2008b) se tienen en cuenta las pérdidas económicas por falla de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura (L'_C), por falla de líneas y equipos conectados debido a sobretensiones inducidas sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio (L'_Z) y por falla de equipos conectado debido a sobretensiones de acople resistivo (L'_W), las cuales se calculan según las fórmulas dadas para este fin, donde (c) es el valor de posibles pérdidas en la estructura, en caso de no conocer (c) y (c_t), el factor (L_o) toma el valor de la tabla 32 de la norma NTC 4552-2 (Icontec, 2008b) dependiendo del tipo de estructura.

En la norma colombiana se consideran algunas pérdidas que son omitidas en la norma internacional, las pérdidas económicas por falla de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura (L'_C), por falla de líneas y equipos conectados debido a sobretensiones inducidas sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio (L'_Z), por falla de equipos conectado debido a sobretensiones de acople resistivo (L'_W), por daños fisi-

cos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la estructura (L'_B), y por impacto sobre la acometida de servicio (L'_V).

En resumen, en la sección de “pérdidas” la mayor diferencia entre las normas radica principalmente en que: en la norma internacional, para realizar el cálculo de riesgo, es necesario conocer el número de personas que habitan la estructura y el tiempo que la habitan; mientras que en la norma colombiana, en caso de no conocer estos valores, se pueden asignar unos valores típicos según el tipo de estructura seleccionada por el usuario. Al realizar el análisis de riesgo para el caso de estudio, suponiendo que el 50% de los habitantes de la estructura están en riesgo y permanecen en la estructura el 70% del tiempo en un año, se obtiene como resultado que el riesgo calculado con la norma internacional se reduce en casi una tercera parte con respecto al calculado con la norma colombiana, teniendo en cuenta que para la norma colombiana se tomaron los valores típicos de las tablas.

Sistema de integral de protección contra rayos

Teniendo en cuenta que la comprensión y estudio de las tres partes de la norma NTC 4552 es fundamental para la correcta selección y diseño de los sistemas de protección contra rayos, en las siguientes secciones se incluye la comparación de las partes 1 y 3.

Sistema de protección externo (SPE)

Para el diseño del sistema de protección externo y más precisamente para la ubicación de las terminales captadoras, el método más aceptado es el de la esfera rodante (G., A., & A., S. (2006), (ERITECH, 2009), (National Fire Protection Association, 2004) sin embargo, la expresión empleada en las dos normas para determinar el radio

de la esfera varía significativamente, lo que lleva a que los valores asignados de acuerdo con el nivel de protección contra rayos sean diferentes como se ven en la tabla 1.

Tabla 1. Radio de la esfera de acuerdo al nivel de protección (NPR)

Nivel de protección NPR	Radio de la esfera rodante (m) NTC 4552 - 1 (NTC 4552-1, 2008a)	Radio de la esfera rodante (m) IEC 62305 - 1 (International Electrotechnical Commission, 2010a)
I	35	20
II	40	30
III	50	45

Fuente: disponible en NTC 4552-2 de 2008.

Esta diferencia de radios de la esfera rodante de acuerdo con el nivel de protección es importante para el diseño del sistema de protección externo, porque a mayor radio mayor distancia de separación de terminales, lo cual reduce el porcentaje de rayos que podrían impactar en las terminales captadoras, debido a que reduce su capacidad para captar descargas eléctricas atmosféricas de baja corriente (G. & A., 2006), (Rodríguez y Zabala, 2005). Por otro lado, al tener un menor radio es necesario instalar más puntas captadoras para proteger la totalidad de la parte superior de la estructura, lo cual incrementaría el costo de la implementación de SPE (ERITECH, 2009).

Sistema de protección interno (SPI)

En la norma internacional IEC 62305-1 (International Electrotechnical Commission, 2010a), las dimensiones mínimas de los conductores que conectan las barras equipotenciales entre ellas o con el sistema de puesta a tierra y de los conductores que conectan las instalaciones internas metálicas a las barras equipotenciales son mayores en dos de tres casos a la norma colombiana.

Medidas de protección contra tensiones de paso y de contacto

El riesgo de que ocurra una situación peligrosa para la vida debido a tensiones de paso y de contacto afuera de la estructura puede ser reducido cumpliendo ciertos parámetros o condiciones. Una de ellas es si la resistividad de la capa superficial del suelo, a 3 m de un conductor bajante, no es inferior a un valor específico. En la norma internacional ese valor es de 100.000 (Ω_m) mientras que en la norma colombiana este valor es 5000 (Ω_m).

CONCLUSIONES

Una de las diferencias más relevantes entre la norma colombiana NTC 4552 y la norma internacional IEC 62305 es el cálculo de las descargas directas a tierra, puesto que este parámetro tiene gran influencia en la evaluación de número de eventos peligrosos. Esta diferencia se debe a que Colombia se encuentra ubicada en una zona subtropical, lo cual genera variaciones en los parámetros del rayo y por ende en los valores del radio de la esfera utilizada en la ubicación de los terminales de captación.

Algunas de las diferencias encontradas entre las versiones más recientes de la norma NTC 4552 y la norma IEC 62305 se deben a que la norma colombiana fue adaptada de la versión del 2006 de la norma internacional, pero la norma internacional fue actualizada en el 2010, en el cual se modificó la forma de calcular las pérdidas consecuentes, y se incluyeron y modificaron factores para cálculo de la probabilidad de daño, lo cual sugiere la necesidad de realizar una revisión y actualización de la norma colombiana.

En la norma internacional, es necesario conocer los valores de las personas que circulan por la estructura y el tiempo que éstas permanecen en ella para poder realizar la evaluación de riesgo, mien-

tras que la norma colombiana, en caso de desconocer estos valores, toma un valor típico promedio y asume el caso más crítico, que es cuando durante todo el año permanecen en la estructura todas las personas que habitan la estructura.

Utilizando como caso de estudio una estructura en Bogotá, al realizar la evaluación del riesgo teniendo en cuenta únicamente la diferencia de densidad de descargas a tierra (DDT), en la norma colombiana para el riesgo R1 se obtuvo un valor de 6×10^{-6} , cumpliendo los límites, mientras

que en la norma internacional el valor es 2×10^{-5} , el cual supera el límite tolerable.

Para el caso de estudio se observó que en la norma internacional con solo seleccionar un sistema de protección contra rayos nivel IV se cumplieron todos los límites de riesgo tolerables, mientras que en la norma colombiana, estos límites no se cumplen ni siquiera con un sistema de protección nivel I, esto debido a la importancia y el peso que se le da a este factor en la norma internacional dentro del cálculo de las probabilidades de daño en la estructura

REFERENCIAS

- Avendaño, C., Ortiz, H., & Ibáñez, H. (2005). Correlación entre la actividad ceráúnea y la localización de daño en equipos eléctricos y electrónicos a causa de rayos en Bogotá. *Tecnura*, 8(fasc.16 p.86 - 93).
- ERITECH. (2009). *Lightning Protection Designing to the IEC 62305 Series*. Erico.
- Forero, J., y Viaña, J. (Enero de 2001). Componentes de SPE: Protección contra rayos. *Energía y computación*, X(1), 1-7.
- G., A., y A., S. (Diciembre de 2006). Protección externa de edificaciones contra descargas. *Scientia Et Technica*, Vol. XII(32), 165-168.
- Icontec. (2008a). *NTC 4552-1 Protección Contra Rayos parte 1: Principios Generales* (1 ed.). Colombia: Icontec.
- Icontec. (2008b). *NTC 4552-2. Protección contra descargas eléctricas atmosféricas. Parte 2: Manejo del riesgo*. Colombia: Icontec.
- Icontec. (2008c). *NTC 4552-3. Protección contra descargas eléctricas atmosféricas. Parte 3: Daños Físicos a estructuras y amenazas a la vida*. Colombia: Icontec.
- International Electrotechnical Commission. (2010a). *IEC 62305-1 Protection Against lightning Part 1: General Principles*. Geneva, Switzerland.
- International Electrotechnical Commission. (2010b). *IEC 62305-2 Protection Against lightning Part 2: Risk Management*. Geneva: Switzerland.
- International Electrotechnical Commission. (2010c). *IEC 62305-4 Protection Against lightning Part 4: Electrical and electronic systems within structures*. Geneva, Switzerland.
- Martony, C. (2009). Protección de edificios y estructuras de las descargas eléctricas atmosféricas. *Seguridad Eléctrica*, (pág. 21).
- National Fire Protection Association. (2004). *NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems* (2004 ed.). Salt Lake, UT, Estados Unidos.
- Pando, R. (Noviembre de 2005). Aspectos básicos de las descargas atmosféricas. *CET*.
- Rodríguez, M., y Zabala, H. (2005). Estudio de descargas atmosféricas y determinación del

índice de riesgo en edificaciones. *II Congreso Boliviano de Ing. Mecánica Electromecánica*. Oruro-Bolivia.

Torres, H. (2000). Hipótesis de investigación sobre variación espacial y temporal en los parámetros del rayo. *Meteorol*, 2, 1-6.

Torres, H. (2005). Parámetros del rayo para la norma colombiana. *Primera jornada técnica IEEE del oriente colombiano-UIS*. Bucaramanga.

Torres, H. (2006). Norma Técnica Colombiana de protección filosofía y resultados. *Seminario Internacional seguridad, riesgo, calidad y protecciones eléctricas*. Medellín.

Torres, H. (2010). ¿Qué Rayos Sabemos? *Academia Colombiana De Ciencia*, 34, 193-208.

Younes, C., y Duarte, O. (2005). Relaciones entre parámetros del rayo y características meteorológicas utilizando minería de datos. *III Simposio Internacional sobre Calidad de la Energía Eléctrica SICEL 2005* (pp. 1-6). Bogotá.

Younes, C., Torres, H., Duarte, O., Perez, E., Aranguren, D., y Rondon, D. (2005). Influencia en los parámetros del rayo en Colombia debido a posibles errores del sistema de localización. *III Simposio Internacional sobre Calidad de la Energía Eléctrica SICEL 2005* (pp. 1-4). Bogotá.