

**APLICACIÓN ANDROID PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ELÉCTRICO ANTE
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SEGÚN LA NORMA NTC 4552**

OSCAR FERNANDO GIL TREJOS

MIGUEL ARMANDO PATERNINA RIVERA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PEREIRA, 2017

**APLICACIÓN ANDROID PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ELÉCTRICO ANTE
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SEGÚN LA NTC 4552**

OSCAR FERNANDO GIL TREJOS

MIGUEL ARMANDO PATERNINA RIVERA

**PROYECTO DE GRADO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

DIRECTOR: OSCAR GÓMEZ CARMONA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PEREIRA, 2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a toda mi familia por su amor y apoyo incondicional para cumplir este gran logro.

A todos los profesores que tuve a lo largo de mi carrera, por sus enseñanzas y consejos.

A nuestro director Oscar Gómez Carmona, por su entrega, dedicación y colaboración.

Miguel Armando Paternina Rivera

Este trabajo va dedicado a mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. Mis agradecimientos a mis profesores que me instruyeron y a mis compañeros que me brindaron su ayuda, su atención y lo más importante su amistad.

Un entero agradecimiento al ingeniero Oscar Gómez Carmona por la gran labor de enseñanza,

Apoyo a la labor científica, experiencia, paciencia y entrega a los estudiantes.

Que nos motivan a avanzar para ser mejores profesionales y personas.

Oscar Fernando Gil Trejos

RESUMEN

En este trabajo se muestra el desarrollo de una aplicación Android para el cálculo del nivel de riesgo ante descargas atmosféricas. Está basado en la NTC4552-1-2-3 y fue creado por medio del software “App Inventor”.

En la primera parte del documento, se encuentra la fundamentación teórica, en la cual se explica de forma detallada cómo se calculan los diferentes componentes de riesgo necesarios para el cálculo del nivel de riesgo según la NTC 4552-2.

En la segunda parte, se muestran dos ejemplos detallados con el fin de mostrar el funcionamiento y manejo del programa, cabe mencionar que, para mejorar la experiencia del usuario con la aplicación, se adiciona a este documento el manual de usuario de la aplicación.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 12 |
| 1.2. Justificación | 12 |
| 1.3. Objetivos..... | 13 |
| 1.3.1. General | 13 |
| 1.3.2. Específicos..... | 13 |
| 1.4. Estado del arte..... | 13 |
| 1.5. Estructura del trabajo de grado | 14 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 16 |
| 2.1. Definición del rayo | 16 |
| 2.1.1. Tipos de descarga..... | 16 |
| 2.2. Problemas que genera el rayo | 16 |
| 2.3. Solución a los problemas del rayo | 17 |
| 2.4. Descripción del sistema integral de protección contra rayos (SIPRA) | 17 |
| 2.4.1. Diseño del SIPRA..... | 17 |
| 2.4.1.1. Evaluación del riesgo | 17 |
| 2.4.1.2. Sistema de protección externo (SPE)..... | 17 |
| 2.4.1.2.1. Sistema de captación..... | 18 |
| 2.4.1.2.2. Sistema de conductores bajantes..... | 18 |
| 2.4.1.2.3. Sistema de puesta a tierra..... | 18 |
| 2.4.1.2.4. Materiales, dimensiones y conexiones..... | 18 |
| 2.4.1.3. Sistema de protección interno | 19 |
| 2.4.1.3.1. Uniones equipotenciales contra descargas eléctricas atmosféricas | 19 |
| 3. TÉRMINOS PARA EL MANEJO DEL RIESGO | 20 |
| 3.1. Fuentes de daños | 20 |
| 3.2. Tipos de daños (Dx)..... | 20 |
| 3.3. Tipo de pérdidas (Lx)..... | 20 |
| 3.4. Riesgo y componentes de riesgo (Rx)..... | 20 |
| 3.5. Procedimiento básico para el manejo del riesgo | 22 |
| 4. EVALUACIÓN DE LAS COMPONENTES DE RIESGO PARA CADA TIPO DE RIESGO | 23 |
| 4.1. Riesgo de pérdida de vida humana R_1 | 23 |
| 4.1.1. Componente de riesgo (R_A) | 23 |
| 4.1.2. Componente de riesgo (R_B)..... | 26 |
| 4.1.3. Componente de riesgo (R_C)..... | 28 |
| 4.1.4. Componente de riesgo (R_M) | 29 |
| 4.1.5. Componente de riesgo (R_U) | 32 |
| 4.1.6. Componente de riesgo (R_V) | 34 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1.7. | Componente de riesgo (R_W)..... | 35 |
| 4.1.8. | Componente de riesgo (R_Z)..... | 35 |
| 4.2. | Riesgo de pérdida del servicio público R_2 | 37 |
| 4.2.1. | Componente de riesgo (R_B)..... | 37 |
| 4.2.2. | Componente de riesgo (R_C)..... | 38 |
| 4.2.3. | Componente de riesgo (R_M)..... | 39 |
| 4.2.4. | Componente de riesgo (R_V)..... | 39 |
| 4.2.5. | Componente de riesgo (R_W)..... | 40 |
| 4.2.6. | Componente de riesgo (R_Z)..... | 40 |
| 4.3. | Riesgo de pérdida de patrimonio cultural R_3 | 40 |
| 4.3.1. | Componente de riesgo (R_B)..... | 40 |
| 4.3.2. | Componente de riesgo (R_V)..... | 41 |
| 4.4. | Riesgo de pérdida de valor económico R_4 | 41 |
| 4.4.1. | Componente de riesgo (R_A)..... | 42 |
| 4.4.2. | Componente de riesgo (R_B)..... | 42 |
| 4.4.3. | Componente de riesgo (R_C)..... | 43 |
| 4.4.4. | Componente de riesgo (R_M)..... | 44 |
| 4.4.5. | Componente de riesgo (R_U)..... | 44 |
| 4.4.6. | Componente de riesgo (R_V)..... | 45 |
| 4.4.7. | Componente de riesgo (R_W)..... | 45 |
| 4.4.8. | Componente de riesgo (R_Z)..... | 45 |
| 4.5. | Riesgo de pérdida del servicio público R'_2 | 46 |
| 4.5.1. | Componente de riesgo (R'_B)..... | 46 |
| 4.5.2. | Componente de riesgo (R'_C)..... | 48 |
| 4.5.3. | Componente de riesgo (R'_V)..... | 49 |
| 4.5.4. | Componente de riesgo (R'_W)..... | 50 |
| 4.5.5. | Componente de riesgo (R'_Z)..... | 51 |
| 4.6. | Riesgo de pérdida de valor económico R'_4 | 51 |
| 4.6.1. | Componente de riesgo (R'_B)..... | 51 |
| 4.6.2. | Componente de riesgo (R'_C)..... | 52 |
| 4.6.3. | Componente de riesgo (R'_V)..... | 52 |
| 4.6.4. | Componente de riesgo (R'_W)..... | 52 |
| 4.6.5. | Componente de riesgo (R'_Z)..... | 53 |
| 5. | ESTRUCTURA DEL PROGRAMA..... | 54 |
| 5.1. | Diseño..... | 54 |
| 5.2. | Parametrización..... | 61 |
| 6. | GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SEGÚN LA APLICACIÓN RIESGO 4552 v1.0..... | 64 |
| 6.1. | Influencias ambientales:..... | 64 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.2. | Dimensiones: | 66 |
| 6.3. | Características de la estructura:..... | 67 |
| 6.4. | Medidas de protección de la estructura: | 68 |
| 6.5. | Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones:..... | 70 |
| 6.6. | Acometida de conductores metálicos:..... | 72 |
| 6.7. | Perdida de vida humana: | 74 |
| 6.8. | Perdida de servicio público: | 75 |
| 6.9. | Perdidas económicas:..... | 75 |
| 6.10. | Resultados de la evaluación del riesgo..... | 76 |
| 6.11. | Ejemplo 2, análisis de riesgo en la Universidad de la Salle sede Candelaria | 77 |
| 7. | CONCLUSIONES..... | 82 |
| 8. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 83 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Componentes de riesgo para cada tipo de pérdida en una estructura. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 12. | 21 |
| Tabla 2. Componentes de riesgo para cada tipo de pérdida en acometida de servicios. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 13. | 21 |
| Tabla 3. Componentes de riesgo en estructuras. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 22. | 22 |
| Tabla 4. Componentes de riesgo en acometidas de servicio. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 22. | 22 |
| Tabla 5. Valores Típicos de riesgo tolerable. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 16. | 22 |
| Tabla 6. Factor de localización C_d . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 26. | 24 |
| Tabla 7. Valores de P_A . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 32. | 25 |
| Tabla 8. Valores de factores de reducción r_a y r_u en función del tipo de suelo o piso. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41. | 25 |
| Tabla 9. Valores promedio típicos de L_t para L_1 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41. | 26 |
| Tabla 10. Valores de PB. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 32. | 26 |
| Tabla 11. Valores de factores de reducción r_p en función de las medidas de prevención para reducir las consecuencias de fuego. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 42. | 27 |
| Tabla 12. Valores de factor de reducción r_f en función del riesgo de fuego de la estructura. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 43. | 27 |
| Tabla 13. Valores de factor de incremento h_z en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 43. | 28 |
| Tabla 14. Valores promedio típicos de L_f para L_1 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41. | 28 |
| Tabla 15. Valores de PDPS. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 33. | 29 |
| Tabla 16. Valores promedio típicos de L_o para L_1 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41. | 29 |
| Tabla 17. Valores de KS3. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 34. | 31 |
| Tabla 18. Valores de PMS en función de KMS. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 34. | 32 |
| Tabla 19. Área efectiva A_I dependiendo de las características del servicio. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 30. | 33 |
| Tabla 20. Factor de corrección por presencia de transformador. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 29. . | 33 |
| Tabla 21. Valores de probabilidad de daño PLD en sistemas internos en función de la resistencia del apantallamiento R_s y la tensión soportable U_w del cable. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 35. | 34 |
| Tabla 22. Áreas Efectivas A_I y A_i dependiendo de las características del servicio. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 30. | 36 |
| Tabla 23. Factor ambiental C_e . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 31. | 36 |
| Tabla 24. Valores de PL1 en función de la tensión soportable al impulso tipo rayo U_w del equipo y la resistencia de la pantalla del cable R_s . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 36. | 37 |
| Tabla 25. Valores medios típicos de L_f para L_2 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 46. | 38 |
| Tabla 26. Valores medios típicos de L_o para L_2 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 46. | 39 |
| Tabla 27. Valores promedio típicos para L_t para pérdida económica L_4 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 52. | 42 |
| Tabla 28. Valores promedio típicos para L_f para pérdida económica L_4 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 52. | 43 |
| Tabla 29. Valores promedio típicos para L_o para pérdida económica L_4 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 52. | 44 |
| Tabla 30. Valores del factor K_d como función de las características del apantallamiento de la línea. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 37. | 47 |
| Tabla 31. Valores del factor K_p como función de las medidas de protección. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 37. | 47 |
| Tabla 32. Tensión disruptiva soportable U_w en función del tipo de cable. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 37. | 47 |
| Tabla 33. Valores de Probabilidad $P'B$, $P'C$, $P'V$ y $P'W$ en relación a la corriente de falla I_a . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 38. | 48 |

Tabla 34. Tensión disruptiva al impulso U_w en función del tipo equipo. Tomado de la norma NTC 4552-2
pág. 38. 49

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Estructura a ser evaluada para el área efectiva (A_d). Tomado de la norma NTC 4552-2, pág. 28. ... | 24 |
| Figura 2. Definición de áreas A_m y A_d . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 29. | 30 |
| Figura 3. Estructura de la aplicación RIESGO 4552 | 54 |
| Figura 4. Diagrama de bloques de la ventana “Influencias ambientales” | 55 |
| Figura 5. Diagrama de bloques de la ventana “Dimensiones” | 55 |
| Figura 6. Diagrama de bloques de la ventana “características de la estructura” | 56 |
| Figura 7. Diagrama de bloques de la ventana “Medidas de protección de la estructura” | 57 |
| Figura 8. Diagrama de bloques de las ventanas “Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones”. .. | 58 |
| Figura 9. Diagrama de bloques de la ventana “Acometida con conductores metálicos” | 59 |
| Figura 10. Diagrama de bloques de la ventana de perdidas “Pérdida de vida humana” | 60 |
| Figura 11. Diagrama de bloques de la ventana de perdidas “Pérdida del servicio público” | 61 |
| Figura 12. Diagrama de bloques de la ventana de perdidas “Pérdidas económicas” | 61 |
| Figura 13. Ventana “influencias ambientales” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 64 |
| Figura 14. Lista de ciudades tomada de la norma NTC 4552-1 Pág. 37 | 65 |
| Figura 15. Otra ciudad, ingresar número de días tormentosos al año | 65 |
| Figura 16. Ubicación de la estructura en estudio | 65 |
| Figura 17. Factor que influencia la presencia de otros objetos cerca de la estructura | 65 |
| Figura 18. Factor que influencia la presencia de otros objetos cerca de la estructura adyacente | 66 |
| Figura 19. Ventana “Dimensiones de la estructura y estructura adyacente” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 66 |
| Figura 20. Ventana “Características de la estructura” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 67 |
| Figura 21. Riesgo de fuego en la estructura | 67 |
| Figura 22. Tipo de cableado interno | 68 |
| Figura 23. Tipo de suelo en la estructura | 68 |
| Figura 24. Ventana “Medidas de protección de la estructura” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 68 |
| Figura 25. Nivel de protección contra rayos | 69 |
| Figura 26. Sistema coordinado de protección adoptado | 69 |
| Figura 27. Protección contra tensiones de paso o contacto, se pueden seleccionar más de una medida de protección | 69 |
| Figura 28. Protección contra incendios, se pueden seleccionar más de una medida de protección | 70 |
| Figura 29. Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones aérea | 70 |
| Figura 30. Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones subterránea | 70 |
| Figura 31. Características de la acometida de servicio eléctrico | 71 |
| Figura 32. Características de la acometida de servicio de telecomunicaciones | 71 |
| Figura 33. Ventana “Acometida con conductores metálicos” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 72 |
| Figura 34. Tipo de transformador | 72 |
| Figura 35. Medida de protección adoptada | 72 |
| Figura 36. Característica del apantallamiento de la línea | 73 |
| Figura 37. Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo de cable | 73 |
| Figura 38. Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo de equipo | 73 |
| Figura 39. Ventana “Pérdida de vida humana” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 74 |
| Figura 40. Pérdida de vida humana debido a: Riesgos especiales | 74 |
| Figura 41. Pérdida de vida humana debido a: Tensiones de paso o contacto | 74 |
| Figura 42. Pérdida de vida humana debido a: fuego o explosión | 74 |
| Figura 43. Pérdida de vida humana debido a: Falla de sistemas internos | 75 |
| Figura 44. Ventana “Pérdida inaceptable del servicio público” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 75 |
| Figura 45. Ventana “Pérdidas económicas” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0 | 75 |
| Figura 46. Pérdidas económicas: Por fuego o explosión | 75 |
| Figura 47. Pérdidas económicas: Por falla de sistemas internos | 76 |
| Figura 48. Resultado de la evaluación de riesgo según aplicación RIESGO 4552 | 76 |

| | |
|---|----|
| Figura 49. Resultados de la evaluación de riesgo y sus componentes. Tomado del trabajo de grado ESTUDIO DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 4552 (VERSIÓN 2008) DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA), pág. 82..... | 77 |
| Figura 50. Datos influencias ambientales para el ejemplo 2 | 77 |
| Figura 51. Dimensiones de la estructura y estructura adyacente para el ejemplo 2..... | 78 |
| Figura 52. Características de la estructura para el ejemplo 2 | 78 |
| Figura 53. Medidas de protección de la estructura para el ejemplo 2..... | 79 |
| Figura 54. Acometida de potencia para el ejemplo 2 | 79 |
| Figura 55. Acometida de telecomunicaciones para el ejemplo 2..... | 80 |
| Figura 56. Acometida con conductores metálicos para el ejemplo 2..... | 80 |
| Figura 57. Tipos de pérdidas para el ejemplo 2 | 80 |
| Figura 58. Resultado de la evaluación de riesgo según aplicación RIESGO 4552..... | 81 |
| Figura 59. <i>Resultado de la evaluación de riesgo según Risk Assessment Calculator</i> . Tomado del trabajo de grado ESTUDIO TÉCNICO PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA, pág. 95..... | 81 |

1. INTRODUCCIÓN

Los rayos o descargas atmosféricas son fenómenos naturales que varían en espacio y tiempo. En la actualidad no existe un dispositivo de carácter tecnológico que sea capaz de evitarlos, pero sí de prevenirlos, ya que estos pueden causar daños considerables al momento de impactar en las estructuras, acometidas de servicios domiciliarios, ya sean de energía, acueducto, telecomunicaciones o todo lo que esté cerca al suelo, donde también se pueden ver afectados los hogares y los seres vivos dentro o fuera de la estructura. Es por esto por lo que se deben aplicar medidas de protección contra rayos o descargas atmosféricas.

Con el fin de reducir las pérdidas debidas a las descargas atmosféricas se requieren medidas de protección, cuyas características se deben determinar por medio de la evaluación del riesgo, como se expresa en la norma NTC 4552-2. En esta norma, el riesgo se define como el promedio anual probable de pérdidas en la estructura y en sus acometidas de servicios debido a descargas atmosféricas.

Entre los pasos principales para el diseño de un sistema de apantallamiento y protección contra rayos se encuentra la evaluación o análisis del nivel de riesgo frente a rayos, el cual puede ser determinado por medio de la norma internacional IEC 62305-2 o la Nacional NTC 4552-2, con la cual se obtendrá el nivel de riesgo que tiene la estructura (I, II, III o IV) y de acuerdo a ello proceder a hacer el cálculo de apantallamiento mediante uno de los tres métodos aceptados: método de la esfera rodante, método del ángulo de protección, y el método del enmallado.

Debido a la importancia del cálculo del nivel de riesgo para un diseño de apantallamiento y a que en la actualidad no se tiene una aplicación Android que lo realice, se hace necesaria la implementación de la misma para el cálculo del nivel de riesgo de apantallamiento con base en la norma NTC 4552 1-2-3; el desarrollo de esta es el principal objetivo en este trabajo.

1.1. Planteamiento del problema

Las descargas atmosféricas son un fenómeno natural que no se puede detener y es poco predecible. El riesgo al cual se enfrentan las estructuras, dispositivos eléctricos y vidas humanas es muy alto, por tal razón es indispensable protegerse ante dicho fenómeno natural. El sistema de protección debe tener unas características que deben determinarse por medio de la evaluación del riesgo.

Aunque existen algunos programas que permiten evaluar el riesgo siguiendo el procedimiento descrito por la norma NTC 4552, no existe una aplicación para dispositivos móviles que permita realizar dicha evaluación de riesgo. Por lo tanto, se propone el desarrollo de una aplicación móvil para dispositivos Android con el fin de facilitar la evaluación del riesgo eléctrico en sitio fundamentado en la norma NTC 4552.

1.2. Justificación

En la era tecnológica en la cual nos encontramos, no es suficiente tener programas sofisticados en nuestras computadoras para resolver problemas matemáticos. Hoy en día requerimos de aplicaciones móviles que sean más intuitivas y de fácil uso. Allí nace nuestro interés de realizar una aplicación para dispositivos móviles que permita evaluar el nivel de riesgo al cual están sometidas las estructuras, para el diseño de sistemas de apantallamiento. Estos programas actualmente están disponibles para computadoras, pero no para dispositivos móviles. Esto nos motiva a resolver este problema, el cual representa el reto de aprender a diseñar aplicaciones para estos dispositivos, específicamente, desarrollar aplicaciones para el área de la ingeniería eléctrica.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Diseñar una aplicación móvil para dispositivos ANDROID para evaluar el nivel de riesgo ante descargas atmosféricas, según la norma NTC4552.

1.3.2. Específicos

- Estudiar el procedimiento para evaluar el riesgo en estructuras de uso final.
- Calcular las componentes de riesgo para cada tipo de riesgo.
- Programar en APP INVENTOR las ecuaciones y condiciones para el cálculo de la evaluación de riesgo.
- Diseñar una aplicación móvil para dispositivos ANDROID para evaluar el nivel de riesgo ante descargas atmosféricas, según la norma NTC4552.

1.4. Estado del arte

Cada país busca la forma de solucionar el problema de la protección contra descargas atmosféricas. Alrededor de 16 países han desarrollado normas de protección contra rayos, las cuales, en su mayoría tienen como base la norma IEC 61024. En el caso colombiano se ha desarrollado la norma NTC 4552, la cual tuvo en cuenta las experiencias de otros países y los resultados de sus propias investigaciones.

La NTC 4552 es una norma que presenta los principios generales que deben seguirse en la protección contra rayos en estructuras, incluyendo sus instalaciones y contenidos, así como a las personas y los demás servicios que entran a la estructura.

El riesgo (R) es el valor promedio de pérdidas anuales y debe ser evaluado para los tipos de pérdida asociados a la estructura y las acometidas de servicios. Los riesgos a evaluar en una estructura son: riesgo de pérdida de vida humana, riesgo de pérdida del servicio público, riesgo de pérdida de patrimonio cultural y riesgo de pérdida de valor económico. Los riesgos a evaluar en las acometidas de servicio son: riesgo de pérdida de vida humana, riesgo de pérdida del servicio público y riesgo de pérdidas de valor económico. A continuación, se presentan algunos de los documentos más representativos en el tema:

A continuación, se presentan algunos trabajos desarrollados en el tema a nivel nacional:

A. ESTUDIO TÉCNICO PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA [1].

En este trabajo de grado se realizó la inspección al sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas que se encuentra instalado en la universidad de la Salle, sede candelaria.

El capítulo 1 es una breve presentación del marco teórico que servirá como apoyo para el estudio de los siguientes capítulos. El capítulo 2 presenta los principales cambios entre la norma NTC 4552 del 2004 y la NTC 4552 del 2008-2009. El tercer capítulo presenta la evaluación del sistema de protección contra descargas atmosféricas, existente en la universidad de la Salle. El cuarto capítulo muestra la metodología a seguir para encontrar el nivel de riesgo al cual se encuentra expuesta la universidad de la Salle, utilizando el software Risk Assessment Calculator de IEC. El capítulo 5 presenta la metodología de rediseño de la protección externa o sistema de apantallamiento. El capítulo 6 presenta cómo se debe hacer la adecuada selección de un dispositivo de protección contra sobretensiones. Finalmente, el capítulo 7 presenta los diferentes riesgos y la forma de mitigar los efectos de una descarga eléctrica atmosférica en la protección de las acometidas telefónicas.

B. ESTUDIO SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA (INCLUYE EQUIPOTENCIALIZACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS) [2].

En este documento se muestra el desarrollo de un diseño del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas de la universidad católica sede principal Manizales, teniendo en cuenta la norma técnica colombiana NTC 4552-1-2-3. Para el diseño de protección externa contra descargas eléctricas atmosféricas, se utilizaron diferentes programas de diseño (AutoCAD) y cálculo de riesgo (IEC). Además de esto, se inspeccionó el sistema de puesta a tierra existente con el fin de certificar que dicho sistema fuera competente para permitir hacer una conexión con los terminales de captación y sus bajantes sin dificultades.

C. ESTUDIO DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 4552 (VERSIÓN 2008) DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA) [3].

La primera parte de este documento de grado presenta una fundamentación teórica acerca de las consideraciones pertinentes en la protección contra rayos, basado en la serie de normas NTC 4552. A continuación, se describe la metodología para el manejo de riesgo para la protección contra descargas atmosféricas. Luego se presenta una herramienta informática para el manejo del riesgo implementada por el entorno de desarrollo de interfaces gráficas de usuario de Matlab (GUIDE).

La interfaz gráfica corresponde a una herramienta que desarrolla la evaluación de riesgo para protección de descargas atmosféricas de acuerdo con la metodología de la norma NTC 4552-2. La herramienta evalúa las componentes de riesgo teniendo en cuenta las características particulares de la estructura y posteriormente genera un informe de la evaluación en un documento externo a la interfaz. La interfaz gráfica está compuesta por GUIs (interfaz gráfica de usuario) desarrolladas en GUIDE de Matlab.

D. RISK ASSESSMENT SOFTWARE USING LIGHTNING PARAMETERS IN TROPICAL ZONE (26th-30th November 2007 – Foz do Iguaçu, Brazil) [4].

Este documento presenta el desarrollo de un software para calcular el riesgo de rayo para la norma nacional NTC-4552-2. El software es una herramienta en línea basada en IEC 62305-2 y NTC 4552-2 el cual calcula la evaluación de riesgo básica para estructuras y personas. La evaluación del número anual de eventos peligrosos N toma valores del mapa de densidad de relámpago a tierra en Colombia (el mapa se obtuvo con áreas de 300x300 km²).

Dicho software fue creado con un lenguaje de código usando las ventajas de la programación orientada a objetos con la herramienta PHP. El software usado como servidor web fue Apache. Con estas dos herramientas se creó un software de riesgo como una página web.

1.5. Estructura del trabajo de grado

Este trabajo de grado está distribuido de la siguiente manera, en el capítulo 1 se realiza una pequeña introducción a la definición del rayo y los problemas que genera, como protegerse ante descargas atmosféricas y de la importancia de la evaluación del riesgo al cual está sometida una estructura de que sea impactada por un rayo, siguiendo el procedimiento establecido por la norma colombiana NTC 4552. Se justifica la necesidad de la implementación de un aplicativo para dispositivos móviles, se definen los objetivos que se desean alcanzar en este trabajo de grado y finalmente se presenta el estado del arte.

En el capítulo 2 se define el rayo, problemas que generan el rayo y la solución a los problemas que genera el rayo. En el capítulo 3 se definen los términos para el manejo del riesgo tales como tipos de daños, tipos de pérdidas, riesgo y componentes de riesgo. En el capítulo 4 se presenta el procedimiento básico para el manejo de riesgo. En el capítulo 5 se definen las ecuaciones para el cálculo de las componentes de riesgo (RA, RB, RC, RM, RU, RV, RW, RZ) y los tipos de riesgo (R1, R2, R3, R4, R'2, Y R'4).

En el capítulo 6 se da una breve definición del software en el cual se realizó la aplicación y se describen algunas características de este, se presenta la estructura del programa y condiciones asumidas para algunas variables de las componentes de riesgo. Finalmente, en el capítulo 7 se muestra un ejemplo guía del manejo

de la aplicación, el cual fue tomado de “ESTUDIO DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 4552 (VERSIÓN 2008) DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA)”. [3]

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Definición del rayo

Las descargas atmosféricas y sobretensiones ponen en riesgo tanto a las personas como a los activos de las empresas, y en el mundo, cada día se vuelven más comunes los golpes por rayos en la superficie. Año con año, la superficie terrestre recibe más de unos mil quinientos millones de descargas atmosféricas; en Alemania, por ejemplo, se producen alrededor de dos millones de rayos anuales, número que va en aumento. Éstas ocurren en parajes rurales, así como en ciudades densamente pobladas, motivo por el que peligran edificios, equipos y sistemas tecnológicos, y más importante aún, la vida de muchas personas.

Las fuertes corrientes de aire presentes en las nubes de tormenta, que pueden representarse como un dipolo desde el punto de vista eléctrico, separan las cargas eléctricas o iones. Los iones positivos utilizan la parte superior de la nube para su acumulación, mientras los iones negativos lo hacen en la parte inferior, aunque por encima de la isoterma de cero grados. Las diferencias de potencial generadas dentro de la nube pueden llegar a superar los 100 millones de watts, por lo cual, se generan corrientes eléctricas de gran intensidad. De manera general, el rayo es una descarga eléctrica que normalmente se produce entre nubes de lluvia o entre una de estas nubes y la tierra, debido a que la superficie de la tierra se encuentra, por inducción, cargada positivamente. Dicha descarga eléctrica es visible, con trayectorias sinuosas y con ramificaciones irregulares que se mueven aproximadamente a 2×10^5 [m / s], fenómeno conocido con el nombre de relámpago. Asimismo, se produce una onda sonora conocida como trueno.

2.1.1. Tipos de descarga

Comúnmente se realiza una distinción entre los cuatro tipos de descarga existentes:

Descargas negativas de la nube a la tierra
Descargas negativas de la tierra a la nube
Descargas positivas de la nube a la tierra
Descargas positivas de la tierra a la nube

El 90% de las descargas entre la tierra y las nubes son golpes negativos de las nubes hacia la tierra; sin embargo, gran parte de las descargas se realizan dentro de una misma nube o entre un grupo de nubes aledañas. [5]

2.2. Problemas que genera el rayo

- La caída directa de un rayo puede producir en nuestro sistema incendios, y electrocuciones si no se cuenta con las oportunas protecciones.
- La caída de un rayo directo sobre una línea de energía o de comunicaciones crea una onda de corriente que se propaga por el cable en ambas direcciones.
- Un rayo sobre el terreno provoca una elevación enorme del potencial de tierra en una zona de algunos kilómetros, induciendo sobretensiones importantes en los cables subterráneos y provocando la elevación de la tensión de las conexiones a tierra.
- Un rayo que cae en un pararrayos aumenta el potencial de tierra cuando dirige su corriente a tierra. La disposición de una superficie equipotencial con conductores enterrados alrededor y por debajo del edificio conectando entre sí toda la estructura, cañerías y elementos metálicos del edificio reduce esa elevación de potencial.

Se ha comentado que los rayos pueden tener efectos muy perjudiciales si no se toman las adecuadas medidas de protección. Pero, aunque sería deseable el proteger nuestro sistema contra esos efectos, resulta económicamente inviable en la práctica el proteger nuestro equipo contra las elevadas intensidades de

corriente que se producirían en el caso de producirse un impacto directo. Si tenemos que solo el 5% de las descargas atmosféricas producen un impacto directo, ante las cuales hacen falta elevadas inversiones en sistemas de protección, una solución de compromiso consiste en diseñar nuestro sistema para que soporte los valores de corriente producidos en el 95% de las descargas restantes, y que tienen unos valores mucho más reducidos, con lo que se disminuyen notablemente los costes de inversión en la protección.

De esta forma, si se desea una protección completa, esta debería actuar ante una descarga de 100 kA, mientras que en un equipo que sea permisible el fallo deberá soportar corriente de pico de 6 A. La elección de un tipo de protección u otra dependerá del coste del sistema de protección y de las pérdidas que se tendrían si no se usan. [6]

2.3. Solución a los problemas del rayo

La forma de mitigar los efectos del rayo se debe tratar de forma integral, debido a que, si se tienen soluciones parciales, no se obtiene una protección eficaz para todos los efectos que se produce. El artículo 18 del RETIE establece que se debe proteger de acuerdo con la serie de normas IEC 62305 o NTC 4552 en las cuales se recomienda el uso del sistema integral de protección (SIPRA).

En Colombia la NTC 4552 establece las medidas que se deben adoptar para lograr la protección eficaz contra los riesgos asociados a la exposición directa o indirecta de personas, animales, equipos y el entorno a las descargas eléctricas atmosféricas. Actualmente está dividida en tres partes, de la siguiente manera:

NTC 4552-1: PRINCIPIOS GENERALES

NTC 4552-2: MANEJO DEL RIESGO

NTC 4552-3: DAÑOS FÍSICOS A ESTRUCTURAS Y AMENAZAS A LA VIDA. [7]

2.4. Descripción del sistema integral de protección contra rayos (SIPRA)

2.4.1. Diseño del SIPRA

Un diseño del SIPRA óptimo tanto técnico como económico es posible especialmente si los pasos en el diseño y la construcción de este son coordinados con el diseño y la construcción de la estructura a proteger. En particular, el diseño de la estructura en sí misma debe utilizar las partes metálicas de la estructura como partes del SIPRA.

2.4.1.1. Evaluación del riesgo

Al realizar la evaluación de riesgo frente a rayos por medio de la norma internacional IEC 62305-2 o la Nacional NTC 4552-2, se podrá encontrar que nivel de riesgo tiene la estructura (I, II, III o IV) y de acuerdo con ello proceder a hacer el cálculo de apantallamiento mediante uno de los tres métodos aceptados: método de la esfera rodante, método del ángulo de protección, método del enmallado.

La evaluación del nivel de riesgo por rayos debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida del suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o graves daños de bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo y las medidas de protección que mitiguen el riesgo; por tanto, debe basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2, de reconocimiento internacional o la NTC 4552-2. [8]

2.4.1.2. Sistema de protección externo (SPE)

La protección externa en una edificación tiene como objetivo interceptar los impactos directos de rayo que se dirijan a la estructura, incluyendo aquellos que impacten al costado de ésta, para conducir de manera segura la corriente de rayo desde el punto de impacto a tierra.

El sistema de protección externo también tiene como función dispersar dicha corriente a tierra sin causar daños térmicos o mecánicos ni chispas peligrosas que puedan dar inicio a incendios o explosiones.

El sistema de protección externo está compuesto por tres elementos principales:

- Sistema de captación encargado de realizar la interceptación del impacto del rayo.
- Sistema de conductores bajantes, encargado de conducir de manera adecuada y segura la corriente del rayo al sistema de puesta a tierra.
- Sistema de puesta a tierra, encargado de dispersar y disipar adecuadamente en el terreno la corriente de rayo.

2.4.1.2.1. Sistema de captación

El sistema de captación es el encargado de interceptar los rayos que vayan a impactar directamente a la estructura y enviar la corriente de rayo por las bajantes de la edificación. Puede ser compuesto por cualquier combinación de los siguientes elementos:

- Bayonetas (incluyendo mástiles auto soportados)
- Cables colgantes
- Mallas de conductores

2.4.1.2.2. Sistema de conductores bajantes

Con el fin de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo, las bajantes deben ser ubicadas de manera tal que a partir del punto de impacto del rayo hasta tierra se cumplan los siguientes requisitos:

- Existencia de varios caminos paralelos para la corriente.
- La longitud de los caminos de corriente sea mínima.
- La equipotencialización de las partes conductoras de la estructura.

2.4.1.2.3. Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra es usado para dispersar y disipar la corriente de rayo que viene por las bajantes reduciendo al mismo tiempo el peligro de tener tensiones de paso y de contacto peligrosas. La forma de la puesta a tierra y sus dimensiones son un criterio importante en su diseño. En términos generales para el sistema de protección externo se debe buscar un bajo valor de resistencia de puesta a tierra (si es posible valores menores a 10Ω a baja frecuencia).

Para los sistemas de puesta a tierra de la protección contra rayos es recomendable que éstos estén integrados con todos los demás sistemas de puesta a tierra (comunicaciones, potencia) por medio de uniones que garanticen la equipotencialidad en todas las condiciones de operación. Los sistemas de puesta a tierra deben estar unidos eléctricamente.

2.4.1.2.4. Materiales, dimensiones y conexiones

Las componentes del SIPRA deben soportar los efectos electromagnéticos producidos por las corrientes de rayo y esfuerzos accidentales predecibles sin ser dañados. Los materiales y sus dimensiones deben ser escogidos teniendo en cuenta la posibilidad de corrosión tanto de la estructura a ser protegida como del SIPRA.

Los materiales del sistema de captación y las bajantes deben ser firmemente fijados de tal manera que fuerzas mecánicas accidentales (por ejemplo, vibraciones, expansión térmica, etc.) no causen el rompimiento de los conductores o su pérdida. El número de conexiones a lo largo de los conductores debe mantenerse al mínimo.

Las conexiones deben hacerse de manera segura por medio de abrazaderas, soldaduras, agarraderas, tornillos, etc.

2.4.1.3. Sistema de protección interno

El sistema de protección interno evita la ocurrencia de chispas (descargas eléctricas) peligrosas que podrían presentarse en el interior de la estructura, a causa de la circulación de corriente de rayo en el sistema de protección externo o en otras partes conductoras de la estructura.

Pueden existir descargas eléctricas peligrosas entre el sistema de protección externo y otros componentes como:

- Instalaciones metálicas.
- Sistemas eléctricos y electrónicos que ingresan a la estructura a proteger.
- Partes conductoras externas y líneas conectadas a la estructura.

2.4.1.3.1. Uniones equipotenciales contra descargas eléctricas atmosféricas

La equipotencialización se logra mediante la interconexión del sistema de protección contra rayos con:

- Partes metálicas de la estructura.
- Instalaciones metálicas.
- Partes conductoras externas y líneas (de servicio) conectadas a la estructura.
- Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de la estructura a ser protegida.

El establecimiento de uniones equipotenciales con sistemas internos puede originar la circulación de corrientes parciales de rayo en dichos sistemas, razón por la cual los efectos de éstas se deberán considerar. Los medios de interconexión pueden ser:

- Conductores equipotenciales donde no existe continuidad eléctrica por unión natural.
- Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), cuando la unión con conductores equipotenciales no es conveniente. [9]

3. TÉRMINOS PARA EL MANEJO DEL RIESGO

3.1. Fuentes de daños

La corriente de rayo es la fuente primaria de daño. Las siguientes fuentes son definidas con relación a la posición del punto de impacto de la descarga eléctrica atmosférica.

- S1 descargas sobre la estructura
- S2 descargas cercanas a la estructura
- S3 descargas sobre las acometidas de servicios.
- S4 descargas cercanas a las acometidas de servicios.

3.2. Tipos de daños (Dx)

Una descarga eléctrica atmosférica puede causar daños dependiendo de las características del objeto a proteger, entre las más importantes se tiene: el tipo de construcción, contenido y aplicación, tipo de servicio y medidas de protección instaladas. Para una aplicación práctica de la evaluación de riesgo se distinguen tres tipos básicos de daños los cuales pueden aparecer como consecuencia de una descarga eléctrica atmosférica, ellos son:

- D1 lesiones a seres vivos
- D2 daños físicos
- D3 fallas de sistemas eléctricos y electrónicos.

3.3. Tipo de pérdidas (Lx)

Cada tipo de daño, solo o en combinación con otros, podría producir diferentes pérdidas en el objeto a proteger. Los tipos de pérdidas pueden aparecer dependiendo de las características del mismo objeto y de su contenido.

Los siguientes tipos de pérdidas en general, podrían presentarse:

- L1 pérdida de vida humana
- L2 pérdida de servicios público
- L3 pérdida de patrimonio cultural
- L4 pérdida económica (estructura y contenido, lucro cesante)

Los siguientes tipos de pérdidas podrían asociarse con acometidas:

- L'2 pérdida de servicio público
- L'4 pérdida económica (acometida y lucro cesante)

3.4. Riesgo y componentes de riesgo (Rx)

El riesgo **R** es el valor promedio de pérdidas anuales y debe ser evaluado para los tipos de pérdida asociados a la estructura y las acometidas de servicios.

Los riesgos a evaluar en una estructura son:

- R₁ riesgo de pérdida de vida humana.
- R₂ riesgo de pérdida del servicio público.
- R₃ riesgo de pérdida de patrimonio cultural.
- R₄ riesgo de pérdida de valor económico.

Los riesgos a evaluar en las acometidas de servicio son:

- R'_1 riesgo de pérdida de vida humana.
 R'_2 riesgo de pérdida del servicio público.
 R'_4 riesgo de pérdida de valor económico.

Cada uno de estos riesgos está constituido por la suma de varias componentes tal como se presenta en las Tablas 1 y 2.

| Fuente de daño | Descargas sobre la estructura S1 | | | Descargas cercanas a la estructura S2 | Descargas sobre las acometidas de servicios S3 | | | Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 |
|----------------------------------|--|-------|---------|---------------------------------------|--|---------|-------------|---|
| | R_A^3 | R_B | R_C^4 | R_M^4 | R_U^5 | R_V^5 | $R_W^{4,5}$ | $R_Z^{4,5}$ |
| Riesgo para cada tipo de pérdida | | | | | | | | |
| R_1 | X | X | X^1 | X^1 | X | X | X^1 | X^1 |
| R_2 | | X | X | X | | X | X | X |
| R_3 | | X | | | | X | | |
| R_4 | X^2 | X | X | X | X^2 | X | X | X |
| 1 | Únicamente para estructuras con riesgo de explosión, y para hospitales u otras estructuras en donde la pérdida la falla de sistemas internos ponga en peligro la vida humana | | | | | | | |
| 2 | Únicamente para propiedades en donde pueda haber pérdida de animales | | | | | | | |
| 3 | Únicamente se calcula para exteriores | | | | | | | |
| 4 | Únicamente se calcula si existe equipo sensible | | | | | | | |
| 5 | Se debe calcular para cada tipo de acometida de servicios (alimentación eléctrica y telecomunicaciones) | | | | | | | |

Tabla 1. Componentes de riesgo para cada tipo de pérdida en una estructura. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 12.

| Fuente de daño | Descargas sobre la estructura S1 | | Descargas sobre las acometidas de servicios S3 | | Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 |
|----------------------------------|---|--------|--|--------|---|
| | R'_B | R'_C | R'_V | R'_W | R'_Z |
| Riesgo para cada tipo de pérdida | | | | | |
| $R'_1^{(*)}$ | X | | X | | |
| R'_2 | X | X | X | X | X |
| R'_4 | X | X | X | X | X |
| $(^*)$ | Solo para ductos metálicos sin continuidad eléctrica, que transporte fluido explosivo | | | | |

Tabla 2. Componentes de riesgo para cada tipo de pérdida en acometida de servicios. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 13

En las tablas 3 y 4 se resumen los cálculos de las componentes de riesgo para estructura y acometidas de servicio respectivamente.

| Daño | Descargas sobre la estructura S1 | Descargas cercanas a la estructura S2 | Descargas sobre las acometidas de servicios S3 ⁽¹⁾ | Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 ⁽¹⁾ |
|--------|--|--|--|---|
| D1 | $R_A=N_D*P_A*L_A$ | | $R_U=(N_L+N_{Da})*P_U*L_U$ | |
| D2 | $R_B=N_D*P_B*L_B$ | | $R_V=(N_L+N_{Da})*P_V*L_V$ | |
| D3 | $R_C=N_D*P_C*L_C$ | $R_M=N_M*P_M*L_M$ | $R_W=(N_L+N_{Da})*P_W*L_W$ | $R_Z=(N_I-N_L)*P_Z*L_Z$ |
| (1) | Si la línea tiene más de una sección (aérea, subterránea, apantallada, sin apantallamiento), el valor de R_U , R_V , R_W y R_Z serán la suma de los valores R_U , R_V , R_W y R_Z pertinentes a cada sección de la línea. En caso de que a la estructura lleguen más líneas conectadas a través de diferentes rutas, el cálculo se debe hacer para cada línea. | | | |
| NOTA 1 | Las componentes L_X varían de acuerdo al tipo de riesgo a evaluar (R_1, R_2, R_3, R_4) | | | |
| NOTA 2 | Para el cálculo de R_Z si $(N_I-N_L) \leq 0$ entonces $R_Z=0$ | | | |

Tabla 3. Componentes de riesgo en estructuras. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 22

| Daño | Descargas sobre la estructura S1 | Descargas sobre las acometidas de servicios S3 | Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 |
|------|-------------------------------------|---|--|
| D2 | $R'_B=N_D*P'_B*L'_B$ | $R'_V=N_L*P'_V*L'_V$ | |
| D3 | $R'_C=N_D*P'_C*L'_C$ | $R'_W=N_L*P'_W*L'_W$ | $R'_Z=(N_I-N_L)*P'_Z*L'_Z$ |

Tabla 4. Componentes de riesgo en acometidas de servicio. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 22.

3.5. Procedimiento básico para el manejo del riesgo

La decisión para proteger una estructura o una acometida de servicio contra rayos, así como las medidas de protección seleccionadas, deberán ser realizadas de acuerdo con la NTC 4552. Aplicando el siguiente procedimiento:

- Identificar el objeto a proteger y sus características.
- Identificar todos los tipos de pérdidas y riesgos correspondientes R (R1 a R4).
- Evaluar el riesgo R para cada uno de los tipos de pérdida.
- Evaluar la necesidad de protección, por comparación de riesgo R1, R2 y R3 para una estructura (R'2 para el servicio) con un riesgo tolerable RT.
- Evaluar la conveniencia económica de protección, por comparación de los costos de las pérdidas totales con y sin medidas de protección. En este caso, la evaluación de la componente de riesgo R4 para una estructura (R'4 para un servicio) es realizada con el fin de evaluar tales costos.

3.5.1 Riesgo tolerable R_T

Valores representativos de riesgo tolerable R_T donde descargas eléctricas atmosféricas involucran pérdida de vida humana y pérdidas de valores sociales y culturales, se muestran en la Tabla 5.

| Tipo de pérdida | R_T |
|---|-----------|
| Pérdida de vidas o lesiones permanentes | 10^{-5} |
| Pérdida de servicio público | 10^{-3} |
| Pérdida de patrimonio Cultural | 10^{-3} |

Tabla 5. Valores Típicos de riesgo tolerable. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 16.

4. EVALUACIÓN DE LAS COMPONENTES DE RIESGO PARA CADA TIPO DE RIESGO

Cada componente de riesgo R_X , puede calcularse a través de la siguiente ecuación general:

$$R_X = N_X P_X L_X \quad (4.1)$$

En donde

N_X número de eventos peligrosos
 P_X probabilidad de daño
 L_X pérdida consecuenta

4.1. Riesgo de pérdida de vida humana R_1

R_1 se puede calcular de la siguiente forma:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (4.2)$$

4.1.1. Componente de riesgo (R_A)

Componente relacionada con las lesiones a seres vivos causados por tensiones de paso y contacto en las zonas con un radio de cobertura de 3 metros fuera de la estructura.

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (4.3)$$

En donde

N_D promedio anual de descargas sobre la estructura.
 P_A probabilidad de daño.
 L_A pérdida de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.

4.1.1.1. Evaluación del promedio anual de descargas sobre la estructura (N_D)

N_D puede ser evaluado con la siguiente expresión:

$$N_D = DDT * A_d * C_d * 10^{-6} \quad (4.4)$$

En donde

DDT densidad de rayos a tierra (rayos/km²-año).
 A_d área efectiva de la estructura aislada (m²).
 C_d factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa del objeto a ser protegido.

4.1.1.1.1. Densidad de rayos a tierra (DDT)

La densidad de rayos a tierra DDT, se debe obtener de una red de localización de descargas o en su defecto mediante la estimación de la siguiente ecuación:

$$DDT = 0,0017 * N_C^{1,56} \quad (4.5)$$

En donde

N_C número de días tormentosos al año

4.1.1.1.2. Área efectiva de la estructura aislada (A_d)

Para una estructura aislada rectangular con longitud L , ancho W y altura H sobre un terreno plano, el área efectiva es igual a:

$$A_d = LW + 6H(L+W) + 9\pi H^2 \quad (4.6)$$

En donde la estructura S a ser considerada está compuesta de solo una parte de la estructura B, las dimensiones de la estructura S en la evaluación de A_d pueden ser usadas siempre y cuando las siguientes condiciones se cumplan (ver figura 1):

- La estructura S es una parte vertical separada del edificio B.
- El edificio B es una estructura sin riesgo de explosión.
- La propagación de fuego entre la estructura S y otras partes de la estructura B es evitado por muros con resistencia al fuego de 120 min. (REI 120) o por otra medida de protección equivalente.
- La propagación de sobretensiones a través de líneas comunes, disipadas por DPS's instalados en los puntos de entrada o por una protección equivalente.

Donde estas condiciones no se cumplan, las dimensiones del edificio entero serán usadas.

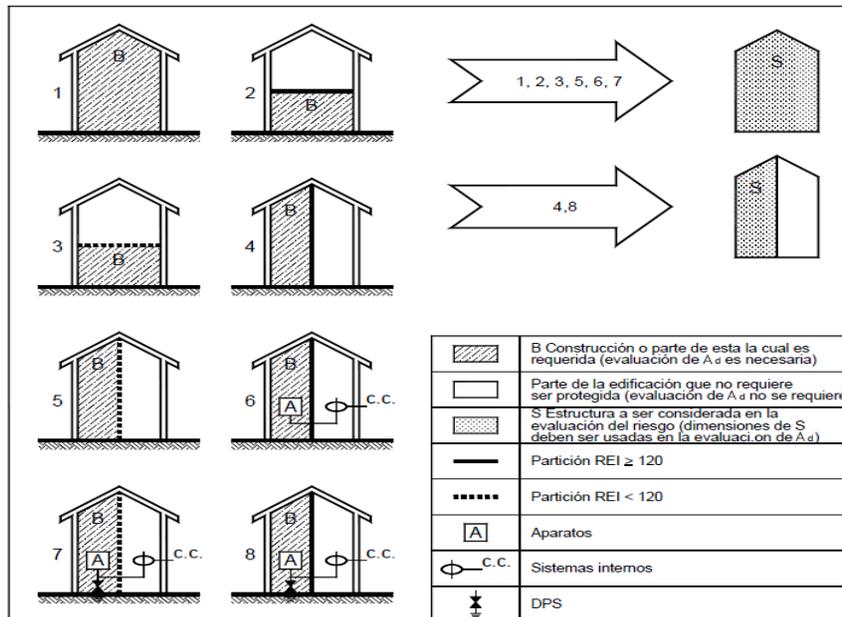


Figura 1. Estructura a ser evaluada para el área efectiva (A_d). Tomado de la norma NTC 4552-2, pág. 28.

4.1.1.1.3. Factor de localización (C_d)

| Localización relativa | C_d |
|---|-------|
| Objeto rodeado de objetos o árboles más altos | 0,25 |
| Objeto rodeado de objetos o árboles de igual altura o menor | 0,5 |
| Objeto aislado: sin objetos en la vecindad | 1 |
| Objeto aislado: en la cima de una colina o elevación | 2 |

Tabla 6. Factor de localización C_d . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 26.

4.1.1.2. Probabilidad de daño (P_A)

Los valores de probabilidad P_A de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de paso o contacto por descargas directas a la estructura, son función de las medidas de protección existentes:

| Medida de protección | P_A |
|---|-----------|
| Sin medidas de protección | 1 |
| Aislamiento eléctrico de bajantes expuestas. (Ej. al menos 3 mm de polietileno) | 10^{-2} |
| Equipotencialización efectiva del suelo | 10^{-2} |
| Avisos de advertencia | 10^{-1} |
| NOTA Si más de una medida de protección ha sido tomada, el valor de P_A es producto de los valores correspondientes según la tabla. | |

Tabla 7. Valores de P_A . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 32

NOTA para más información véase el numeral 8 de NTC 4552-3

NOTA Cuando la estructura utilice sus refuerzos estructurales como bajantes naturales el valor de la probabilidad P_A es despreciable.

4.1.1.3. Pérdida de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura (L_A)

Las pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura, se puede estimar como:

$$L_A = r_a * L_t \quad (4.7)$$

En donde

r_a factor reductor de pérdida de vidas por características del suelo o terreno.

L_t pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.

4.1.1.3.1. Factor reductor de pérdida de vidas por características del suelo o terreno (r_a)

| Tipo de superficie | Resistencia de contacto [k Ω] ⁽¹⁾ | r_a y r_u |
|--|---|---------------|
| Agricultura, concreto | ≤ 1 | 10^{-2} |
| Mármol, cerámica | 1 – 10 | 10^{-3} |
| Gravilla, tapete | 10 – 100 | 10^{-4} |
| Asfalto, madera, linóleo | ≥ 100 | 10^{-5} |
| ⁽¹⁾ Valores medidos entre 400 cm ² electrodos con una fuerza de 500 N y un punto infinito. | | |

Tabla 8. Valores de factores de reducción r_a y r_u en función del tipo de suelo o piso. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41.

4.1.1.3.2. Pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura (L_t)

L_t Se puede estimar a través de la siguiente ecuación:

$$L_t = (n_p/n_t) * (t_p/8760) \quad (4.8)$$

En donde

n_p número de posibles personas en peligro (víctimas).

n_t número total de personas esperadas en la estructura.

t_p tiempo en horas al año que las personas están presentes en el lugar peligroso.

Se pueden asumir valores medio de L_t , para todos los tipos de estructuras cuando la determinación de n_p , n_i , y t_p es incierta o difícil de obtener:

| Tipo de estructura | L_t |
|--|-----------|
| Todos los tipos - personas dentro de la estructura | 10^{-4} |
| Todos los tipos – personas fuera de la estructura | 10^{-2} |

Tabla 9. Valores promedio típicos de L_t para L_I . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41.

4.1.2. Componente de riesgo (R_B)

Componente relacionada con los daños físicos causados por chispas peligrosas dentro de la estructura causando fuego o explosión.

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (4.9)$$

En donde

N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.

P_B probabilidad de daño.

L_B pérdida de vidas humanas por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura.

4.1.2.1. Probabilidad de daño (P_B)

El valor de la probabilidad de daño a la estructura por descargas directas P_B , es función del nivel de protección (NPR) así:

| Características de la estructura | Nivel de protección contra rayos | P_B |
|---|---|-------|
| No protegida | -- | 1 |
| Estructura protegida | IV | 0,2 |
| | III | 0,1 |
| | II | 0,05 |
| | I | 0,02 |
| Estructura con un sistema de captación aéreo de acuerdo al nivel I y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes. | | 0,01 |
| Estructura con techo metálico o un sistema de captación aéreo con protección completa de cualquier instalación el techo contra impactos directos de rayo y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes. | | 0,001 |
| NOTA | Los valores de probabilidad descritos en la tabla son posibles siempre y cuando el sistema de protección contra rayos cumpla con los criterios de NTC 4542. | |

Tabla 10. Valores de P_B . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 32.

4.1.2.2. Pérdida de vidas humanas por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura (L_B)

Las pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructuras por arco eléctrico, se pueden estimar así:

$$L_B = r_p * h_Z * r_f * L_f \quad (4.10)$$

En donde

r_p factor reductor de pérdidas debido a daños físicos el cual depende de medidas de protección tomadas para reducir las consecuencias de incendio.

r_f factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura.

h_z factor de incremento de pérdida debido a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas.

L_f pérdida de vidas humanas por daños físicos.

4.1.2.2.1. Factor reductor de pérdidas (r_p)

| Medida de prevención | r_p |
|--|-------|
| Sin medida de prevención | 1 |
| Una de las siguientes prevenciones: extintores manuales, instalaciones de alarma manual, hidrantes, compartimientos contra fuegos, rutas de evacuación. | 0,5 |
| Una de las siguientes prevenciones: extintores automáticos, instalaciones de alarmas automática (*) | 0,2 |
| (*) Solo si está protegida contra sobretensiones u otros daños y tiempo de respuesta de los bomberos menor a 10 min. Si más de una de estas medidas de provisión se aplican, es necesario tomar el valor más bajo entre los calculados individualmente. En una estructura con riesgo de explosión $r_p=1$ | |

Tabla 11. Valores de factores de reducción r_p en función de las medidas de prevención para reducir las consecuencias de fuego. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 42.

4.1.2.2.2. Factor reductor de pérdidas (r_f)

| Riesgo de fuego | r_f |
|-----------------|-------|
| Explosión | 1 |
| Alto | 10-1 |
| Ordinario | 10-2 |
| Bajo | 10-3 |
| Ninguno | 0 |

Tabla 12. Valores de factor de reducción r_f en función del riesgo de fuego de la estructura. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 43.

NOTA En caso de una estructura con riesgo de explosión que contenga mezcla de explosivos, es necesario realizar una evaluación más detallada de r_f .

NOTA Las estructuras con alto riesgo de incendio se pueden asumir como fabricadas con materiales combustibles, o las estructuras con tejado hecho en materiales combustibles o estructuras con una carga de fuego específica mayor que 800 MJ/m^2 .

NOTA Estructura con riesgo medio de incendio se puede asumir estructuras con carga específica de incendio entre 800 y 700 MJ/m^2 .

NOTA Las estructuras con bajo riesgo de incendio se pueden asumir estructuras con una carga específica menor a 400 MJ/m^2 , o estructuras que contengan material combustible solo ocasionalmente.

NOTA Cargas de incendio específico es la relación de la energía del monto total del material combustible en una estructura y la superficie total de la estructura.

4.1.2.2.3. Factor de incremento de pérdida (h_z)

| Clase especial de riesgo | h_z |
|--|-------|
| Sin riesgo especial | 1 |
| Nivel bajo de pánico (Edificación de dos pisos con un número no mayor a 100 personas) | 2 |
| Nivel medio de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes entre 100 y 1000 personas) | 5 |
| Dificultad de evacuación (Edificación con personas inmovilizadas) | 5 |
| Nivel alto de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes superiores a 1000 personas) | 10 |
| Peligro por ambiente alrededor | 20 |
| Contaminación del ambiente alrededor | 50 |

Tabla 13. Valores de factor de incremento h_z en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 43.

4.1.2.2.4. Pérdida de vidas humanas por daños físicos (L_f)

L_f se puede estimar a través de la siguiente ecuación

$$L_f = (n_p/n_t) * (t_p/8760) \quad (4.11)$$

En donde

n_p número de posibles personas en peligro (víctimas).

n_t número total de personas esperadas en la estructura.

t_p tiempo en horas al año que las personas están presentes en el lugar peligroso.

Se pueden asumir valores medio de L_f , para todos los tipos de estructuras cuando la determinación de n_p , n_t , y t_p es incierta o difícil de obtener.

| Tipo de estructura | L_f |
|---|--------------------|
| Hospitales, hoteles, edificios civiles | 10^{-1} |
| Industrial, comercial, escuelas | 5×10^{-2} |
| Entretenimiento público, iglesias, museos | 2×10^{-3} |

Tabla 14. Valores promedio típicos de L_f para LI. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41.

4.1.3. Componente de riesgo (R_C)

Componente relacionada con la falla de sistemas internos causada por IER (Impulsos electromagnéticos del rayo).

$$R_C = N_D * P_C * L_C \quad (4.12)$$

En donde

N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.

P_C probabilidad de daño.

L_C pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura.

4.1.3.1. Probabilidad de daño (P_C)

La probabilidad de daño de sistemas internos por impacto directo a la estructura depende del sistema coordinado de protección adoptado:

$$P_C = P_{DPS} \quad (4.13)$$

Los valores de P_{DPS} dependen del nivel de protección contra rayos (NPR) al cual han sido diseñados los DPS's. Véase la Tabla 15.

| Nivel de protección contra rayos | P_{DPS} |
|---|-------------|
| Sin sistema coordinado de protección | 1 |
| III-IV | 0,03 |
| II | 0,02 |
| I | 0,01 |
| Son posibles valores menores de P_C en el caso en que los dispositivos de protección tengan mejores características de protección (mayor capacidad de corriente soportable, menor nivel de protección, etc.) comparado con requerimientos definidos para el Nivel I de protección contra rayos. | 0,005-0,001 |
| NOTA Solo un sistema coordinado de DPS's es adecuado como medida de reducción de P_C | |
| NOTA Sistemas internos apantallados conectados a líneas externas a través de ductos apantallados no requieren de un sistema coordinado de DPS's. | |

Tabla 15. Valores de PDPS. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 33.

4.1.3.2. Pérdidas de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura (L_C)

Las pérdidas de vidas humanas relacionadas con la falla de sistemas internos causados por IER, se puede estimar como:

$$L_C = (n_p/n_t) * (t_p/8760) \quad (4.14)$$

En donde

n_p número de posibles personas en peligro (víctimas).

n_t número total de personas esperadas en la estructura.

t_p tiempo en horas al año que las personas están presentes en el lugar peligroso.

Se pueden asumir valores medio de L_C , para todos los tipos de estructuras cuando la determinación de n_p , n_t , y t_p es incierta o difícil de obtener. Para este caso $L_C = L_0$.

| Tipo de estructura | L_0 |
|---------------------|-----------|
| Riesgo de explosión | 10^{-1} |
| Hospitales | 10^{-3} |

Tabla 16. Valores promedio típicos de L_0 para LI. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 41.

4.1.4. Componente de riesgo (R_M)

Componente relacionada con la falla de sistemas internos causados por IER.

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (4.15)$$

En donde

N_M promedio anual de descargas cercanas a la estructura.

P_M probabilidad de daño.
 L_M pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura.

4.1.4.1. Evaluación del número promedio anual de descargas cercanas a la estructura (N_M)

N_M puede ser evaluado como:

$$N_M = DDT * (A_m - A_{d/b} * C_{d/b}) * 10^{-6} \quad (4.16)$$

En donde

DDT densidad de descargas a tierra (rayos/km²/año). Literal 5.1.1.1.1.
 A_m área de influencia de la estructura (m²).
 $A_{d/b}$ área efectiva de la estructura (m²). Literal 5.1.1.1.2
 $C_{d/b}$ factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa de la estructura a ser protegida. Literal 5.1.1.1.3.

Si $N_M < 0$, debe asumirse en la evaluación $N_M = 0$

4.1.4.1.1. Área de influencia de la estructura (A_m)

El área de influencia de la estructura A_m está definida entre la frontera de la estructura y una línea localizada a 250 m del perímetro de la estructura (véase la Figura 2).

$$A_m = 2 * L * 250 + 2 * W * 250 + \pi * 250^2 \quad (4.17)$$

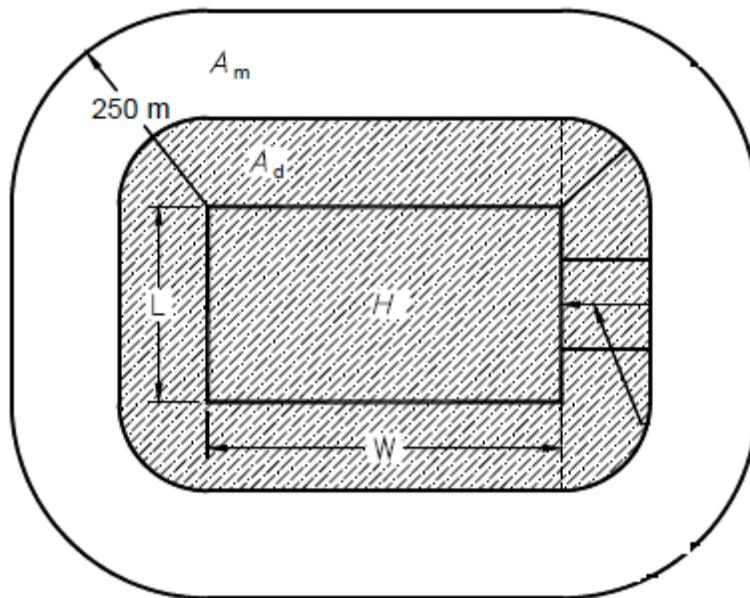


Figura 2. Definición de áreas A_m y A_d . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 29.

4.1.4.2. Probabilidad de daño (P_M)

La probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura depende de las medidas de protección adoptadas, de acuerdo al factor K_{MS} (véase la Tabla 18); el cual se determina como:

$$K_{MS} = K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4} \quad (4.18)$$

En donde

| | |
|--------------------------|--|
| $K_{S1} = 0,12 \times w$ | factor de eficacia del apantallamiento de la estructura del sistema de protección externo o de otros escudos en la frontera LPZO/1. |
| $K_{S2} = 0,12 \times w$ | factor de eficacia del apantallamiento interno de la estructura. Frontera LPZ X/Y Y ($X > 0$, $Y > 1$). |
| K_{S3} | factor de características del cableado interno véase la Tabla 17. |
| $K_{S4} = 1.5/U_w$ | factor de soportabilidad al impulso tipo rayo del sistema a proteger. |
| w | ancho en metros de la cuadrícula del escudo espacial, o el ancho de la malla o los conductores bajantes, o la distancia entre las columnas en sistemas que utilizan la estructura de concreto reforzado como sistema natural de protección contra rayos. |
| U_w | es el menor valor de la tensión soportable al impulso tipo rayo en KV contenido en el sistema a proteger. |

NOTA Si se desconoce las características para estimar los factores K_{Si} , entonces $K_{Si} = 1$
 NOTA En apantallamientos continuos con un espesor entre 0,1 mm y 0,5 mm el rango de valores para K_{S1} , K_{S2} está entre $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$ y 10^{-5} .

| Tipo de Cableado Interno | K_{S3} |
|--|----------|
| Cables sin pantalla - Sin precaución de evitar lazos en la ruta ¹ | 1 |
| Cables sin pantalla – Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta ² | 0,2 |
| Cables sin pantalla – Con precaución de evitar lazos en la ruta ³ | 0,02 |
| Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $5 < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$ | 0,001 |
| Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$ | 0,0002 |
| Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$ | 0,0001 |
| 1 Lazo de conductores formado por diferentes rutas a lo largo de edificaciones largas (lazo del orden de 50 m ²) 2 Lazo formado por conductores alojados en el mismo ducto con diferentes rutas en edificaciones pequeñas (lazo del orden de 10 m ²) 3 Lazo formado por conductores alojados en el mismo cable (lazo del orden de 0,5 m ²) 4 Cable con resistencia de pantalla R_s unida al barraje equipotencial en ambos extremos y equipo conectado al mismo barraje. NOTA para cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial, los valores de K_{S3} deben multiplicarse por 0,1 | |

Tabla 17. Valores de K_{S3} . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 34

| K_{MS}^1 | P_{MS} |
|--|----------|
| $\geq 0,4$ | 1 |
| 0,15 | 0,9 |
| 0,07 | 0,5 |
| 0,035 | 0,1 |
| 0,021 | 0,01 |
| 0,016 | 0,005 |
| 0,015 | 0,003 |
| 0,014 | 0,001 |
| $\leq 0,013$ | 0,0001 |
| NOTA Para sistemas internos con equipos con niveles de soportabilidad al impulso inferiores a los estándar, se asignará un valor de $P_{MS} = 1$ | |

Tabla 18. Valores de PMS en función de KMS. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 34.

Cuando no es provisto un sistema coordinado de protecciones en concordancia con la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4 o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, el valor de P_M será igual a P_{MS} tabla 18.

Cuando es provisto un sistema coordinado de protecciones en concordancia con la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4 o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, el valor de P_M será el menor entre P_{MS} tabla 18 y P_{DPS} tabla 15.

4.1.4.3. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (L_M)

L_M se puede calcular de igual manera que L_C . Literal 5.1.3.2.

4.1.5. Componente de riesgo (R_U)

Componente relacionada con las lesiones en seres vivos causado por tensiones de contacto dentro de la estructura, debido a corrientes de rayo que fluyen por una línea entrante a la estructura.

$$R_U = (N_L + N_{Da}) * P_U * L_U \quad (4.19)$$

En donde

- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios
- N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes
- P_U probabilidad de daño
- L_U pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura

4.1.5.1. Evaluación del número promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios (N_L)

Para una sección del servicio, N_L puede ser evaluado por:

$$N_L = DDT * A_l * C_d * Ct * 10^{-6} \quad (4.20)$$

En donde

- DDT densidad de descargas a tierra (rayos/km²/año). Literal 5.1.1.1.1.
- A_l área efectiva de descargas al servicio (m²) (véase la Tabla 12 y la Figura 9).
- C_d factor de localización del servicio. Literal 5.1.1.1.3

Ct factor de corrección por la presencia de transformadores de AT/BT localizado entre el punto de choque y la estructura (véase la Tabla 11). Este factor aplica para secciones de línea aguas arriba del transformador respecto a la estructura.

4.1.5.1.1. Área efectiva de descargas sobre la acometida de servicio (A_1)

| | Aérea | Subterránea |
|-------|-----------------------------------|------------------------------------|
| A_1 | $(L_c - 3(H_a + H_b)) \sqrt{H_c}$ | $(L_c - 3(H_a + H_b)) \sqrt{\rho}$ |

Tabla 19. Área efectiva A_1 dependiendo de las características del servicio. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 30.

En donde

A_1 área efectiva de descargas sobre la acometida de servicio (m²)
 H_a altura de la estructura de dónde proviene la acometida de servicio (m)
 H_b altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio (m)
 H_c altura (m) sobre la tierra de los conductores del servicio (m)
 L_c longitud de la sección de la acometida de servicio, de la estructura al primer nodo (m). Un valor máximo $L_c = 1\ 000$ m puede asumirse
 ρ resistividad del terreno donde la acometida es enterrada (Ω .m). El máximo valor que se puede asumir es $500\ \Omega$.m.

NOTA Para el propósito de cálculo se puede asumir:

- Cuando el valor de L_c es desconocido se puede asumir, $L_c = 1\ 000$ m
- Cuando la resistividad del terreno es desconocida se puede asumir $\rho = 500\ \Omega$.m
- Para cables subterráneos con puesta a tierra terminada en malla, se puede asumir un valor del área efectiva equivalente $A_1 = A_1 = 0$ como área efectiva.

4.1.5.1.2. Factor de corrección por la presencia de transformador (Ct)

| Tipo de transformador | Ct |
|--|-----|
| Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente | 0.2 |
| Autotransformador | 1 |
| Sin transformador | 1 |

Tabla 20. Factor de corrección por presencia de transformador. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 29.

4.1.5.2. Evaluación del promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes (N_{Da})

El número promedio anual de eventos peligrosos debido a descargas en estructuras adyacentes puede ser evaluado como:

$$N_{Da} = DDT * A_{d/a} * C_{d/a} * Ct * 10^{-6} \quad (4.21)$$

En donde

DDT densidad de rayos a tierra (rayos/km²-año). Literal 5.1.1.1.1.
 $A_{d/a}$ área efectiva de la estructura adyacente aislada (m²). Literal 5.1.1.1.2
 $C_{d/a}$ factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa de la estructura adyacente. Literal 5.1.1.1.3.
Ct factor de corrección por la presencia de transformadores de AT/BT localizado entre el punto de choque y la estructura. Este factor aplica para secciones de línea aguas arriba del transformador respecto a la estructura. Literal 5.1.5.1.2.

4.1.5.3. Probabilidad de daño (P_U)

El valor de la probabilidad de lesiones a seres vivos P_U a causa de tensiones de toque o paso por descargas sobre las acometidas de servicio, depende de las características del apantallamiento del servicio, de la soportabilidad al impulso tipo rayo de los sistemas internos conectados al servicio, de medidas de protección como: notas de advertencia, restricciones de acceso y de los DPS's conectados en la entrada de la acometida de servicio.

Cuando los DPS's no cumplen los requerimientos de equipotencialización de la NTC 4552-3, P_U tomará el valor de P_{LD} tabla 21.

Cuando los DPS's cumplen los requerimientos de equipotencialización de NTC 4552-3, P_U será el menor valor entre P_{DPS} tabla 15 y P_{LD} Tabla 21.

| Tipo de acometida | U_w [kV] | $5 < R_s \leq 20$ [Ω/km] | $1 < R_s \leq 5$ [Ω/km] | $R_s \leq 1$ [Ω/km] |
|--|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Cable apantallado | 1.5 | 1 | 0.8 | 0.4 |
| | 2.5 | 0.95 | 0.6 | 0.2 |
| | 4 | 0.9 | 0.3 | 0.04 |
| | 6 | 0.8 | 0.1 | 0.02 |
| Cable NO apantallado | 1 | | | |
| Rs (Ω/km): resistencia del apantallamiento del cable. | | | | |

Tabla 21. Valores de probabilidad de daño PLD en sistemas internos en función de la resistencia del apantallamiento R_s y la tensión soportable U_w del cable. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 35.

Cuando se implementan medidas de protección como, notas de advertencia, restricciones físicas, la probabilidad P_U se puede reducir multiplicándola por la probabilidad P_A .

4.1.5.4. Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura (L_U)

L_U se puede calcular de igual forma que L_A . Literal 5.1.1.3.

4.1.6. Componente de riesgo (R_V)

Componente relacionada con los daños físicos (fuego o explosión por chispas entre las instalaciones externas y partes metálicas generalmente al punto de entrada de la línea a la estructura) debido a corrientes de rayo transmitida a través de la acometida de servicios.

$$R_V = (N_L + N_{Da}) * P_V * L_V \quad (4.22)$$

En donde

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.

N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.

P_V probabilidad de daño

L_V pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometida deservicios

4.1.6.1. Probabilidad de daño (P_V)

El valor de la probabilidad de daños físicos P_V a causa de descargas directas en las acometidas de servicios, depende de las características del apantallamiento del servicio; de la soportabilidad al impulso tipo rayo de los sistemas y de los DPS's instalados.

Cuando los DPS's no cumplen los requerimientos de equipotencialización de la NTC 4552-3, P_V tomará el valor de P_{LD} tabla 21.

Cuando los DPS's cumplen los requerimientos de equipotencialización de la NTC 4552-3, P_V será el menor valor entre P_{DPS} tabla 15 y P_{LD} tabla 21.

4.1.6.2. Pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometida de servicios (L_V)

L_V se calcula de igual manera que L_B . Literal 5.1.2.2.

4.1.7. Componente de riesgo (R_W)

Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura.

$$R_W = (N_L + N_{Da}) * P_W * L_W \quad (4.23)$$

En donde

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.

N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.

P_W probabilidad de daño

L_W pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometida deservicios

4.1.7.1. Probabilidad de daño (P_W)

El valor de la probabilidad de daño de sistemas internos P_W a causa de descargas directas en las acometidas de servicios, depende de las características del apantallamiento del servicio; de la soportabilidad al impulso tipo rayo de los sistemas y de los DPS's instalados.

Cuando no existe una coordinación de DPS's en conformidad con la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC62305-4 o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, el valor de P_W tomará el valor de P_{LD} tabla 21.

Cuando existe una coordinación de DPS's de conformidad con la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, P_W será el menor valor entre P_{DPS} tabla 15 y P_{LD} tabla 19.

4.1.7.2. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio (L_W)

L_W se calcula de igual manera que L_C . Literal 5.1.3.2.

4.1.8. Componente de riesgo (R_Z)

Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las líneas de acometida y transmitida a la estructura.

$$R_Z = (N_I - N_L) * P_Z * L_Z \quad (4.24)$$

En donde

N_I promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.

P_Z probabilidad de daño
 L_Z pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometida de servicios

4.1.8.1. Evaluación del número promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio (N_I)

Para una sección de línea (aérea, subterránea, apantallada, sin apantallamiento, etc.), el valor de N_I puede ser evaluado por:

$$N_I = DDT * A_i * C_e * C_t * 10^{-6} \quad (4.25)$$

En donde

DDT densidad de rayos a tierra (rayos/km²-año). Literal 5.1.1.1.1.
 A_i área efectiva de descargas cercanas al servicio (m²) (véase la Tabla 12 y Figura 9) literal xx
 C_e factor ambiental (véase la Tabla 13)
 C_t factor de corrección por la presencia de transformadores de AT/BT localizado entre el punto de choque y la estructura. Este factor aplica para secciones de línea aguas arriba del transformador respecto a la estructura. Literal 5.1.5.1.2.

4.1.8.1.1. Área efectiva de descargas cercanas al servicio (A_i)

| | Aérea | Subterránea |
|-------|------------|----------------------|
| A_i | 1000 L_c | 25 $L_c \sqrt{\rho}$ |

Tabla 22. Áreas Efectivas A_i y A_i dependiendo de las características del servicio. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 30.

En donde

L_c longitud de la sección de la acometida de servicio, de la estructura al primer nodo (m). Un valor máximo $L_c = 1\ 000$ m puede asumirse
 ρ resistividad del terreno donde la acometida es enterrada (Ω .m). El máximo valor que se puede asumir es 500 Ω .m.

NOTA Para el propósito de cálculo se puede asumir:

- Cuando el valor de L_c es desconocido se puede asumir, $L_c = 1\ 000$ m
- Cuando la resistividad del terreno es desconocida se puede asumir $\rho = 500$ Ω .m
- Para cables subterráneos con puesta a tierra terminada en malla, se puede asumir un valor del área efectiva equivalente $A_i = A_1 = 0$ como área efectiva.

4.1.8.1.2. Factor ambiental (C_e)

| Ambiente | C_e |
|---|-------|
| Urbano con edificaciones altas ¹⁾ | 0 |
| Urbano ²⁾ | 0.1 |
| Suburbano ³⁾ | 0.5 |
| Rural | 1 |
| ¹⁾ Edificaciones de más de 20 m de altura | |
| ²⁾ Edificaciones entre 10 m y 20 m de altura | |
| ³⁾ Edificaciones menores a 10 m de altura | |

Tabla 23. Factor ambiental C_e . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 31.

4.1.8.2. Probabilidad de daño (P_Z)

El valor de la probabilidad de daño de sistemas internos P_Z a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios, depende de las características del apantallamiento del servicio; de la soportabilidad al impulso tipo rayo de los sistemas y de las medidas de protección adoptadas.

Cuando no existe una coordinación de DPS's de conformidad con la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4 o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, el valor de P_Z tomará el valor de P_{L1} tabla 24.

Cuando existe una coordinación de DPS's de conformidad con la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, P_Z será el menor valor entre P_{DPS} tabla 15 y P_{L1} tabla 24.

| U_w [kV] | Sin pantalla | Pantalla no conectada a barra equipotencial a la cual está conectada el equipo | Apantallamiento y equipo unido a barra equipotencial | | |
|---------------|--------------|--|--|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | | $5 < R_s \leq 20$ [Ω /km] | $1 < R_s \leq 5$ [Ω /km] | $R_s \leq 1$ [Ω /km] |
| 1,5 | 1 | 0,5 | 0,15 | 0,04 | 0,02 |
| 2,5 | 0,4 | 0,2 | 0,06 | 0,02 | 0,008 |
| 4 | 0,2 | 0,1 | 0,03 | 0,008 | 0,004 |
| 6 | 1 | 0,05 | 0,2 | 0,004 | 0,002 |

Rs: resistencia de la pantalla del cable (Ω /km)

Tabla 24. Valores de $PL1$ en función de la tensión soportable al impulso tipo rayo U_w del equipo y la resistencia de la pantalla del cable R_s . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 36.

4.1.8.3. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio (L_Z)

L_Z se calcula de igual manera que L_C . Literal 5.1.3.2.

4.2. Riesgo de pérdida del servicio público R_2

R_2 se puede calcular de la siguiente forma:

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (4.26)$$

4.2.1. Componente de riesgo (R_B)

Componente relacionada con los daños físicos causados por chispas peligrosas dentro de la estructura causando fuego o explosión.

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (4.27)$$

En donde

- N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.
- P_B probabilidad de daño. Literal 5.1.2.1.
- L_B pérdida inaceptable del Servicio Público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura

4.2.1.1. Pérdida inaceptable del Servicio Público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura (L_B)

Las pérdidas de servicio público por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, se puede estimar así:

$$L_B = r_p * r_f * L_f \quad (4.28)$$

r_p factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende de medidas de protección tomadas para reducir las consecuencias de incendio. Literal 5.1.2.2.1.

r_f factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura. Literal 5.1.2.2.2.

L_f pérdidas debido a daños físicos.

4.2.1.1.1. Pérdidas debido a daños físicos (L_f)

L_f se puede estimar a través de la siguiente ecuación:

$$L_f = (n_p / n_t) * (t / 8760) \quad (4.29)$$

En donde

n_p número promedio de posibles usuarios afectados (usuarios no atendidos).

n_t número total de usuarios.

t período en horas anuales de pérdida del servicio).

Se pueden asumir valores medio de L_f , para todos los tipos de acometidas cuando la determinación de n_p , n_t y t es incierta o difícil de obtener.

| Tipo de servicio | L_f |
|---------------------------------|-----------|
| GAS, ACUEDUCTO | 10^{-1} |
| TV, TLC, SUMINISTRO DE POTENCIA | 10^{-2} |

Tabla 25. Valores medios típicos de L_f para L2. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 46.

4.2.2. Componente de riesgo (R_C)

Componente relacionada con la falla de sistemas internos causada por IER

$$R_C = N_D * P_C * L_C \quad (4.30)$$

En donde

N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.

P_C probabilidad de daño. Literal 5.1.3.1.

L_C pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura

4.2.2.1. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura (L_C)

Las pérdidas de servicio público relacionadas con la falla de sistemas internos causado por IER. Se puede estimar como:

$$L_C = (n_p / n_t) * (t / 8760) \quad (4.31)$$

En donde

- n_p número promedio de posibles usuarios afectados (usuarios no atendidos).
 n_t número total de usuarios.
 t período en horas anuales de pérdida del servicio).

Se pueden asumir valores medio de L_C , para todos los tipos de acometidas cuando la determinación de n_p , n_t y t es incierta o difícil de obtener. En este caso $L_C = L_o$.

| Tipo de servicio | L_o |
|---------------------------------|-----------|
| GAS, ACUEDUCTO | 10^{-2} |
| TV, TLC, SUMINISTRO DE POTENCIA | 10^{-3} |

Tabla 26. Valores medios típicos de L_o para L_2 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 46

4.2.3. Componente de riesgo (R_M)

Componente relacionada con la falla de sistemas internos causados por IER.

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (4.32)$$

En donde

- N_M promedio anual de descargas cercanas a la estructura. Literal 5.1.4.1.
 P_M probabilidad de daño. Literal 5.1.4.2.
 L_M pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura.

4.2.3.1. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (L_M)

L_M se puede calcular de igual que L_C . Literal 5.2.2.1

4.2.4. Componente de riesgo (R_V)

Componente relacionada con los daños físicos (fuego o explosión por chispas entre las instalaciones externas y partes metálicas generalmente al punto de entrada de la línea a la estructura) debido a corrientes de rayo transmitida a través de la acometida de servicios.

$$R_V = (N_L + N_{Da}) * P_V * L_V \quad (4.33)$$

En donde

- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
 N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.
 P_V probabilidad de daño. Literal 5.1.6.1.
 L_V pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos a causa de descarga sobre las acometidas de servicios.

4.2.4.1. Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos a causa de descarga sobre las acometidas de servicios (L_V)

L_V se puede calcular de igual manera que L_B . Literal 5.2.1.1

4.2.5. Componente de riesgo (R_W)

Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura.

$$R_W = (N_L + N_{Da}) * P_W * L_W \quad (4.34)$$

En donde

- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
- N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.
- P_W probabilidad de daño. 5.1.7.1.
- L_W pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio.

4.2.5.1. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio (L_W)

L_W se puede calcular de igual manera que L_C . Literal 5.2.2.1.

4.2.6. Componente de riesgo (R_Z)

Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las líneas de acometida y transmitida a la estructura.

$$R_Z = (N_I - N_L) * P_Z * L_Z \quad (4.35)$$

En donde

- N_I promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio. Literal 5.1.8.1.
- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
- P_Z probabilidad de daño. Literal 5.1.8.2.
- L_Z pérdida inaceptable del servicio público por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio.

4.2.6.1. Pérdida inaceptable del servicio público por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio (L_Z)

L_Z se puede calcular de igual manera que L_C . Literal 5.2.2.1.

4.3. Riesgo de pérdida de patrimonio cultural R_3

R_3 se puede calcular de la siguiente forma:

$$R_3 = R_B + R_V \quad (4.36)$$

4.3.1. Componente de riesgo (R_B)

Componente relacionada con los daños físicos causados por chispas peligrosas dentro de la estructura causando fuego o explosión.

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (4.37)$$

En donde

- N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.
- P_B probabilidad de daño. Literal 5.1.2.1.

L_B pérdidas de valor cultural irremplazables por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura

4.3.1.1. Pérdidas de valor cultural irremplazables por fuego o explosión dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre la estructura (L_B)

Las pérdidas de valor cultural irremplazable por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico a causa de impactos directos de rayo, se puede estimar así:

$$L_B = r_p * r_f * L_f \quad (4.38)$$

r_p factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende de medidas de protección tomadas para reducir las consecuencias de incendio. Literal 5.1.2.2.1.

r_f factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura. Literal 5.1.2.2.2.

L_f pérdidas debido a daños físicos.

4.3.1.1.1. Pérdidas debido a daños físicos (L_f)

Los valores de L_f pueden ser determinados en términos del monto relativo de posibles pérdidas así:

$$L_f = c / c_t \quad (4.39)$$

En donde

c valor medio de posibles pérdidas en la estructura (ej: el valor asegurable de posibles pérdidas de bienes)

c_t valor total de la estructura (ej: valor asegurable de todos los bienes)

Cuando la determinación de c y c_t es incierta o difícil de obtener, se puede asumir un valor de $L_f = 10^{-1}$.

4.3.2. Componente de riesgo (R_V)

Componente relacionada con los daños físicos (fuego o explosión por chispas entre las instalaciones externas y partes metálicas generalmente al punto de entrada de la línea a la estructura) debido a corrientes de rayo transmitida a través de la acometida de servicios.

$$R_V = (N_L + N_{Da}) * P_V * L_V \quad (4.40)$$

En donde

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.

N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.

P_V probabilidad de daño. Literal 5.1.6.1.

L_V pérdidas de valor cultural irremplazables por daños físicos a causa descarga sobre las acometidas de servicios.

4.3.2.1. Pérdidas de valor cultural irremplazables por daños físicos a causa descarga sobre las acometidas de servicios (L_V)

L_V se puede calcular de igual forma que L_B . Literal 5.3.1.1.

4.4. Riesgo de pérdida de valor económico R_4

R_4 se puede calcular de la siguiente forma:

$$R_4=R_A+R_B+R_C+R_M+R_U+R_V+R_W+R_Z \quad (4.41)$$

4.4.1. Componente de riesgo (R_A)

Componente relacionada con las lesiones a seres vivos causados por tensiones de paso y contacto en las zonas con un radio de cobertura de 3 metros fuera de la estructura.

$$R_A=N_D*P_A*L_A \quad (4.42)$$

En donde

- N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.
- P_A probabilidad de daño. Literal 5.1.1.2.
- L_A pérdida económica por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.

4.4.1.1. Pérdidas económicas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura (L_A)

Las pérdidas económicas a causa de tensiones de paso y contacto fuera de la estructura se pueden estimar así:

$$L_A = r_a * L_t \quad (4.43)$$

- r_a factor reductor de pérdida de vidas por características del suelo o terreno. Literal 5.1.1.3.1.
- L_t pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.

4.4.1.1.1. Pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura (L_t)

L_t se puede estimar a través de la siguiente ecuación:

$$L_t = c / c_t \quad (4.44)$$

En donde

- c es el valor de posibles pérdidas
- c_t es valor total de la estructura (incluido su contenido y actividad relevante)

Se pueden asumir valores medio de L_t , para todos los tipos de estructuras cuando la determinación de c , c_t es incierta o difícil de obtener.

| Tipo de Estructura | L_t |
|--|-----------|
| Todos los tipos – personas dentro de la estructura | 10^{-4} |
| Todos los tipos – personas fuera de la estructura | 10^{-2} |

Tabla 27. Valores promedio típicos para L_t para pérdida económica L_A . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 52.

4.4.2. Componente de riesgo (R_B)

Componente relacionada con los daños físicos causados por chispas peligrosas dentro de la estructura causando fuego o explosión.

$$R_B=N_D*P_B*L_B \quad (4.45)$$

En donde

- N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.
- P_B probabilidad de daño. Literal 5.1.2.1.

L_B pérdidas económicas por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura.

4.4.2.1. Pérdidas económicas por fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura (L_B)

Las pérdidas económicas por fuego o explosión dentro de las estructuras por arco eléctrico, se pueden estimar así:

$$L_B = r_p * r_f * h_z * L_f \quad (4.46)$$

En donde

r_p factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende de medidas de protección tomadas para reducir las consecuencias de incendio. Literal 5.1.2.2.1.

r_f factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura. Literal 5.1.2.2.2.

h_z factor de incremento de pérdida debida a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas. Literal 5.1.2.2.3.

L_f pérdidas debido a daños físicos.

4.4.2.1.1. Pérdidas debido a daños físicos (L_f)

L_f se puede estimar a través de la siguiente ecuación:

$$L_f = C / C_t \quad (4.47)$$

En donde

C es el valor de posibles pérdidas

C_t es valor total de la estructura (incluido su contenido y actividad relevante)

Se pueden asumir valores medio de L_f , para todos los tipos de estructuras cuando la determinación de C , C_t es incierta o difícil de obtener.

| Tipo de Estructura | L_f |
|--|-------|
| Hospitales, industrias, museos, uso agrícola | 0,5 |
| Hoteles, escuelas, oficinas, centros comerciales, Iglesias, bancos | 0,2 |
| Otros | 0,1 |

Tabla 28. Valores promedio típicos para L_f para pérdida económica L_f . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 52

4.4.3. Componente de riesgo (R_C)

Componente relacionada con la falla de sistemas internos causada por IER.

$$R_C = N_D * P_C * L_C \quad (4.48)$$

En donde

N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.

P_C probabilidad de daño. Literal 5.1.3.1.

L_C pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura.

4.4.3.1. Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargarse la estructura (L_C)

Las pérdidas económicas relacionadas con la falla de sistemas internos causadas por IER. Se puede estimar como:

$$L_C = c / c_t \quad (4.49)$$

En donde

- c es el valor de posibles pérdidas
- c_t es valor total de la estructura (incluido su contenido y actividad relevante)

Se pueden asumir valores medio de L_C , para todos los tipos de estructuras cuando la determinación de c , c_t es incierta o difícil de obtener. En este caso se pueden asumir los valores de L_o de la Tabla 29.

| Tipo de Estructura | L_o |
|---|-----------|
| Riesgo de explosión | 10^{-1} |
| Hospitales, Industria, oficinas, hoteles, bancos | 10^{-2} |
| Museos, uso agrícola, escuelas, iglesias, centros comerciales | 10^{-3} |
| Otros | 10^{-4} |

Tabla 29. Valores promedio típicos para L_o para pérdida económica L_4 . Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 52.

4.4.4. Componente de riesgo (R_M)

Componente relacionada con la falla de sistemas internos causados por IER.

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (4.50)$$

En donde

- N_M promedio anual de descargas cercanas a la estructura. Literal 5.1.4.1.
- P_M probabilidad de daño. 5.1.4.1.
- L_M pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura.

4.4.4.1. Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura (L_M)

L_M se calcula de igual forma que L_C . Literal 5.4.3.1.

4.4.5. Componente de riesgo (R_U)

Componente relacionada con las lesiones en seres vivos causado por tensiones de contacto dentro de la estructura, debido a corrientes de rayo que fluyen por una línea entrante a la estructura.

$$R_U = (N_L + N_{Da}) * P_U * L_U \quad (4.51)$$

En donde

- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
- N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.
- P_U probabilidad de daño. Literal 5.1.5.3.
- L_U pérdidas económicas por tensiones de contacto dentro de la estructura.

4.4.5.1. Pérdidas económicas por tensiones de contacto dentro de la estructura (L_U)

L_U se calcula de igual forma que L_A . Literal 5.4.1.1.

4.4.6. Componente de riesgo (R_V)

Componente relacionada con los daños físicos (fuego o explosión por chispas entre las instalaciones externas y partes metálicas generalmente al punto de entrada de la línea a la estructura) debido a corrientes de rayo transmitida a través de la acometida de servicios.

$$R_V = (N_L + N_{Da}) * P_V * L_V \quad (4.52)$$

En donde

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
 N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.
 P_V probabilidad de daño. 5.1.6.1.
 L_V pérdidas económicas por daños físicos a causa de descargas en acometida de servicios.

4.4.6.1. Pérdidas económicas por daños físicos a causa de descargas en acometida de servicios (L_V)

L_V se calcula de igual forma que L_B . Literal 5.4.2.1.

4.4.7. Componente de riesgo (R_W)

Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura.

$$R_W = (N_L + N_{Da}) * P_W * L_W \quad (4.53)$$

En donde

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
 N_{Da} promedio anual de descargas sobre estructuras adyacentes. Literal 5.1.5.2.
 P_W probabilidad de daño. Literal 5.1.7.1.
 L_W pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio.

4.4.7.1. Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio (L_W)

L_W se calcula de igual forma que L_C . Literal 5.4.3.1.

4.4.8. Componente de riesgo (R_Z)

Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las líneas de acometida y transmitida a la estructura.

$$R_Z = (N_I - N_L) * P_Z * L_Z \quad (4.54)$$

En donde

N_I promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio. Literal 5.1.8.1.
 N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
 P_Z probabilidad de daño. 5.1.8.2.
 L_Z pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio.

4.4.8.1. Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio (L_Z)

L_Z se calcula de igual forma que L_C . Literal 5.4.3.1.

4.5. Riesgo de pérdida del servicio público R'_2

R'_2 se puede calcular de la siguiente forma:

$$R'_2 = R'_B + R'_C + R'_V + R'_W + R'_Z \quad (4.55)$$

4.5.1. Componente de riesgo (R'_B)

Componente relacionada a daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo a través de la acometida de servicio. (Impacto en la estructura).

$$R'_B = N_D * P'_B * L'_B \quad (4.56)$$

En donde

N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.

P'_B probabilidad de daño.

L'_B pérdida inaceptable del servicio público 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.

4.5.1.1. Probabilidad de daño (P'_B)

La probabilidad P'_B que una descarga que impacte a una estructura a la cual una acometida de servicio con conductores metálicos pueda causar daños físicos, está relacionada con la corriente de falla I_a .

La corriente de falla I_a depende de las características de la línea, del número de acometidas de servicio con que cuenta la estructura y de las medidas de protección adoptadas.

Para acometidas de servicio con conductores metálicos no apantallados puede asumirse $I_a = 0$.

Para líneas apantalladas, la corriente de falla I_a en (kA) puede evaluarse como:

$$I_A = \frac{25 * n * U_W}{R_S * K_d * K_p} \quad (4.57)$$

En donde

K_d factor que depende de las características de la línea (véase la Tabla 21).

K_p factor de medida de protección adoptada (véase la tabla 22).

U_w tensión soportada al impulso tipo rayo en KV, (véase las Tabla 23).

R_s resistencia óhmica del apantallamiento del cable en Ω/km .

n número de acometidas de servicio a la estructura.

NOTA DPSs instalados en el punto de entrada de la acometida de servicio a la estructura incrementa la corriente de falla I_a con un efecto positivo sobre el riesgo.

4.5.1.1.1. Características de la línea (Kd)

| Característica de la Línea | Kd |
|---|-----|
| Con la pantalla en contacto con el suelo | 1 |
| Con la pantalla sin contacto con el suelo | 0.4 |

Tabla 30. Valores del factor K_d como función de las características del apantallamiento de la línea. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 37.

4.5.1.1.2. Medida de protección adoptada (Kp)

| Medida de Protección | Kp |
|---|------|
| Sin medidas de protección | 1 |
| Cables adicionales apantallados - un conductor ¹ | 0.6 |
| Cables adicionales apantallados - un conductor ¹ | 0.4 |
| Ducto de cables protegido contra rayo ² | 0.1 |
| Cable protegido contra rayos ³ | 0.02 |
| Cables adicionales apantallados - tubo de acero | 0.01 |
| ¹ El cable apantallado está instalado 30 cm por encima del cable, dos cables apantallados están ubicados encima del cable dispuestos simétricamente con respecto al eje del cable. ² Ducto para cables de baja resistividad en contacto con el suelo (ej. ducto metálico o de concreto reforzado) ³ Cable especial con soportabilidad dieléctrica aumentada cuya pantalla metálica está en contacto continuo con el suelo. | |

Tabla 31. Valores del factor K_p como función de las medidas de protección. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 37.

4.5.1.1.3. Tensión soportada al impulso tipo rayo (Uw)

| Tipo de Cable | Un [kV] | Uw [kV] |
|--|---------|---------|
| Cable de Telecomunicaciones - Aislado en papel | - | 1.5 |
| Cable de Telecomunicaciones - Aislado en PVC | - | 5 |
| Potencia | ≤ 1 | 15 |
| Potencia | 3 | 45 |
| Potencia | 6 | 60 |
| Potencia | 10 | 75 |
| Potencia | 15 | 95 |
| Potencia | 20 | 125 |
| Un: Tensión Nominal | | |

Tabla 32. Tensión disruptiva soportable U_w en función del tipo de cable. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 37.

4.5.1.1.4. Corriente de falla (Ia)

| Ia [kA] | P' _B P' _C P' _V P' _W |
|---------|---|
| 0 | 1 |
| 3 | 0.99 |
| 5 | 0.95 |
| 10 | 0.9 |
| 20 | 0.8 |
| 30 | 0.6 |
| 40 | 0.6 |
| 50 | 0.3 |
| 60 | 0.2 |
| 80 | 0.1 |
| 100 | 0.05 |
| 150 | 0.02 |
| 200 | 0.01 |
| 300 | 0.005 |
| 400 | 0.002 |
| 600 | 0.001 |

Tabla 33. Valores de Probabilidad P'_B, P'_C, P'_V y P'_W en relación a la corriente de falla Ia. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 38.

Cuando se implementan DPS's de conformidad con la IEC 62305-5, P'_B y P'_C pueden asumirse como P_{DPS} tabla 15.

4.5.1.2. Pérdida inaceptable del servicio público 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)

L'_B se calcula de igual forma que L_f. Literal 5.2.1.1.1.

4.5.2. Componente de riesgo (R'_C)

Componente relacionada a fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo.

$$R'_C = N_D * P'_C * L'_C \quad (4.58)$$

En donde

N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.

P'_C probabilidad de daño.

L'_C pérdida inaceptable del servicio público por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura.

4.5.2.1. Probabilidad de daño (P'_C)

La probabilidad P'_C que una descarga, que impacte a una estructura a la cual una acometida de servicio con conductores metálicos, pueda causar fallas en los aparatos conectados, está relacionada con la corriente de falla Ia.

La corriente de falla Ia depende de las características de la línea, del número de acometidas de servicio con que cuenta la estructura y de las medidas de protección adoptadas.

Para acometidas de servicio con conductores metálicos no apantallados puede asumirse $I_a = 0$.
 Para líneas apantalladas, la corriente de falla I_a en (kA) puede evaluarse como:

$$I_A = \frac{25 * n * U_W}{R_S * K_d * K_P} \quad (4.59)$$

En donde

- Kd factor que depende de las características de la línea. Literal 5.5.1.1.1.
- Kp factor de medida de protección adoptada. Literal 5.5.1.1.2.
- Uw tensión soportada al impulse tipo rayo en KV.
- Rs resistencia óhmica del apantallamiento del cable en Ω/km .
- n número de acometidas de servicio a la estructura.

NOTA DPSs instalados en el punto de entrada de la acometida de servicio a la estructura incrementa la corriente de falla I_a con un efecto positivo sobre el riesgo.

4.5.2.1.1. Tensión soportada al impulse tipo rayo (Uw)

| Tipo de Aparato | Uw [kV] |
|---|---------|
| Electrónico | 1.5 |
| Aparato eléctrico para usuario ($U_n \leq 1$ kV) | 2.5 |
| Aparato eléctrico para red ($U_n \leq 1$ kV) | 6 |

Tabla 34. Tensión disruptiva al impulso U_w en función del tipo equipo. Tomado de la norma NTC 4552-2 pág. 38.

El valor de P'_C se muestra en la Tabla 33.

4.5.2.2. Pérdida inaceptable del servicio público por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura (L'_C)

L'_C se calcula de igual forma que L_C . Literal 5.2.2.1

4.5.3. Componente de riesgo (R'_V)

Componente relacionada con daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos por la circulación de corriente de rayo.

$$R'_V = N_L * P'_V * L'_V \quad (4.60)$$

En donde

- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
- P'_V probabilidad de daño.
- L'_V pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la acometida de servicio

4.5.3.1. Probabilidad de daño (P'_V)

La probabilidad (P'_V) que una descarga en la acometida de servicio cause daños físicos a una estructura, están relacionadas con la corriente de falla I_a , La cual depende de las características de la línea y de las medidas de protección adoptadas.

Para acometidas de servicio con conductores metálicos no apantallados puede asumirse $I_a = 0$
 Para líneas apantalladas, la corriente de falla I_a en (kA) puede evaluarse como:

$$I_A = \frac{25 * U_W}{R_S * K_d * K_P} \quad (4.61)$$

En donde

- Kd factor que depende de las características de la línea. Literal 5.5.1.1.1.
- Kp factor de medida de protección adoptada. Literal 5.5.1.1.2.
- Uw tensión soportada al impulse tipo rayo en KV. Literal 5.5.1.1.3.
- Rs resistencia óhmica del apantallamiento del cable en Ω/km.

NOTA DPSs instalados en el punto de entrada de la acometida de servicio a la estructura incrementa la corriente de falla Ia con un efecto positivo sobre el riesgo.

Cuando se evalúa P'v para líneas de telecomunicaciones, el máximo valor de la corriente de falla Ia se asumen los siguientes valores:

- Ia = 40 kA para cables con apantallamiento de plomo;
- Ia = 20 kA para cables con apantallamiento en aluminio.

El valor de P'v se muestra en la Tabla 33.

4.5.3.2. Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la acometida de servicio (L'v)

L'v se calcula de igual forma que L'f. Literal 5.2.1.1.1.

4.5.4. Componente de riesgo (R'w)

Componente relacionada a las fallas de equipo conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo. Pérdidas del Tipo L2 y L4 pueden ocurrir.

$$R'_w = N_L * P'_w * L'_w \quad (4.62)$$

- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
- P'w probabilidad de daño
- L'w pérdida inaceptable del servicio público por fallas de equipo conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo.

4.5.4.1. Probabilidad de daño (P'w)

La probabilidad (P'w) que una descarga en la acometida de servicio cause fallas en los aparatos conectados a la misma, están relacionadas con la corriente de falla Ia, La cual depende de las características de la línea y de las medidas de protección adoptadas.

Para acometidas de servicio con conductores metálicos no apantallados puede asumirse Ia = 0

Para líneas apantalladas, la corriente de falla Ia en (kA) puede evaluarse como:

$$I_A = \frac{25 * U_W}{R_S * K_d * K_P} \quad (4.63)$$

En donde

- Kd factor que depende de las características de la línea. Literal 5.5.1.1.1.
- Kp factor de medida de protección adoptada. Literal 5.5.1.1.2.

U_w tensión soportada al impulse tipo rayo en KV. Literal 5.5.2.1.1.

R_s resistencia óhmica del apantallamiento del cable en Ω/km.

El valor de P'_w se muestra en la Tabla 33.

4.5.4.2. Pérdida inaceptable del servicio público por fallas de equipo conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo (L'_w)

L'_w se calcula de igual forma que L_C. Literal 5.2.2.1

4.5.5. Componente de riesgo (R'_Z)

Componente relacionada a la falla de líneas y equipos conectados causada por sobretensiones inducidas sobre la línea.

$$R'_Z = (N_I - N_L) * P'_Z * L'_Z \quad (4.64)$$

En donde

N_I promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio. Literal 5.1.8.1.

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. 5.1.5.1.

P'_Z probabilidad de daño.

L'_Z Pérdida inaceptable del servicio público por falla de líneas y equipos conectados causado por sobretensiones inducidas sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio.

4.5.5.1. Probabilidad de daño (P'_Z)

La probabilidad P'_Z que una descarga que impacte cerca a la acometida de servicio cause falla en los sistemas eléctricos o electrónicos, depende de las características de la línea y de las medidas de protección adoptadas.

Cuando no se implementan DPSs conforme a la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4 o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, el valor de P'_Z tomará el valor de P_{L1} tabla 24.

Cuando se implementan DPSs conforme a la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4 o los documentos normativos IEEE C62.41-1 e IEEE C62.41-2 o la normatividad UIT serie K, el valor de P'_Z es el menor entre P_{DPS} tabla 15 y P_{L1} tabla 24.

4.5.5.2. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de líneas y equipos conectados causado por sobretensiones inducidas sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio (L'_Z)

L'_Z se calcula de igual forma que L_C. Literal 5.2.2.1

4.6. Riesgo de pérdida de valor económico R'₄

R'₄ se puede calcular de la siguiente forma:

$$R'_4 = R'_B + R'_C + R'_V + R'_W + R'_Z \quad (4.65)$$

4.6.1. Componente de riesgo (R'_B)

Componente relacionada a daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo a través de la acometida de servicio. (Impacto en la estructura).

$$R'_B = N_D * P'_B * L'_B \quad (4.66)$$

En donde

- N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.
- P'_B probabilidad de daño. Literal 5.5.1.1.
- L'_B pérdidas económicas 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.

4.6.1.1. Pérdidas económicas 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)

L'_B se calcula de igual forma que L_f . Literal 5.4.2.1.1.

4.6.2. Componente de riesgo (R'_C)

Componente relacionada a fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo.

$$R'_C = N_D * P'_C * L'_C \quad (4.67)$$

En donde

- N_D promedio anual de descargas sobre la estructura. Literal 5.1.1.1.
- P'_C probabilidad de daño. Literal 5.5.2.1.
- L'_C pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura.

4.6.2.1. Pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura (L'_C)

L'_C se calcula de igual forma que L_C . Literal 5.4.3.1.

4.6.3. Componente de riesgo (R'_V)

Componente relacionada con daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos por la circulación de corriente de rayo.

$$R'_V = N_L * P'_V * L'_V \quad (4.68)$$

En donde

- N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
- P'_V probabilidad de daño. Literal 5.5.3.1.
- L'_V pérdidas económicas por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la acometida de servicio

4.6.3.1. Pérdidas económicas por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la acometida de servicio (L'_V)

L'_V se calcula de igual forma que L_f . Literal 5.4.2.1.1.

4.6.4. Componente de riesgo (R'_W)

Componente relacionada a las fallas de equipo conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo. Pérdidas del Tipo L2 y L4 pueden ocurrir.

$$R'_W = N_L * P'_W * L'_W \quad (4.69)$$

N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
 P'_w probabilidad de daño. 5.5.4.1.
 L'_w pérdida inaceptable del servicio público por fallas de equipo conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo.

4.6.4.1. Pérdidas económicas por fallas de equipo conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo (L'_w)

L'_w se calcula de igual forma que L_C . Literal 5.4.3.1.

4.6.5. Componente de riesgo (R'_z)

Componente relacionada a la falla de líneas y equipos conectados causada por sobretensiones inducidas sobre la línea.

$$R'_z = (N_I - N_L) * P'_z * L'_z \quad (4.70)$$

En donde

N_I promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio. Literal 5.1.8.1.
 N_L promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios. Literal 5.1.5.1.
 P'_z probabilidad de daño. Literal 5.5.5.1.
 L'_z pérdidas económicas por falla de líneas y equipos conectados causados por sobretensiones inducidas sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio.

4.6.5.1. Pérdidas económicas por falla de líneas y equipos conectados causados por sobretensiones inducidas sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio (L'_z)

L'_z se calcula de igual forma que L_C . Literal 5.4.3.1. [6]

5. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

En la actualidad, no existe en Colombia una aplicación para dispositivos Android que realice el análisis de riesgo ante una descarga atmosférica. Por esta razón, se creó la aplicación Android RIESGO NTC-4552, cuyo objetivo principal es realizar el análisis de riesgo, con base en los criterios dados en la norma colombiana NTC-4552. Este análisis según el artículo No 16 del RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) es de carácter obligatorio ya que determina el estado de protección de la estructura en estudio ante descargas atmosféricas.

El software con el cual se creó la aplicación Android fue APP INVENTOR, el cual es un entorno de desarrollo de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android, donde el usuario puede de forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se trabaja online. Las aplicaciones creadas con App Inventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil. Fue creado por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) y actualmente tomado por Google Labs.

5.1. Diseño

Al inicio del programa se encuentra una ventana introductoria en la cual se explica el alcance de la aplicación. A medida que se va avanzando en las diferentes ventanas de la aplicación es necesario que el usuario ingrese datos característicos de la estructura en estudio, tales como: dimensiones, medidas de protección y características de las acometidas de servicio. Finalmente, en la ventana de análisis de resultados, se muestran los valores obtenidos de cada tipo de riesgo y a partir de una comparación entre el riesgo tolerable y el obtenido en el análisis se puede determinar si se requiere un nivel mayor de protección. En la figura 3 se puede observar la distribución de los diferentes campos que conforman la estructura de la aplicación.

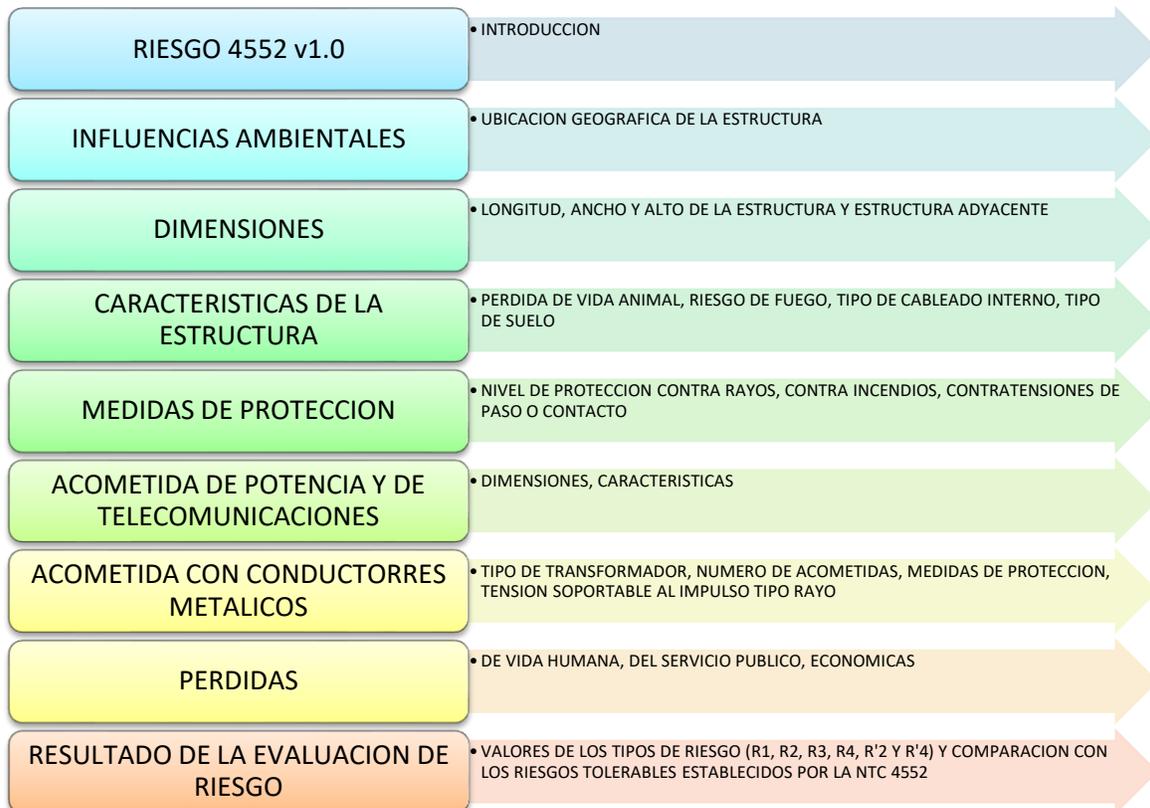


Figura 3. Estructura de la aplicación RIESGO 4552

A continuación, se presentan los diagramas de bloques de cada ventana del aplicativo, en los cuales se aprecian todos los campos que deben ser ingresados para realizar la evaluación del riesgo.

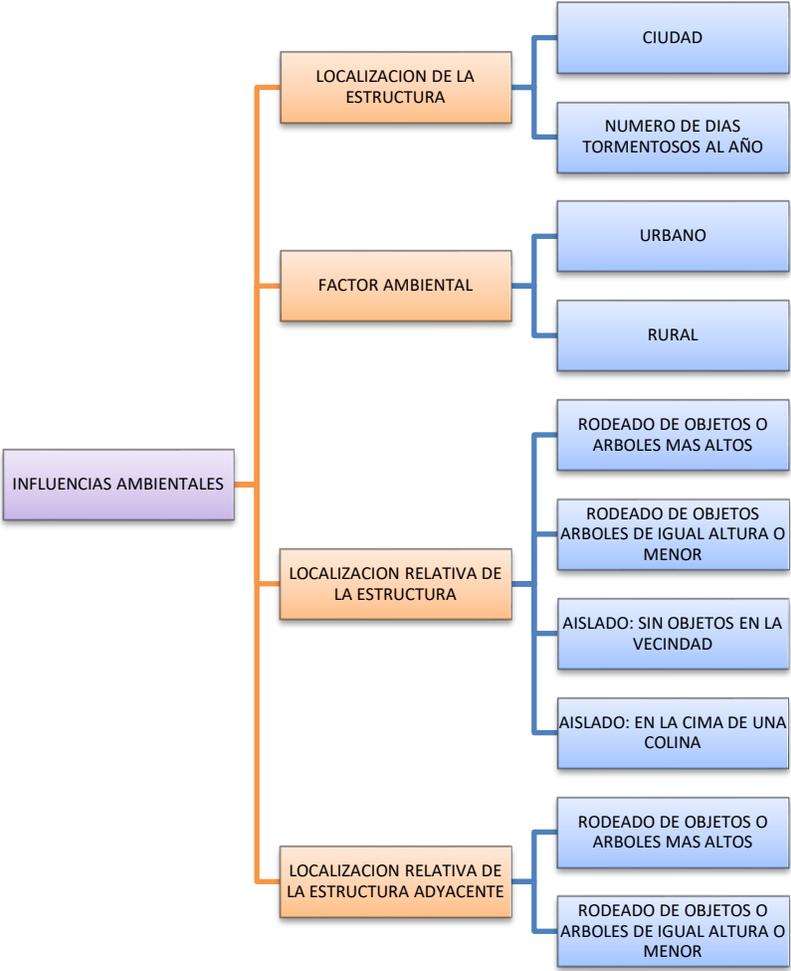


Figura 4. Diagrama de bloques de la ventana "Influencias ambientales"

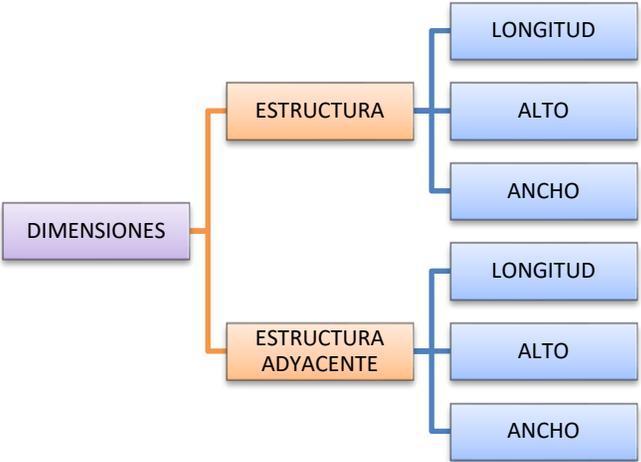


Figura 5. Diagrama de bloques de la ventana "Dimensiones"

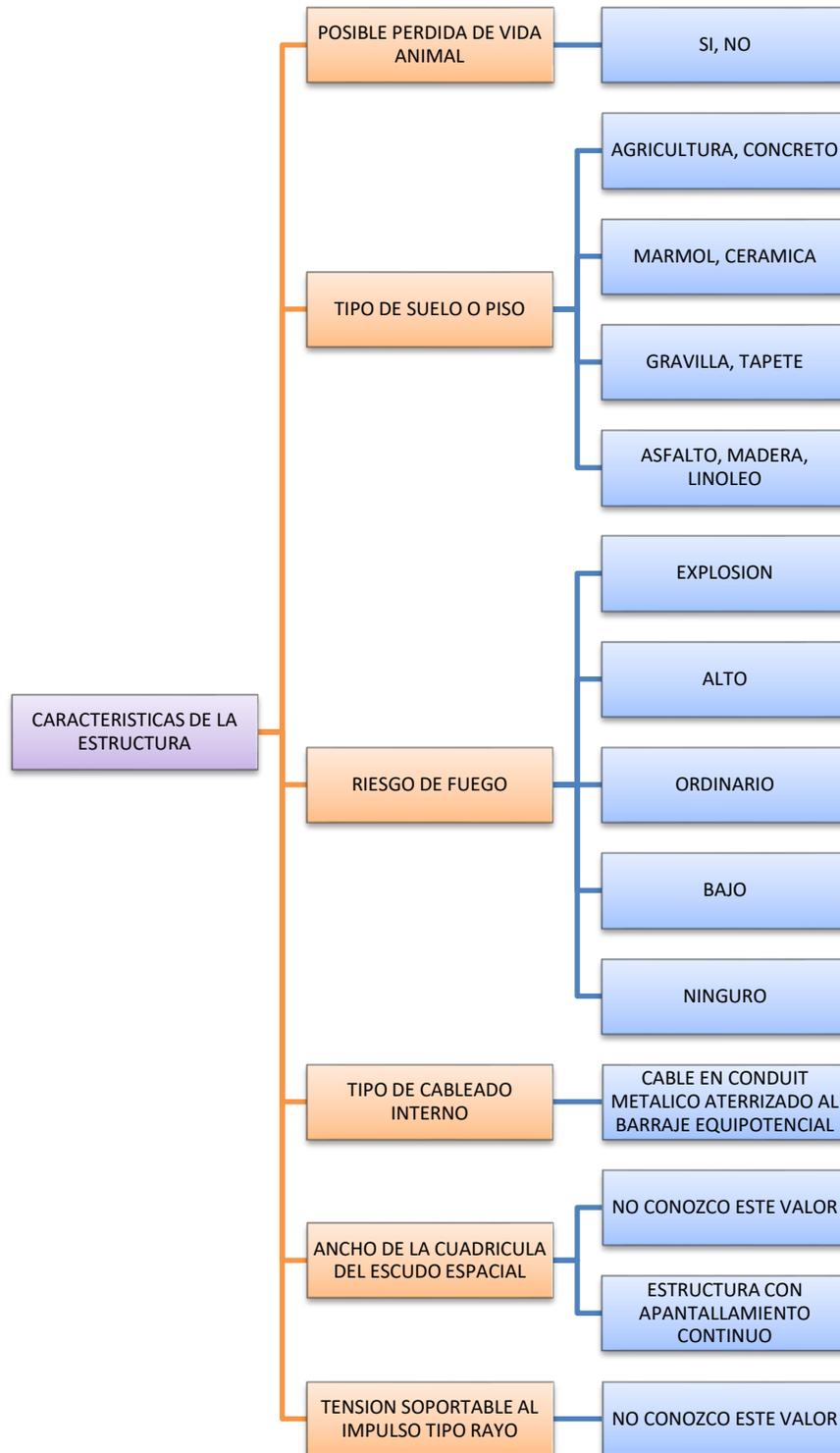


Figura 6. Diagrama de bloques de la ventana “características de la estructura”

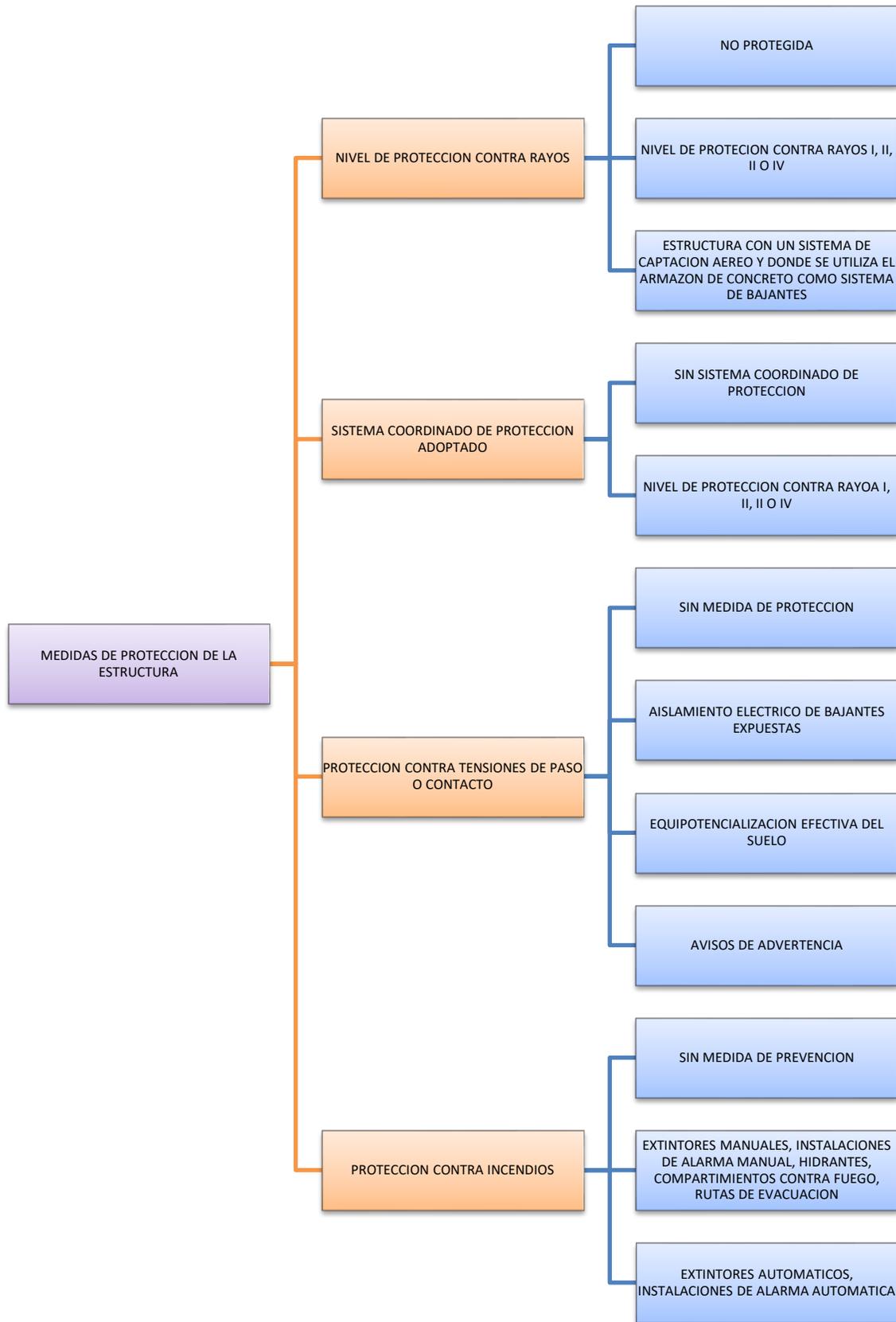


Figura 7. Diagrama de bloques de la ventana “Medidas de protección de la estructura”

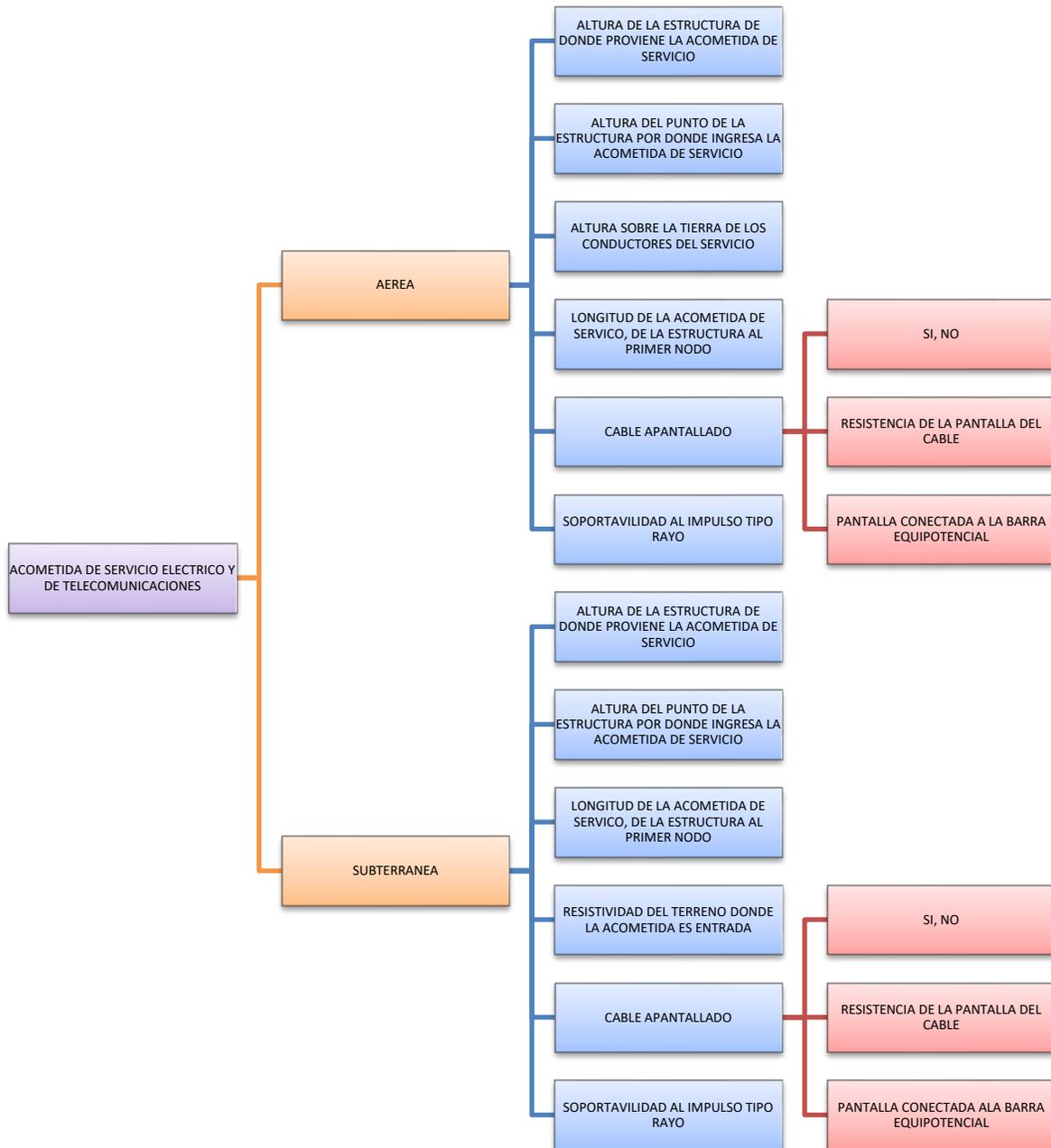


Figura 8. Diagrama de bloques de las ventanas “Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones”

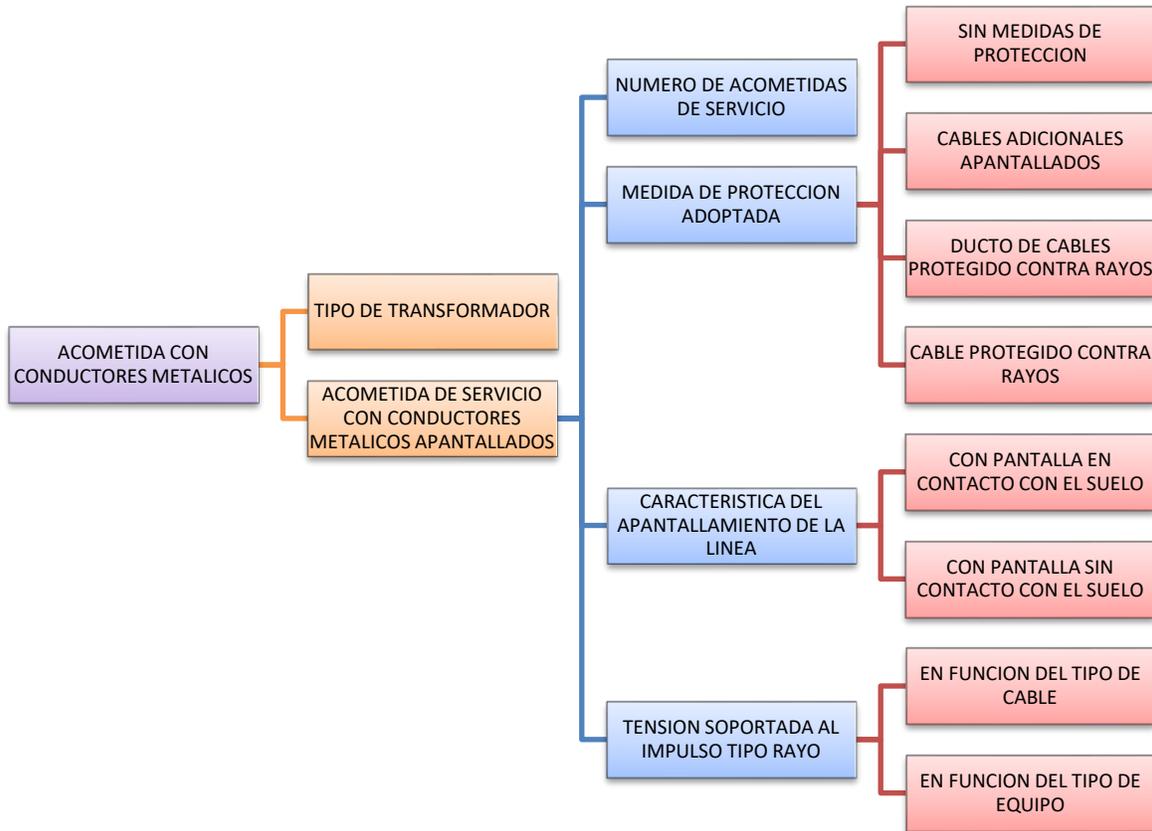


Figura 9. Diagrama de bloques de la ventana “Acometida con conductores metálicos”

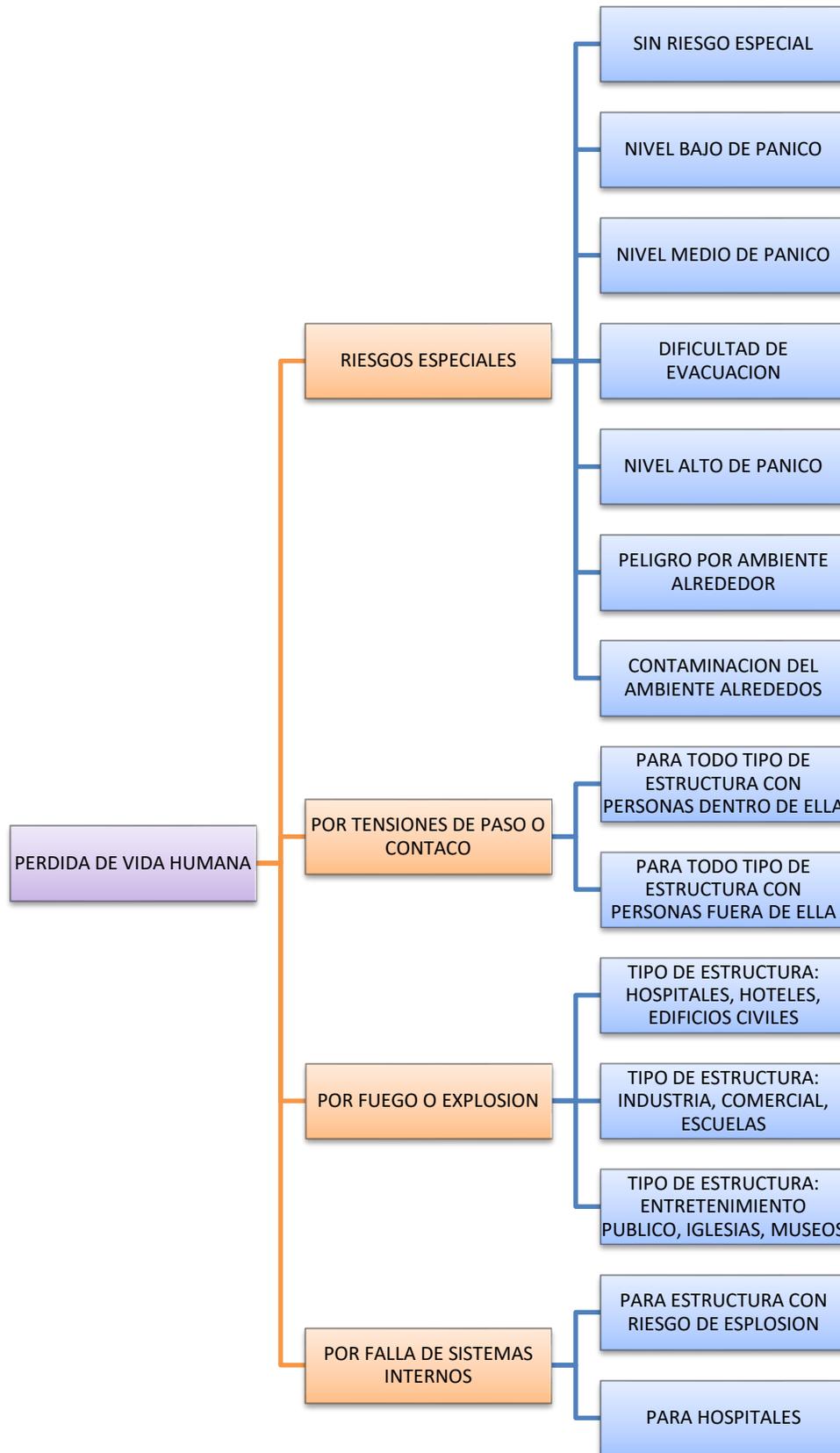


Figura 10. Diagrama de bloques de la ventana de perdidas “Perdida de vida humana”



Figura 11. Diagrama de bloques de la ventana de pérdidas “Pérdida del servicio público”

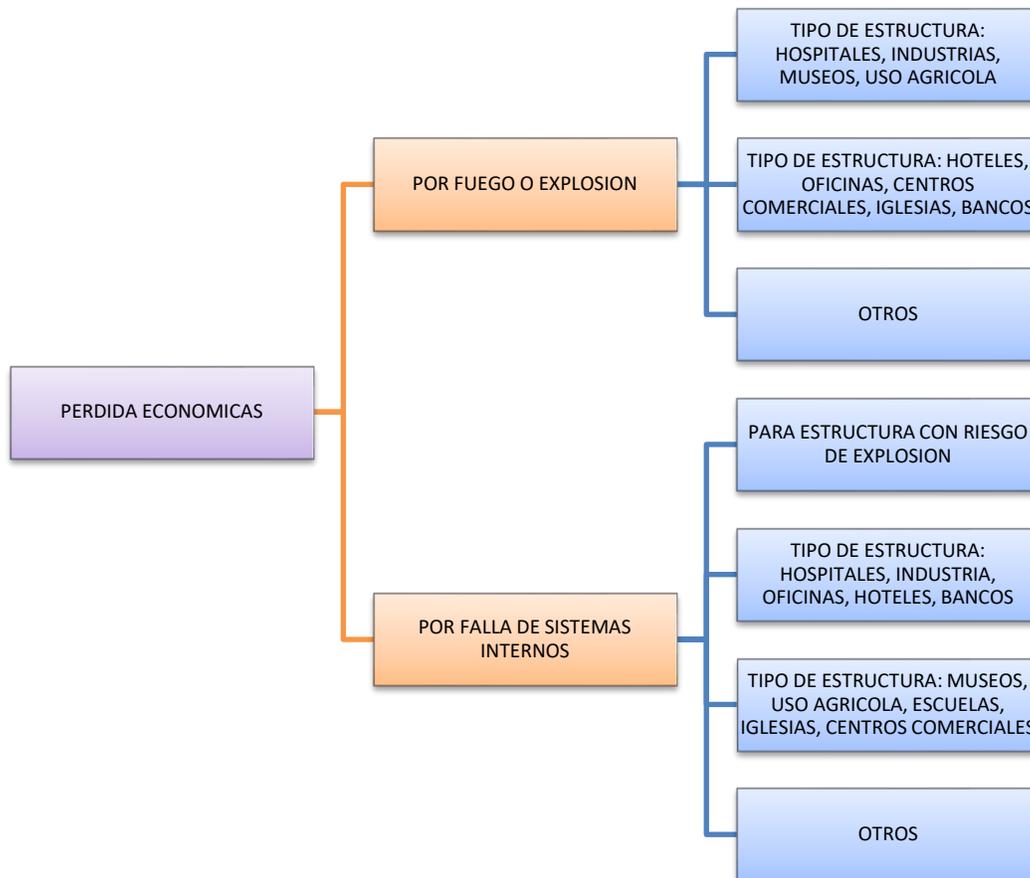


Figura 12. Diagrama de bloques de la ventana de pérdidas “Pérdidas económicas”

5.2. Parametrización

Para realizar la evaluación del riesgo según la norma NTC 4552-2 fue necesario definir los valores de algunas variables, los cuales se detallan a continuación:

- Se considera que para determinar el área efectiva de la estructura (A_d), se tomarán las dimensiones completas de la estructura (longitud, ancho y alto) y no parte de ella, en específico, como se observa en la norma y se aprecia en la figura 1. Así, el valor de la variable A_d/b será igual que A_d y de la misma forma, la variable C_d/b será igual que C_d .
- En la selección de la variable L_t (pérdida de vida humana debido a fuego o explosión dentro de la estructura y por tensión de contacto dentro de la estructura) para el tipo de pérdida L1 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 9 y

no por medio de la ecuación definida en el literal 5.1.1.3.2, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.

- En la selección de la variable Lf (perdida de vida humana debido a daños físicos causado por descargas directas en la estructura o en las acometidas de servicio) para el tipo de pérdida L1 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 14 y no por medio de la ecuación definida en el literal 5.1.2.2.4, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.
- En la selección de la variable Lo (perdida de vida humana debido a falla de sistemas internos causado por descargas directas en la estructura, próximas a la estructura, sobre las acometidas de servicio y cercanas a la acometida de servicio) para el tipo de pérdida L1 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 16 y no por medio de la ecuación definida en el literal 5.1.3.2, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.
- En la selección de la variable Lf (perdida inaceptable del servicio público debido a fuego o explosión causado por descargas directas en la estructura o en las acometidas de servicio y a efectos mecánicos o térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio) para el tipo de pérdida L2 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 25 y no por medio de la ecuación definida en el literal 5.2.1.1.1, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.
- En la selección de la variable Lo (perdida inaceptable del servicio público debido a falla de sistemas internos causado por descargas directas en la estructura, próximas a la estructura, sobre las acometidas de servicio, cercanas a la acometida de servicio y por falla de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo) para el tipo de pérdida L2 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 26 y no por medio de la ecuación definida en el literal 5.2.2.1, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.
- En la selección de la variable Lf (pérdida de valor cultural irremplazable debido a fuego o explosión causada por descargas directas en la estructura o en las acometidas de servicio) para el tipo de pérdida L3 se seleccionó el valor promedio establecido por la norma NTC 4552 de 0,1.
- En la selección de la variable Lt (perdidas económicas debido a fuego o explosión dentro de la estructura y por tensión de contacto dentro de la estructura) para el tipo de pérdida L4 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 27 y no por medio de la ecuación definida en el literal 5.4.1.1.1, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.
- En la selección de la variable Lf (perdidas económicas debido a daños físicos causado por descargas directas en la estructura o en las acometidas de servicio y a efectos mecánicos o térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio) para el tipo de pérdida L4 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 28 y no por medio de la ecuación definida en el literal 5.5.4.2.1.1, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.
- En la selección de la variable Lo (perdidas económicas debido a falla de sistemas internos causado por descargas directas en la estructura, próximas a la estructura, sobre las acometidas de servicio, cercanas a la acometida de servicio y por falla de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo) para el tipo de pérdida L4 se seleccionaron los valores promedio establecidos por la norma NTC 4552 consignados en la tabla 29 y no por medio de la ecuación definida en el literal 5.4.3.1, esto debido a que los valores de las variables que allí se definen son difíciles de conocer.

- Se considera que los DPS's conectados en la entrada de la acometida de servicio cumplen los requerimientos de equipotencialización establecidos en la NTC 4552-3, por lo tanto, el valor de PU y PV será el menor valor entre PDPS Tabla 15 y el valor PLD dado en la Tabla 21.
- Se considera que se implementan DPS's conforme a la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, por lo tanto, el valor P'Z será el menor valor entre PDPS tabla 15 Y PL1 tabla 24.

6. GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SEGÚN LA APLICACIÓN RIESGO 4552 v1.0

A continuación, se muestra un ejemplo, con el fin de explicar cómo se deben llenar los campos del aplicativo para obtener un resultado correcto del análisis de riesgo ante descargas atmosféricas. Dicho ejemplo fue tomado del trabajo de grado “ESTUDIO DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552 (2008) DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA)” (pág. 78), de la Universidad Industrial De Santander [3].

La evaluación de riesgo se realizó en un bloque de un hospital, el cual se encuentra conformado por dos bloques de iguales dimensiones. Las características de la estructura y de las acometidas son:

- Dimensiones de los bloques: Largo = 90 m. Ancho = 30 m. Alto = 15 m.
- Ubicación: Rodeado por objetos de la misma altura.
- DDT: 1 rayo/km² año.
- Resistividad del suelo 300 Ω m.
- Tipo de piso: cerámica.
- Riesgo de fuego: Cilindros y ductos de oxígeno.
- Protección contra fuego: Extintores, alarma y métodos convencionales.
- Tipo de transformador: Convencional.
- Acometida de energía y telecomunicaciones: subterránea.
- Ambiente: Urbano.
- Medidas de protección: Cumple con aislamiento, equipotencialización y avisos de advertencia.
- Ancho de la malla de puesta a tierra: 10 m.
- Apantallamiento: Aterrizado con impedancia de 5 Ω /m
- Sistema interno: tiene sistema coordinado de protecciones y DPSs que cumplen con la normatividad vigente.

Por ser un hospital se toman las mejores medidas de protección posibles. Se hace la evaluación con un nivel de protección 1, ya que de acuerdo con las características de la estructura las acometidas y el servicio prestado este es el nivel apropiado.

Para determinar el nivel de riesgo al cual se encuentra una estructura en estudio, es necesario diligenciar todos los campos que aparecen en la aplicación y que se detallan a continuación:

6.1. Influencias ambientales:

| | | |
|--|--|--|
| Ciudad: | <input type="button" value="Cambiar"/> | <input type="text" value="Barranquilla"/> |
| Factor ambiental | <input type="button" value="Cambiar"/> | <input type="text" value="Urbano con edificaciones entre 10 y 20 m de altura"/> |
| Localización relativa de la estructura | <input type="button" value="Cambiar"/> | <input type="text" value="Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor"/> |
| Localización relativa de la estructura adyacente | <input type="button" value="Cambiar"/> | <input type="text" value="Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor"/> |

Figura 13. Ventana “influencias ambientales” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 13 se observa la selección de cada campo para el ejemplo y en las figuras 14, 15, 16, 17 y 18 se muestran todas las opciones de cada campo.

| | | | | | |
|---------|--------------|--------------|-------------|-------------|---------------|
| Ciudad: | Seleccionar | Barranquilla | | | |
| | Barranquilla | Cartagena | Corozal | El Banco | Maqanque |
| | Monteria | Quibdo | Santa Marta | Tumaco | Turbo |
| | Valledupar | Riohacha | Armenia | Barranca | Boqota |
| | Bucaramanga | Cali | Cucuta | Girardot | Ibaque |
| | Ipiales | Manizales | Medellin | Neiva | Ocaña |
| | Pasto | Pereira | Popayan | Remedios | Villavicencio |
| | | Baore | Samana | Otra Ciudad | |

Figura 14. Lista de ciudades tomada de la norma NTC 4552-1 Pág. 37

En caso de seleccionar “Otra Ciudad” es necesario ingresar el numero de días tormentosos al año para calcular el DDT.

| | | | | |
|---------|---------|-------------|------------------------------------|---|
| Ciudad: | Cambiar | Otra Ciudad | Numero de días tormentosos al año: | ? |
|---------|---------|-------------|------------------------------------|---|

Figura 15. Otra ciudad, ingresar número de días tormentosos al año

| | | |
|------------------|-------------|--|
| Factor ambiental | Seleccionar | Urbano con edificaciones entre 10 y 20 m de altura |
| | | Urbano con edificaciones de más de 20 m de altura |
| | | Urbano con edificaciones entre 10 y 20 m de altura |
| | | Urbano con edificaciones menores a 10 m de altura |
| | | Rural |

Figura 16. Ubicación de la estructura en estudio

| | | |
|--|-------------|---|
| Localización relativa de la estructura | Seleccionar | Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor |
| | | Objeto rodeado de objetos o arboles más altos |
| | | Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor |
| | | Objeto aislado: sin objetos en la vecindad |
| | | Objeto aislado: en la cima de una colina o elevación |

Figura 17. Factor que influencia la presencia de otros objetos cerca de la estructura

| | | |
|--|-------------|---|
| Localización relativa de la estructura adyacente | Seleccionar | Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor |
| | | Objeto rodeado de objetos o arboles más altos |
| | | Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor |

Figura 18. Factor que influencia la presencia de otros objetos cerca de la estructura adyacente

En caso de haber seleccionado las opciones 3 o 4 de la figura 17 (Objeto aislado), se deshabilitará el campo de la figura 18 “Localización relativa de la estructura adyacente”.

6.2. Dimensiones:

| DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA | |
|--|----|
| Longitud de la estructura [m] | 90 |
| Ancho de la estructura [m] | 30 |
| Altura máxima de la estructura [m] | 15 |
| DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA ADYACENTE | |
| Longitud de la estructura adyacente [m] | 90 |
| Ancho de la estructura adyacente [m] | 30 |
| Altura máxima de la estructura adyacente [m] | 15 |

Figura 19. Ventana “Dimensiones de la estructura y estructura adyacente” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 19 se ingresan las dimensiones de la estructura y estructura adyacente, pero caso de haber seleccionado las opciones 3 o 4 de la figura 17 (Objeto aislado), se deshabilitarán los campos para ingresar las dimensiones de la estructura adyacente.

6.3. Características de la estructura:

| CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA | |
|--|--|
| Estructura en donde puede haber perdida de animales | <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO |
| Riesgo de fuego de la estructura | <input type="button" value="Cambiar"/> Alto |
| Tipo de cableado interno | <input type="button" value="Cambiar"/> Cable apantallado con resistencia de pantalla $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> Cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial | |
| Ancho de la cuadrícula del escudo espacial [m] | <input type="text" value="10"/> <input type="checkbox"/> No conozco este valor |
| <input type="checkbox"/> Estructura con apantallamiento continuo con un espesor entre 0.1 mm y 0.5 mm | |
| Menor valor de la tensión soportable al impulso tipo rayo en kV contenido en el sistema a proteger [kV] | <input type="text" value="1.5"/> <input type="checkbox"/> No conozco este valor |
| Característica del suelo o piso | <input type="button" value="Cambiar"/> Mármol, cerámica |

Figura 20. Ventana “Características de la estructura” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 20 se observa la selección de cada campo y datos ingresados para el ejemplo y en las figuras 21, 22 y 23 se observan todas las opciones de cada campo. En caso de seleccionar el recuadro “No conozco este valor” la aplicación asumirá un valor por defecto establecido por la norma NTC 4552.

| | |
|----------------------------------|---|
| Riesgo de fuego de la estructura | <input type="button" value="Seleccionar"/> Alto |
| | <input type="button" value="Explosión"/> |
| | <input type="button" value="Alto"/> |
| | <input type="button" value="Ordinario"/> |
| | <input type="button" value="Baio"/> |
| | <input type="button" value="Ninguno"/> |

Figura 21. Riesgo de fuego en la estructura

| | | |
|--------------------------|-------------|--|
| Tipo de cableado interno | Seleccionar | Cable apantallado con resistencia de pantalla $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$ |
| | | Cables sin pantalla – Sin precaución de evitar lazos en la ruta |
| | | Cables sin pantalla – Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta |
| | | Cables sin pantalla – Con precaución de evitar lazos en la ruta |
| | | Cable apantallado con resistencia de pantalla $5 < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$ |
| | | Cable apantallado con resistencia de pantalla $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$ |
| | | Cable apantallado con resistencia de pantalla $R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$ |

Figura 22. Tipo de cableado interno

| | | |
|---------------------------------|-------------|--------------------------|
| Característica del suelo o piso | Seleccionar | Mármol, cerámica |
| | | Agricultura, concreto |
| | | Mármol, cerámica |
| | | Gravilla, tapete |
| | | Asfalto, madera, linóleo |

Figura 23. Tipo de suelo en la estructura

6.4. Medidas de protección de la estructura:

| MEDIDAS DE PROTECCION DE LA ESTRUCTURA | | |
|--|---------|------------------------------------|
| Nivel de protección contra rayos | Cambiar | Nivel de protección contra rayos I |
| Sistema coordinado de protección adoptado | Cambiar | Nivel de protección contra rayos I |
| Protección contra tensiones de paso o contacto | Cambiar | |
| Protección contra incendios | Cambiar | |

Figura 24. Ventana “Medidas de protección de la estructura” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 24 se observa la selección para los dos primeros campos para el ejemplo y en las figuras 25 y 26 se observan las opciones de estos campos. En las figuras 27 y 28 se observan las opciones de los últimos dos campos de la figura 24 y las opciones seleccionadas para el ejemplo.

Nivel de protección contra rayos Nivel de protección contra rayos I

No protegida

Nivel de protección contra rayos IV

Nivel de protección contra rayos III

Nivel de protección contra rayos II

Nivel de protección contra rayos I

Estructura con un sistema de captación aéreo de acuerdo al nivel I y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes

Estructura con techo metálico o un sistema de captación aéreo con protección completa de cualquier instalación el techo contra impactos directos de rayo y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes

Figura 25. Nivel de protección contra rayos

Sistema coordinado de protección adoptado Nivel de protección contra rayos I

Sin sistema coordinado de protección

Nivel de protección contra rayos III-IV

Nivel de protección contra rayos II

Nivel de protección contra rayos I

Figura 26. Sistema coordinado de protección adoptado

Protección contra tensiones de paso o contacto

Sin medidas de protección

Aislamiento eléctrico de bajantes expuestas. (Ej. al menos 3 mm de polietileno)

Equipotencialización efectiva del suelo

Avisos de advertencia

Figura 27. Protección contra tensiones de paso o contacto, se pueden seleccionar más de una medida de protección

Protección contra incendios

| | |
|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Sin medida de prevención |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Una de las siguientes prevenciones: extintores manuales, instalaciones de alarma manual, hidrantes, compartimientos contra fuegos, rutas de evacuación |
| <input type="checkbox"/> | Una de las siguientes prevenciones: extintores automáticos, instalaciones de alarmas automática |

Figura 28. Protección contra incendios, se pueden seleccionar más de una medida de protección

6.5. Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones:

Tipo de acometida de servicio Aerea Subterránea

Altura de la estructura de donde proviene la acometida de servicio

Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio

Altura sobre la tierra de los conductores del servicio

Longitud de la acometida de servicio , de la estructura al primer nodo

Cable apantallado SI NO Pantalla conectada a la barra equipotencial SI NO

Resistencia de la pantalla del cable [Ω /km]

Soportabilidad al impulso tipo rayo [kV] 1.5 2.5 4 6

Otra acometida de servicio electrico instalada en la estructura

Figura 29. Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones aérea

Tipo de acometida de servicio Aerea Subterránea

Altura de la estructura de donde proviene la acometida de servicio

Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio

Longitud de la acometida de servicio , de la estructura al primer nodo

Resistividad del terreno donde la acometida es entrada

Cable apantallado SI NO Pantalla conectada a la barra equipotencial SI NO

Resistencia de la pantalla del cable [Ω /km]

Soportabilidad al impulso tipo rayo [kV] 1.5 2.5 4 6

Otra acometida de servicio electrico instalada en la estructura

Figura 30. Acometida de servicio eléctrico y de telecomunicaciones subterránea

En las figuras 29 y 30 se observan los datos que se deben ingresar para cada tipo de acometida, en caso de seleccionar “Otra acometida de servicio eléctrico o de telecomunicaciones instalada en la estructura” se

desplegaran otros campos idénticos a las figuras 29 y 30 para acometida aérea o subterránea respectivamente. Los campos “Longitud de la acometida de servicio, de la estructura al primer nodo”, “Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada” y “Resistencia de la pantalla del cable” inician con unos valores por defecto 1000, 500 y 20 respectivamente. Estos valores son los valores máximos que se pueden asumir en caso de no conocerlos. En las figuras 31 y 32 se observan los campos seleccionados y datos ingresados para el ejemplo.

| ACOMETIDA DE SERVICIO ELÉCTRICO | |
|--|--|
| Tipo de acometida de servicio | <input type="checkbox"/> Aerea <input checked="" type="checkbox"/> Subterránea |
| Altura de la estructura de donde proviene la acometida de servicio | 15 |
| Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio | 0 |
| Longitud de la acometida de servicio , de la estructura al primer nodo | 200 |
| Resistividad del terreno donde la acometida es entrada | 300 |
| Cable apantallado | <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO |
| Pantalla conectada a la barra equipotencial | <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO |
| Resistencia de la pantalla del cable [Ω/km] | 5 |
| Soportabilidad al impulso tipo rayo [kV] | <input checked="" type="checkbox"/> 1.5 <input type="checkbox"/> 2.5 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 |
| <input type="checkbox"/> Otra acometida de servicio electrico instalada en la estructura | |

Figura 31. Características de la acometida de servicio eléctrico

| ACOMETIDA DE SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES | |
|--|--|
| Tipo de acometida de servicio | <input type="checkbox"/> Aerea <input checked="" type="checkbox"/> Subterránea |
| Altura de la estructura de donde proviene la acometida de servicio | 15 |
| Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio | 0 |
| Longitud de la acometida de servicio , de la estructura al primer nodo | 150 |
| Resistividad del terreno donde la acometida es entrada | 300 |
| Cable apantallado | <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO |
| Pantalla conectada a la barra equipotencial | <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO |
| Resistencia de la pantalla del cable [Ω/km] | 5 |
| Soportabilidad al impulso tipo rayo [kV] | <input checked="" type="checkbox"/> 1.5 <input type="checkbox"/> 2.5 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 |
| <input type="checkbox"/> Otra acometida de telecomunicaciones | |

Figura 32. Características de la acometida de servicio de telecomunicaciones

6.6. Acometida de conductores metálicos:

| ACOMETIDA CON CONDUCTORES METALICOS | |
|--|---|
| Tipo de transformador | <input type="button" value="Cambiar"/> Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente |
| Acometidas de servicio con conductores metálicos apantallados | <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO |
| Número de acometidas de servicio con que cuenta la estructura | n= <input type="text" value="4"/> |
| Medida de protección adoptada | <input type="button" value="Cambiar"/> Cables adicionales apantallados – un conductor |
| Característica del apantallamiento de la línea | <input type="button" value="Cambiar"/> Con la pantalla en contacto con el suelo |
| Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo de cable [kV] | <input type="button" value="Cambiar"/> Cable de Telecomunicaciones – Aislado en papel |
| Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo equipo [kV] | <input type="button" value="Cambiar"/> Electrónico |

Figura 33. Ventana “Acometida con conductores metálicos” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 33 se observa la selección de cada campo y los datos ingresados para el ejemplo, en caso de seleccionar “NO” en el campo “Acometidas de servicio con conductores metálicos apantallados” se bloquearán los campos que le siguen. En las figuras 34, 35, 36, 37 y 38 se observan las opciones de cada campo.

| | |
|-----------------------|---|
| Tipo de transformador | <input type="button" value="Seleccionar"/> Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente |
| | <input type="button" value="Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente"/> <input type="button" value="Autotransformador"/> <input type="button" value="Sin transformador"/> |

Figura 34. Tipo de transformador

| | |
|-------------------------------|---|
| Medida de protección adoptada | <input type="button" value="Seleccionar"/> Cables adicionales apantallados – un conductor |
| | <input type="button" value="Sin medidas de protección"/> <input type="button" value="Cables adicionales apantallados – un conductor"/> <input type="button" value="Cables adicionales apantallados – un conductor"/> <input type="button" value="Ducto de cables protegido contra rayo"/> <input type="button" value="Cable protegido contra rayos"/> <input type="button" value="Cables adicionales apantallados – tubo de acero"/> |

Figura 35. Medida de protección adoptada

Característica del apantallamiento de la línea:

Característica del apantallamiento de la línea **Con la pantalla en contacto con el suelo**

Figura 36. Característica del apantallamiento de la línea

Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo de cable [kV] **Cable de Telecomunicaciones – Aislado en papel**

| Tipo de Cable | Un [kV] | Uw [kV] |
|--|---------|------------------------------------|
| Cable de Telecomunicaciones – Aislado en papel | - | <input type="button" value="1.5"/> |
| Cable de Telecomunicaciones – Aislado en PVC | - | <input type="button" value="5"/> |
| Potencia | <1 | <input type="button" value="15"/> |
| Potencia | 3 | <input type="button" value="45"/> |
| Potencia | 6 | <input type="button" value="60"/> |
| Potencia | 10 | <input type="button" value="75"/> |
| Potencia | 15 | <input type="button" value="95"/> |
| Potencia | 20 | <input type="button" value="125"/> |

Figura 37. Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo de cable

Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo equipo [kV] **Electrónico**

| Tipo de Aparato | Uw [kV] |
|---|------------------------------------|
| Electrónico | <input type="button" value="1.5"/> |
| Aparato eléctrico para usuario ($U_n \leq 1$ kV) | <input type="button" value="2.5"/> |
| Aparato eléctrico para red ($U_n \leq 1$ kV) | <input type="button" value="6"/> |

Figura 38. Tensión soportada al impulso tipo rayo en función del tipo de equipo

6.7. Pérdida de vida humana:

| PERDIDA DE VIDA HUMANA | | |
|----------------------------------|---------|---|
| Riesgos especiales | Cambiar | Nivel medio de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes entre 100 y 1 000 personas) |
| Por tensiones de paso o contacto | Cambiar | Para todo tipo de estructura con personas dentro de ella |
| Por fuego o explosión | Cambiar | Tipo de estructura: Hospitales, hoteles, edificios civiles |
| Por falla de sistemas internos | Cambiar | Para hospitales |

Figura 39. Ventana “Pérdida de vida humana” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 39 se observa la selección de los campos para el ejemplo (sección pérdida de vida humana) y en las figuras 40, 41, 42 y 43 se observan las opciones de cada campo.

| | | |
|---|-------------|---|
| Riesgos especiales | Seleccionar | Nivel medio de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes entre 100 y 1 000 personas) |
| Sin riesgo especial | | |
| Nivel bajo de pánico (Edificación de dos pisos con un número no mayor a 100 personas) | | |
| Nivel medio de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes entre 100 y 1 000 personas) | | |
| Dificultad de evacuación (edificación con personas inmobilizadas) | | |
| Nivel alto de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de | | |
| Peligro por ambiente alrededor | | |
| Contaminación del ambiente alrededor | | |

Figura 40. Pérdida de vida humana debido a: Riesgos especiales

| | | |
|--|-------------|--|
| Por tensiones de paso o contacto | Seleccionar | Para todo tipo de estructura con personas dentro de ella |
| Para todo tipo de estructura con personas dentro de ella | | |
| Para todo tipo de estructura con personas fuera de ella | | |

Figura 41. Pérdida de vida humana debido a: Tensiones de paso o contacto

| | | |
|---|-------------|--|
| Por fuego o explosión | Seleccionar | Tipo de estructura: Hospitales, hoteles, edificios civiles |
| Tipo de estructura: Hospitales, hoteles, edificios civiles | | |
| Tipo de estructura: Industrial, comercial, escuelas | | |
| Tipo de estructura: Entretenimiento público, Iglesias, museos | | |

Figura 42. Pérdida de vida humana debido a: fuego o explosión

| | | |
|--------------------------------|-------------|--|
| Por falla de sistemas internos | Seleccionar | Para hospitales |
| | | Para estructuras con riesgo de explosión |
| | | Para hospitales |

Figura 43. Pérdida de vida humana debido a: Falta de sistemas internos

6.8. Pérdida de servicio público:

| PERDIDA INACEPTABLE DEL SERVICIO PUBLICO | | |
|--|-------------|---------------------------------|
| Tipo de servicio | Seleccionar | TV, TLC, SUMINISTRO DE POTENCIA |
| | | GAS, ACUEDUCTO |
| | | TV, TLC, SUMINISTRO DE POTENCIA |

Figura 44. Ventana “Pérdida inaceptable del servicio público” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 44 se observa la selección del campo tipo de servicio para el ejemplo (sección pérdida de vida humana).

6.9. Pérdidas económicas:

| PERDIDAS ECONOMICAS | | |
|--------------------------------|---------|--|
| Por fuego o explosión | Cambiar | Hospitales, industrias, museos, uso agrícola |
| Por falla de sistemas internos | Cambiar | Hospitales, Industria, oficinas, hoteles, bancos |

Figura 45. Ventana “Pérdidas económicas” de la aplicación RIESGO 4552 v1.0

En la figura 45 se observa la selección de los campos para el ejemplo (sección pérdidas económicas) y en las figuras 46 y 47 se observan las opciones de cada campo.

| | | |
|-----------------------|-------------|--|
| Por fuego o explosión | Seleccionar | Hospitales, industrias, museos, uso agrícola |
| | | Hospitales, industrias, museos, uso agrícola |
| | | Hoteles, escuelas, oficinas, centros comerciales, Iglesias, bancos |
| | | otros |

Figura 46. Pérdidas económicas: Por fuego o explosión

Por falla de sistemas internos **Hospitales, Industria, oficinas, hoteles, bancos**

| |
|---|
| Riesgo de explosión |
| Hospitales, Industria, oficinas, hoteles, bancos |
| Museos, uso agrícola, escuelas, iglesias, centros comerciales |
| otros |

Figura 47. Perdidas económicas: Por falla de sistemas internos

6.10. Resultados de la evaluación del riesgo

| RIESGO 4552 v1.0 | | | |
|------------------|--------------|---------|---|
| R1 | 0.0000062651 | 0.00001 | <input type="button" value="Detalles"/> |
| R2 | 0.0000003154 | 0.001 | <input type="button" value="Detalles"/> |
| R3 | 0.0000012142 | 0.001 | <input type="button" value="Detalles"/> |
| R4 | 0.0000322953 | | <input type="button" value="Detalles"/> |
| R'2 | 0.0000476845 | 0.001 | <input type="button" value="Detalles"/> |
| R'4 | 0.0022098892 | | <input type="button" value="Detalles"/> |

Figura 48. Resultado de la evaluación de riesgo según aplicación RIESGO 4552.

En la figura 48 se puede observar el resultado de la evaluación de riesgo, en donde el valor obtenido de cada tipo de riesgo es resaltado con color verde o rojo, dependiendo si cumple o no con el riesgo tolerable establecido por la norma NTC 4552. Si todos los resultados están resaltados en verde (a excepción de R4 y R'4 que no tienen un valor de RT como referencia) quiere decir que la estructura no requiere protección contra descargas atmosféricas o la que tiene es capaz de proteger la estructura. En caso contrario de que algún resultado este resaltado en rojo (a excepción de R4 y R'4 que no tienen un valor de RT como referencia) es necesario tomar alguna medida de protección adicional y nuevamente realizar la evaluación del nivel de riesgo verificando que este riesgo disminuya lo suficiente para que sea menor que el riesgo tolerable.

En la figura 49 se observa el resultado obtenido de la evaluación del nivel de riesgo (para el ejemplo desarrollado anteriormente) según la aplicación desarrollada en MATLAB en el trabajo de grado “ESTUDIO DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 4552 (VERSIÓN 2008) DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA)” [3], y comparando estos resultados con los obtenidos en la figura 48, se puede observar que no hay diferencia, concluyendo así que todos los cálculos y procedimientos desarrollados en la aplicación RIESGO 4552 v1.0 son correctos.



Figura 49. Resultados de la evaluación de riesgo y sus componentes. Tomado del trabajo de grado ESTUDIO DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 4552 (VERSIÓN 2008) DEL SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA), pág. 82.

6.11. Ejemplo 2, análisis de riesgo en la Universidad de la Salle sede Candelaria

En el ejemplo que aparece a continuación se puede observar la comparación de los resultados obtenidos en el análisis del nivel de riesgo por medio de la aplicación RIESGO 4552 y del software Risk Assessment Calculator, aplicaciones desarrolladas según las normas NTC 4552 y IEC 62305 respectivamente. Los datos del ejemplo fueron tomados de “ESTUDIO TÉCNICO PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA”. [1], pág. 95.

| INFLUENCIAS AMBIENTALES | |
|--|---|
| Ciudad: | <input type="button" value="Cambiar"/> Bogota |
| Factor ambiental | <input type="button" value="Cambiar"/> Urbano con edificaciones de más de 20 m de altura |
| Localización relativa de la estructura | <input type="button" value="Cambiar"/> Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor |
| Localización relativa de la estructura adyacente | <input type="button" value="Cambiar"/> Objeto rodeado de objetos o arboles más altos |

Figura 50. Datos influencias ambientales para el ejemplo 2

De la figura 50 todos los datos son conocidos y suministrados por el ejemplo.

| DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA | |
|--|-----|
| Longitud de la estructura [m] | 190 |
| Ancho de la estructura [m] | 101 |
| Altura máxima de la estructura [m] | 27 |
| DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA ADYACENTE | |
| Longitud de la estructura adyacente [m] | 100 |
| Ancho de la estructura adyacente [m] | 100 |
| Altura máxima de la estructura adyacente [m] | 10 |

Figura 51. Dimensiones de la estructura y estructura adyacente para el ejemplo 2

Las dimensiones de la estructura adyacente fueron asumidas y los valores se basan en que la Universidad de la Salle está rodeada de viviendas (la de mayor altura se asume que tiene 4 pisos) y en conjunto forman una manzana de 100 m (visto desde Google Maps).

| CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA | |
|---|--|
| Estructura en donde puede haber pérdida de animales | <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO |
| Riesgo de fuego de la estructura | Cambiar Ordinario |
| Tipo de cableado interno | Cambiar Cables sin pantalla – Sin precaución de evitar lazos en la ruta |
| <input type="checkbox"/> Cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial | |
| Ancho de la cuadrícula del escudo espacial [m] | ? <input checked="" type="checkbox"/> No conozco este valor |
| <input type="checkbox"/> Estructura con apantallamiento continuo con un espesor entre 0.1 mm y 0.5 mm | |
| Menor valor de la tensión soportable al impulso tipo rayo en kV contenido en el sistema a proteger [kV] | ? <input checked="" type="checkbox"/> No conozco este valor |
| Característica del suelo o piso | Cambiar Mármol, cerámica |

Figura 52. Características de la estructura para el ejemplo 2

De la figura anterior se desconoce si el cableado interno está en conduit metálico o PVC, por lo tanto, se asume la peor condición para el análisis que es cableado interno en conduit PVC. También se desconocen los campos: ancho de la cuadrícula del escudo espacial, si la estructura tiene apantallamiento continuo y la tensión soportable al impulso tipo rayo.

| MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE LA ESTRUCTURA | |
|---|--|
| Nivel de protección contra rayos | <input type="button" value="Cambiar"/> Nivel de protección contra rayos II |
| Sistema coordinado de protección adoptado | <input type="button" value="Cambiar"/> Nivel de protección contra rayos II |
| Protección contra tensiones de paso o contacto | <input type="button" value="Cerrar"/> |
| <input type="checkbox"/> Sin medidas de protección <input type="checkbox"/> Aislamiento eléctrico de bajantes expuestas. (Ej. al menos 3 mm de polietileno) <input type="checkbox"/> Equipotencialización efectiva del suelo <input checked="" type="checkbox"/> Avisos de advertencia | |
| Protección contra incendios | <input type="button" value="Cerrar"/> |
| <input type="checkbox"/> Sin medida de prevención <input checked="" type="checkbox"/> Una de las siguientes prevenciones: extintores manuales, instalaciones de alarma manual, hidrantes, compartimientos contra fuegos, rutas de evacuación <input type="checkbox"/> Una de las siguientes prevenciones: extintores automáticos, instalaciones de alarmas automática | |

Figura 53. Medidas de protección de la estructura para el ejemplo 2

De la figura 53 se asumió para medidas de “protección contra tensiones de paso y contacto” la implementación de “avisos de advertencia”.

| ACOMETIDA DE SERVICIO ELÉCTRICO | |
|--|--|
| Tipo de acometida de servicio | <input type="checkbox"/> Aerea <input checked="" type="checkbox"/> Subterránea |
| Altura de la estructura de donde proviene la acometida de servicio | <input type="text" value="10"/> |
| Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio | <input type="text" value="0"/> |
| Longitud de la acometida de servicio, de la estructura al primer nodo | <input type="text" value="20"/> |
| Resistividad del terreno donde la acometida es entrada | <input type="text" value="500"/> |
| Cable apantallado | <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO |
| Soportabilidad al impulso tipo rayo [kV] | <input checked="" type="checkbox"/> 1.5 <input type="checkbox"/> 2.5 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 |
| <input type="checkbox"/> Otra acometida de servicio eléctrico instalada en la estructura | |

Figura 54. Acometida de potencia para el ejemplo 2

De la acometida de potencia se conoce que es subterránea y que no tiene apantallamiento, los demás datos se asumieron basándose en que la red de suministro eléctrico está apoyada en un poste de 12 metros de altura y está muy cerca de la estructura en estudio.

| ACOMETIDA DE SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES | |
|--|--|
| Tipo de acometida de servicio | <input checked="" type="checkbox"/> Aerea <input type="checkbox"/> Subterranea |
| Altura de la estructura de donde proviene la acometida de servicio | <input type="text" value="7"/> |
| Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio | <input type="text" value="5"/> |
| Altura sobre la tierra de los conductores del servicio | <input type="text" value="5"/> |
| Longitud de la acometida de servicio , de la estructura al primer nodo | <input type="text" value="20"/> |
| Cable apantallado | <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO |
| Soportabilidad al impulso tipo rayo [kV] | <input checked="" type="checkbox"/> 1.5 <input type="checkbox"/> 2.5 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 |
| | <input type="checkbox"/> Otra acometida de telecomunicaciones |

Figura 55. Acometida de telecomunicaciones para el ejemplo 2

De la acometida de telecomunicaciones se conoce que esta es aérea y que no tiene apantallamiento, los demás datos se asumieron basándose en que la red de telecomunicaciones está apoyada en un poste de 9 metros de altura y está muy cerca de la estructura en estudio.

| ACOMETIDA CON CONDUCTORES METALICOS | |
|---|---|
| Tipo de transformador | <input type="button" value="Cambiar"/> Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente |
| Acometidas de servicio con conductores metálicos apantallados | <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO |

Figura 56. Acometida con conductores metálicos para el ejemplo 2

| PERDIDA DE VIDA HUMANA | |
|--|--|
| Riesgos especiales | <input type="button" value="Cambiar"/> Nivel alto de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes superiores a 1 000 personas) |
| Por tensiones de paso o contacto | <input type="button" value="Cambiar"/> Para todo tipo de estructura con personas dentro de ella |
| Por fuego o explosión | <input type="button" value="Cambiar"/> Tipo de estructura: Industrial, comercial, escuelas |
| Por falla de sistemas internos | <input type="button" value="Cambiar"/> Para hospitales |
| PERDIDA INACEPTABLE DEL SERVICIO PUBLICO | |
| Tipo de servicio | <input type="button" value="Cambiar"/> TV, TLC, SUMINISTRO DE POTENCIA |
| PERDIDAS ECONOMICAS | |
| Por fuego o explosión | <input type="button" value="Cambiar"/> Hoteles, escuelas, oficinas, centros comerciales, Iglesias, bancos |
| Por falla de sistemas internos | <input type="button" value="Cambiar"/> Museos, uso agrícola, escuelas, iglesias, centros comerciales |

Figura 57. Tipos de pérdidas para el ejemplo 2

De las figuras 56 y 57 todos los datos son conocidos y suministrados por el ejemplo. En las figuras 58 y 59 se pueden observar los resultados de la evaluación de riesgo realizado en la Universidad de la Salle - sede Candelaria. Se puede observar que en los resultados obtenidos por medio de la aplicación RIESGO 4552 el riesgo R1 supera el riesgo tolerable, pero se debe tener en cuenta que algunos datos eran desconocidos, por lo

tanto, se asumieron las peores condiciones de protección. Cabe resaltar que el riesgo R1 supera el riesgo tolerable por muy poco, lo cual quiere decir, que mejorando algunas medidas de protección relacionadas con este tipo de riesgo o conociendo los datos que se omitían, este riesgo fácilmente puede ser menor que el tolerable. Finalmente se puede concluir que el resultado obtenido del análisis de riesgo por medio de las dos aplicaciones son muy diferentes, esto debido a que la norma NTC 4552 utiliza algunas ecuaciones y valores promedio que fueron adaptadas a las condiciones de nuestro país y son muy diferentes a los que se manejan en la norma IEC 62305.

| RIESGO 4552 v1.0 | | | |
|------------------|--------------|------------------|----------|
| RIESGO | VALOR | RIESGO TOLERABLE | |
| R1 | 0.0000124417 | 0.00001 | Detalles |
| R2 | 0.0000069977 | 0.001 | Detalles |
| R3 | 0.0000011109 | 0.001 | Detalles |
| R4 | 0.0000291051 | | Detalles |
| R'2 | 0.0004774192 | 0.001 | Detalles |
| R'4 | 0.0087237274 | | Detalles |

Figura 58. Resultado de la evaluación de riesgo según aplicación RIESGO 4552

| Calculated Risks: | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|----|-------------------------|---|---------------------------|---|---------------------|
| | Tolerable Risk (Rt) | => | Direct Strike Risk (Rd) | + | Indirect Strike Risk (Ri) | = | Calculated Risk (R) |
| Loss of Human Life: | 1.00E-05 | => | 5.48E-06 | + | 0.00E+00 | = | 5.48E-06 |
| Loss of Essential Services: | 1.00E-03 | => | 0.00E+00 | + | 0.00E+00 | = | 0.00E+00 |
| Loss of Cultural Heritage: | 1.00E-03 | => | 1.09E-06 | + | 0.00E+00 | = | 1.09E-06 |
| Economic Loss: | 1.00E-03 | => | 5.00E-05 | + | 3.18E-04 | = | 3.68E-04 |

Figura 59. Resultado de la evaluación de riesgo según Risk Assessment Calculator. Tomado del trabajo de grado ESTUDIO TÉCNICO PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA, pág. 95.

7. CONCLUSIONES

- La aplicación RIESGO 4552 v1.0 es un desarrollo de gran importancia para la ingeniería eléctrica, ya que facilita de gran manera el cálculo de la evaluación de riesgo ante descargas atmosféricas, pues solo llenando los campos de la aplicación con datos específicos de la estructura en estudio se puede evidenciar si esta cumple o no con el riesgo tolerable establecido por la norma NTC 4552, para de esta manera definir si es necesaria la implementación de un SIPRA.
- A lo largo del desarrollo de la aplicación se presentaron inconvenientes con la interpretación de la norma, pues no es del todo clara, lo que conlleva a que se cometan errores en el proceso del cálculo de las componentes de riesgo.
- App Inventor es un software muy útil para el desarrollo de aplicaciones simples, pero presenta algunos problemas cuando la aplicación a desarrollar es compleja, ya que se trabaja online y esto genera bloqueos o fallas mientras se está trabajando, lo cual hace un poco más dispendioso el trabajo.
- Una de las ventajas de trabajar en App Inventor es que se requieren conocimientos básicos de programación, para desarrollar una aplicación de características semi profesionales. Comparado con otros softwares dedicados al diseño de aplicaciones que utilizan un lenguaje de programación escrito.
- Comparando los resultados del ejemplo de la evaluación de riesgo obtenidos en la figura 48 con la figura 49 se evidencia que no existe diferencia alguna y por lo tanto se puede concluir que todos los cálculos y procedimientos desarrollados en la aplicación RIESGO 4552 v1.0 son correctos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CASTIBLANCO PARDO, Wilson Alberto. *Estudio técnico para el sistema de protección contra descargas atmosféricas*. Universidad de la Salle, sede Candelaria. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería eléctrica; área de modernización de sistemas de distribución o uso final. Bogotá, Colombia. 2011
- [2] RENDÓN ARENAS, José Hernán. *Estudio sistema de protección contra rayos SIPRA (incluye equipotencialización de redes eléctricas)*. Programa de ingeniería telemática. Universidad Católica de Manizales. Manizales, Colombia. 2015.
- [3] VILLA JIMENEZ, Néstor José - GUARIN GUERRERO, Ángel Eusebio. *Estudio de la norma técnica colombiana 4552 (versión 2008) del sistema integral de protección contra rayos (SIPRA)*. -. Universidad Industrial de Santander. Facultad de físico mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica electrónica y de telecomunicaciones. Bucaramanga, Colombia. 2010.
- [4] A. Sarmiento- H.Torres-C. Younes. *Risk assessment software using lightning parameters in tropical zone (26th-30th November 2007 – Foz do Iguacu, Brazil)*. IX International Symposium on Lightning Protection 26th-30th November 2007 – Foz do Iguacu, Brazil. Research group PAAS-UN, National University of Colombia. MSc Student, Department of Electrical and Electronic Engineering. Cra. 50 No. 27-70 B5 Of. 501, Bogotá- Colombia.
- [5] MERELLES, Manuel. *Peligro latente, descargas atmosféricas*. Constructor eléctrico. Diciembre 11, 2014. En: <https://constructorelectrico.com/peligro-latente-descargas-atmosfericas/>
- [6] *Parámetros característicos de las descargas atmosféricas*. En: https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_contra_descargas_atmosfericas/6/6.htm
- [7] TORRES-SÁNCHEZ, Horacio. *Capítulo 6: Normas técnicas sobre protección contra rayos y sus aplicaciones*. Universidad Nacional. Bogotá, Colombia. En: http://www.bdigital.unal.edu.co/43069/24/9587012135_Parte%204.pdf
- [8] ELÉCTRICA APLICADA. *Diseño sistema de apantallamiento y protección contra rayos*. En: <https://www.electricaplicada.com/diseño-sistema-de-apantallamiento-y-proteccion-contra-rayos/>
- [9] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 4552-3. *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos)*. Parte 3: daños físicos a estructuras y amenazas a la vida. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá, D.C. Colombia. Diciembre de 2008.
- [10] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 4552-2. *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos)*. parte 2: manejo del riesgo. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá, D.C. Colombia. Diciembre de 2008.