



**TITULO: ANÁLISIS DE RIESGO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LOS EDIFICIOS A3, A4 Y A5 DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**



**MONOGRAFÍA PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRICISTA**

**TÍTULO: ANÁLISIS DE RIESGO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LOS  
EDIFICIOS A3, A4 Y A5 DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**AUTORES**

**DELANOYS SILGADO ROSTERLING  
SJOGREEN ESCORCIA ROBERT DOUGLAS**

**DIRECTOR**

**Prof. SALOMÓN ZARUR**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARTAGENA**

Cartagena de indias D. T. y C.

Señores:

COMITÉ CURRICULAR

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad

Tengo el agrado de presentar para su estudio y aprobación la monografía titulada **“ANÁLISIS DE RIESGO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LOS EDIFICIOS A3, A4 Y A5 DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR”** desarrollada por los estudiantes ROSTERLING DELANOYS SILGADO Y ROBERT DOUGLAS SJOGREEN ESCORCIA, presentada formalmente al comité de evaluación.

Atentamente,

---

Rosterling Delanoys Silgado

CC.1'047.412.122

---

Robert D. Sjogreen Escorcía

CC. 73.207.998

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

Yo Rosterling Delanoys Silgado agradezco a:

A Dios creador del universo y dueño de mi vida, A mis padres, Rosalía Silgado y Rosterling Delanoys por el apoyo que me dieron a lo largo de la carrera. A mi abuelo Luis Enrique Delanoys, quien me enseñó el valor de la responsabilidad y a ser constante en la consecución de mis metas. A mi compañero Robert Sjogreen quien fue apoyo incondicional en la realización de este documento, a los profesores Salomón Zarur quien nos colaboró en el desarrollo de este documento y a Enrique Venegas Casadiego quien fue nos apoyo en este proceso académico. Y a mis hermanos y hermanas por quien me he esmerado para ser un buen ejemplo y tomen un camino de bien en su vida.

Yo Robert D. Sjogreen Escorcía agradezco a:

Principalmente a Dios a mi familia quien con su perseverancia y esfuerzo me han dado el impulso para continuar con mi carrera, A los profesores Salomón Zarur quien nos colaboro en el desarrollo de este documento y a Enrique Venegas Casadiego quien fue nos apoyo en este proceso académico.

## CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN.....	21
1. ANÁLISIS DE RIESGO.....	23
1.1. INTRODUCCIÓN .....	23
1.2. RIESGO TOLERABLE. ....	24
1.3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA (DDT).....	24
1.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO Y MEDIDAS CORRECTIVAS. ....	26
1.5. COMPONENTES DE RIESGO PARA LOS EDIFICIOS DE AULAS A3, A4 Y A5 DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR. ....	28
2. VALORACIÓN DE LAS COMPONENTES DEL RIESGO CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS. ....	29
2.1. EVALUACIÓN DEL PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS SOBRE ESTRUCTURAS ADYACENTES ( <b><i>N<sub>Dα</sub></i></b> ).....	30
2.2. EVALUACIÓN DEL NÚMERO PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS CERCANAS A LA ESTRUCTURA ( <b><i>N<sub>M</sub></i></b> ).....	31
2.3. EVALUACIÓN DEL NÚMERO PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS SOBRE LAS ACOMETIDAS DESERVICIOS ( <b><i>N<sub>L</sub></i></b> ).....	32
2.4. EVALUACIÓN DEL NÚMERO PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS CERCANAS A LAS ACOMETIDAS DESERVICIO ( <b><i>N<sub>I</sub></i></b> ) .....	34
3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA. ....	36
3.1. MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD .....	36
3.2. MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA.....	40

3.2.1.	Areas efectivas $A_d, A_d/a, A_d/b, A_m$ .....	41
3.2.2.	Área efectiva de la estructura $A_d$ y $A_d/b$ .....	41
4.	EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO $P_X$ .....	43
4.1.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_A$ .....	43
4.2.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_B$ .....	44
4.3.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_C$ .....	44
4.4.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_M$ .....	45
4.5.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_U$ .....	47
4.6.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_v$ .....	48
4.7.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_w$ .....	48
4.8.	PROBABILIDAD DE DAÑO $P_z$ .....	49
5.	EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE PÉRDIDAS .....	51
5.1.	PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS ( $L_1$ ).....	51
5.1.1.	Pérdida de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura ( $L_A$ ) .....	52
5.1.2.	Pérdida de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura ( $L_B$ ).....	53
5.1.3.	Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura ( $L_U$ ) .....	55
5.1.4.	Pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometida de servicios ( $L_V$ ).....	55
5.1.5.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura ( $L_C$ ).....	56

5.1.6.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura ( $L_M$ ) .....	56
5.1.7.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $L_W$ ) .....	57
5.1.8.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $L_Z$ ) .....	57
5.2.	PÉRDIDA INACEPTABLE DEL SERVICIO PÚBLICO ( $L_2$ ) .....	58
5.2.1.	Pérdida inaceptable del Servicio Público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura ( $L_B$ ) .....	58
5.2.2.	Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos a causa de descarga sobre las acometidas de servicios ( $L_V$ ) .....	59
5.2.3.	Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura ( $L_C$ ) .....	59
5.2.4.	Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura ( $L_M$ ) .....	60
5.2.5.	Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $L_W$ ) .....	60
5.2.6.	Pérdida inaceptable del servicio público por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $L_Z$ ) .....	61
6.	ANÁLISIS DE RIESGO SOBRE LA ESTRUCTURA A PROTEGER .....	61
6.1.	PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....	62
6.1.1.	Promedio anual de descargas estructura ( $N_d$ ) .....	62
6.1.2.	Promedio anual de descargas en la estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia ( $N_d/a1$ ) .....	63

6.1.3.	Promedio anual de descargas en la estructura adyacente de donde proviene la acometida de comunicaciones ( $Nd/a2$ ).....	63
6.1.4.	Promedio anual de descargas cercanas a la estructura ( $NM$ ).....	64
6.1.5.	Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia ( $NL1$ ) .....	65
6.1.6.	Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de comunicaciones ( $NL2$ ).....	66
6.1.7.	Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de potencia ( $Ni1$ )	67
6.1.8.	Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de comunicaciones ( $Ni2$ ) .....	68
6.2.	<b>VALORACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO <math>PX</math></b> .....	69
6.2.1.	Probabilidad $P_A$ de lesiones a seres vivos causadas por tensiones de paso o de contacto. ....	69
6.2.2.	Probabilidad $P_B$ De Daño A La Estructura Por Descargas Directas.....	69
6.2.3.	Probabilidad de daño de sistemas internos por impacto directo a la estructura ( $PC$ ).....	70
6.2.4.	Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura ( $PM$ ).....	70
6.2.5.	Probabilidad de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de toque o paso por descargas sobre las acometidas de servicio ( $PU$ ) .....	71
6.2.6.	Probabilidad de daños físicos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios ( $PV$ ).....	72
6.2.7.	Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios ( $PW$ ) .....	72

6.2.8.	Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios ( <i>PZ</i> ).....	72
7.	PERDIDAS .....	74
7.1.	PERDIDA DE VIDAS HUMANAS $L_1$ .....	74
7.1.1.	Pérdida de vidas humanas por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura ( <i>LA</i> ).....	74
7.1.2.	Pérdida de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre la estructura ( <i>LB</i> ).....	75
7.1.3.	Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura ( <i>LU</i> ) .....	75
7.1.4.	Pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometidas de servicios.....	76
7.1.5.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura. ( <i>LC1</i> ).....	76
7.1.6.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura.....	77
7.1.7.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( <i>LW1</i> ).....	77
7.1.8.	Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio. ....	78
7.2.	PÉRDIDA INACEPTABLE DEL SERVICIO PÚBLICO $L_2$ .....	78
7.2.1.	Pérdida inaceptable del servicio público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura ( <i>LB2</i> ).....	78
7.2.2.	Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos a causa de descarga sobre las acometidas de servicios ( <i>LV2</i> ) .....	79

7.2.3.	Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura ( <i>LC2</i> ) .....	79
7.2.4.	Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura ( <i>LM2</i> ).....	80
7.2.5.	Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( <i>LW2</i> ).....	80
7.2.6.	Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( <i>LZ2</i> ) .....	81
8.	EVALUACIÓN DEL RIESGO .....	82
8.1.	COMPONENTES DE RIESGO .....	82
8.2.	DESCARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA $S_1$ .....	83
8.2.1.	Descarga sobre la estructura $S_1$ con respecto al daño $D_1$ (con la para pérdidas de vidas humanas) ( <i>RA</i> ) .....	83
8.2.2.	Descarga sobre la estructura $s_1$ con respecto al daño $d_2$ (con $l_b$ para pérdidas de vidas humanas) ( <i>RB1</i> ).....	83
8.2.3.	Descarga sobre la estructura $s_1$ con respecto al daño $d_2$ (con $l_b$ para pérdidas inaceptables del servicio público) ( <i>RB1</i> ) .....	83
8.2.4.	Descarga sobre la estructura $S_1$ con respecto al daño $D_3$ (con $L_c$ para pérdidas de vidas humanas) ( <i>RC1</i> ).....	84
8.2.5.	Descarga sobre la estructura $S_1$ con respecto al daño $D_3$ (con $L_c$ para pérdidas inaceptables del servicio público) ( <i>RC2</i> ) .....	84
8.3.	DESCARGAS CERCANAS A LA ESTRUCTURA $S_2$ .....	85
8.3.1.	Descarga cercanas a la estructura $S_2$ con respecto al daño $D_3$ (con $l_m$ para pérdidas de vidas humanas) ( <i>RM1</i> ).....	85

8.3.2.	Descarga cercanas a la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Lm para pérdidas inaceptables del servicio público) ( <i>RM2</i> ) .....	85
8.4.	DESCARGAS SOBRE LAS ACOMETIDAS DE SERVICIOS S3 .....	86
8.4.1.	Descarga sobre acometida de servicio S3 con respecto al daño D1 – potencia ( <i>RU1</i> )	86
8.4.2.	Descarga sobre acometida de servicio s3 con respecto al daño d1 – comunicaciones ( <i>RU2</i> ).....	86
8.4.3.	Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con Lw1 para pérdidas de vidas humanas) ( <i>RW1</i> ) .....	87
8.4.4.	Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros s3 con respecto al daño d3 (con lw2 para pérdidas inaceptables del servicio público) ( <i>RW2</i> )	88
8.5.	DESCARGAS CERCANAS A LAS ACOMETIDAS DE SERVICIOS S4 .....	89
8.5.1.	Descarga cercanas a las acometidas de potencia, comunicaciones y otros S4 con respecto al daño D3 (con Lz1 para pérdidas de vidas humanas) ( <i>RZ1</i> ) .....	89
8.5.2.	Descarga cercanas a las acometidas de potencia, comunicaciones y otros s4 con respecto al daño d3 (con lz2 para pérdidas inaceptables del servicio público) ( <i>RZ2</i> )	90
8.6.	RIESGOS .....	91
8.6.1.	Riesgo de pérdida de vidas humanas ( <i>R1</i> ).....	91
8.6.2.	Riesgo de pérdida de servicios ( <i>R2</i> ).....	92
8.6.3.	Riesgo de pérdidas de valor económico ( <i>R4</i> ) .....	93
8.7.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	93
9.	CONCLUSIONES .....	95
10.	RECOMENDACIONES.....	97

11. REFERENCIAS..... 98

## ÍNDICE DE FIGURAS.

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Mapa con nivel ceraunico de Colombia .....	26
Figura 2. Metodología para la determinación del nivel de riesgo .....	27
Figura 3. Definición de aéreas.....	31
Figura 4. Diagrama de conexión de los electrodos del teluometro. ....	37
Figura 5. Vista área de la estructura donde se pueden observar los puntos de medición .	38
Figura 6. Imagen de la estructura de estudio. ....	41

## ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Valores típicos de riesgo tolerable. ....	24
Tabla 2. Valores Típicos de densidad de descargas a tierra DDT.....	25
Tabla 3. Componentes del riesgo para los edificios de Aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR. ....	28
Tabla 4. Factor de localización .....	30
Tabla 5. Factor de Corrección por presencia de transformador.....	31
Tabla 6. Áreas Efectivas $A_I$ y $A_i$ dependiendo de las características del servicio. ....	33
Tabla 7. Factor ambiental $C_e$ . ....	35
Tabla 8. Mediciones realizadas con Teluometro GEO 416.....	39
Tabla 9. Dimensiones de la estructura.....	40
Tabla 10. Valores de $P_A$ .....	43
Tabla 11. Valores de $P_B$ .....	44
Tabla 12. Valores de $P_{DPS}$ .....	45
Tabla 13. Valores de $K_{S3}$ .....	46
Tabla 14. Valores de $P_{MS}$ en función de $K_{MS}$ .....	46
Tabla 15. 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 .....	48
Tabla 16. 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 $R_S$ .....	49
Tabla 17. Valores promedio típicos de $L_t$ , $L_f$ y $L_o$ para $L_1$ .....	52
Tabla 18. Valores de factores de reducción $r_a$ y $r_u$ en función del tipo suelo o piso.....	53
Tabla 19. Valores de factores de reducción $r_p$ en función de las medidas de prevención para reducir las consecuencias de fuego .....	54
Tabla 20. Valores de factor de reducción $r_f$ en función del riesgo de fuego de la estructura .....	54

Tabla 21. Valores de factor de incremento $h_z$ en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro .....	54
Tabla 22. Valores medios típicos de $L_f$ y $L_o$ para $L_2$ .....	58
Tabla 23. Componentes del Riesgo .....	82
Tabla 24. Comparación de riesgos calculados con riesgos tolerables dados por la NTC4552-2 .....	93

## GLOSARIO.

**Ambiente urbano.** Área con alta densidad de edificios o con comunidades densamente pobladas y edificios altos.

**Ambiente suburbano.** Área con densidad media de edificios.

**Ambiente rural.** Área con baja densidad de edificios.

**Tensión nominal soportable al impulso tipo rayo (Uw).** Es la capacidad del aislamiento de un dispositivo o equipo ante un impulso de tensión, la cual es definida por el fabricante en unidades de tensión.

**Sistema eléctrico.** Para esta norma es un sistema que incorpora alimentación y elementos de baja tensión así como componentes electrónicos.

**Sistema electrónico.** Para esta norma es un sistema compuesto de componentes electrónicos sensibles tales como equipos de comunicación, computadores, sistemas de control e instrumentación, sistemas de radio, instalaciones electrónicas de potencia.

**Sistema interno.** Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de una estructura.

**Acometida de servicio.** Derivación de la red local de un servicio domiciliario que ingresa a la estructura a ser protegida.

**Líneas de telecomunicaciones.** Medio de transmisión para comunicación entre equipos que pueden estar localizados en estructuras separadas tales como líneas telefónicas y de datos.

**Acometida eléctrica.** Para esta norma se considera como la derivación de una red local del servicio de energía eléctrica, que entra a la estructura y alimenta a los sistemas eléctricos y electrónicos localizados allí.

**Tubería.** Ducto metálico que transporta un fluido dentro o fuera de la estructura tales como tuberías de agua, gas, petróleo, combustibles.

**Eventos peligrosos.** Un impacto de rayo sobre el objeto a proteger o cercano al mismo.

**Impacto directo de rayo.** Rayo sobre un objeto a proteger.

**Impacto indirecto de rayo.** Rayo que impacta lo suficientemente cerca a un objeto a ser protegido, tal que puede causar sobretensiones peligrosas.

**Número de impactos directos de rayos a una estructura (ND).** Número anual de rayos esperados sobre la estructura.

**Número de impactos directos de rayos a una acometida (NL).** Número anual de rayos esperados que impactan sobre una acometida.

**Número de impactos de rayos cerca a una estructura (NM).** Número anual de rayos esperados cerca a una estructura.

**Número de impactos de rayos cerca de una acometida (NI).** Número anual de rayos esperados cerca de una acometida.

**Impulso electromagnético del rayo IER (LEMP).** Campo electromagnético generado por la corriente de rayo.

**Transitorio.** Cambio en las condiciones de energía de un sistema entre dos estados estables, de corta duración comparado con la escala de tiempo de interés, que se manifiesta como sobretensión o sobrecorriente..

**Sobretensión.** Tensión anormal entre dos puntos del sistema eléctrico, que es mayor que el valor máximo presentado entre los mismos dos puntos bajo condiciones de servicio normal.

**Daño físico.** Daño a la estructura o al contenido de la misma debido a efectos mecánicos, térmicos, químicos y explosivos del rayo.

**Lesiones a seres vivos.** Perdidas de facultades físicas, biológicas, psíquicas, incluida la vida, de personas o animales debido a tensiones de paso o de contacto causados por el rayo.

**Falla de sistemas eléctricos y electrónicos.** Daño permanente de sistemas eléctricos y Electrónicos debido a impulso electromagnético por rayo IER.

**Corriente de Falla Ia.** Valor de pico mínimo de la corriente de rayo que causará daño en una línea.

**Probabilidad de daño (Px).** Probabilidad de que un rayo pueda causar daño al objeto a ser protegido.

**Pérdida (Lx).** Monto promedio de pérdidas (seres vivos y bienes) para un tipo de daño específico debido a eventos peligrosos, relativo al valor (seres vivos y bienes) del objeto a protegerse.

**Riesgo (R).** Medida de las pérdidas anuales probables (seres vivos y en bienes) debidas a rayos, relativo al valor de (seres vivos y en bienes) de los objetos a proteger.

**Componentes de riesgo (Rx).** Riesgo parcial dependiendo de la fuente y el tipo de daño.

**Riesgo tolerable (Rt).** Valor máximo del riesgo el cual puede ser tolerado por el objeto a proteger.

**Zona de una estructura (Zs).** Parte de una estructura con características homogéneas donde solo una parte de los parámetros son tenidos en cuenta en la evaluación de los componentes de riesgo.

**3.1.36 Sección de un Servicio (Ss).** Parte del servicio con características homogéneas donde solo una parte de los parámetros es tenido en cuenta para la evaluación de los componentes de riesgo.

**Zona de Protección de Rayos (LPZ).** Zona donde está definido el ambiente electromagnético del rayo.

**Nivel de protección contra rayos (NPR).** Número relacionado con un conjunto de los parámetros de la corriente de rayo, pertinentes a la probabilidad que asocia los valores de diseño máximo y mínimo, son valores que no serán excedidos cuando naturalmente ocurra una descarga.

**Medidas de protección.** Medidas a ser adoptadas en el objeto a proteger con el fin de reducir el riesgo debido a rayos.

**Sistemas de protección contra rayos (SIPRA).** Sistema completo usado para reducir los daños físicos sobre estructuras debidos a descargas directas o indirectas. Este consiste en sistemas de protección contra rayos interno y/o externo.

**Sistema de protección contra IER (SPIER).** Conjunto de medidas de protección contra IER para sistemas internos.

**Cable de guarda.** Cable metálico usado para reducir daños físicos debido a descargas sobre la acometida.

**Apantallamiento magnético (*Magnetic Shield*).** Conjunto de elementos metálicos que encierran el objeto a proteger, o parte de éste, para reducir fallas en sistemas eléctricos y electrónicos.

**3.1.44 Dispositivo de protección contra sobretensiones DPS (*Surge Protective Device***

***SPD*).** Dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias, evacuando las corrientes asociadas a dichas sobretensiones. Debe contener uno o más elementos no lineales.

**Sistema coordinado de protección contra sobretensiones (*Coordinated SPD Protección*).** Conjunto de DPS's seleccionados, coordinados e instalados apropiadamente para reducir fallas de sistemas eléctricos y electrónicos.

## INTRODUCCIÓN.

La presente monografía tiene como objetivo fundamental realizar el análisis del riesgo de descargas eléctricas atmosféricas en los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, ubicada en Cartagena de Indias.

Dichas edificaciones no cuentan con un análisis de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (NTC 4552-2). “en instalaciones de uso final donde se tenga alta concentración de personas, tales como, viviendas multifamiliares, edificios de oficina, hoteles, centros de atención medica, lugares de culto, centros educativos, centros comerciales, industrias, supermercados, parques de diversión, prisiones, aeropuertos, cuarteles debe hacerse una evaluación del nivel de riesgo por exposición a rayo. Para estos efectos, la evaluación debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, la pedida del suministro de energía, la pérdida o graves daños de bienes, así como los parámetros del rayo para la zona del rayo donde está ubicada Colombia 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.”<sup>1</sup>

Nuestro país, Colombia se encuentra ubicado en una de las zonas con mayor probabilidad de que caiga un rayo con  $I_{abs} > 40 \text{ KA}$ , lo que da gran importancia a un estudio de riesgo por descargas eléctricas atmosféricas en vista de que un rayo sobre la estructura puede ocasionar varios daños, como lo son; daños en la estructura y su contenido, pérdidas de vidas humanas y hasta fallas en el suministro de la energía eléctrica. En el caso que sea necesario la implementación

---

<sup>1</sup> RETIE versión 2008 – Artículo 18.1 Evaluación del nivel de riesgo frente a rayos

de un sistema integral de protección contra descargas eléctricas atmosféricas se sugerirán las medidas de corrección y pertinentes para cumplir con los parámetros que establece la norma NTC 4552 y el RETIE. El sistema integral de protección contra descargas atmosféricas estará compuesto por un SPE (sistema de protección externo), SPI (sistema de protección interno).

## **1. ANÁLISIS DE RIESGO.**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Teniendo en cuenta lo estipulado en el artículo 18 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) que exige que las instalaciones de uso final que contengan alta concentración de personas (tal como lo es un centro de educación) tengan una evaluación del nivel de riesgo por exposición al rayo. Debido a que los edificios de aulas no cuentan con un estudio de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas se ha decidido tomar como objeto de estudio la implementación de este tipo de análisis sobre dicha estructura, para esta en cumplimiento con lo estipulado en el RETIE y las normas pertinentes.

El nivel de riesgo se evaluará a partir de la corriente del rayo, la cual es la fuente primaria de daños, de las características de la estructura, de los servicios que llegan a ella y de las estructuras que la rodean. Un primer tipo de daño que se evalúa es las lesiones a seres vivos, este tipo de daño es de gran importancia, debido a que en la instalación hay un promedio de más de 500 personas diariamente en. Un segundo tipo posible de daño en los edificios, es la afectación o pérdidas de vidas humanas que en caso de tormenta eléctrica circulen en las áreas abiertas de los patios, debido a tensiones de paso y de contacto a las que se pueden ver sometidas en caso de impacto de rayo en alguna estructura u objeto cercano. Un tercer tipo posible de daño lo constituye el fallo de sistemas eléctricos y electrónicos, debido a sobretensiones inducidas tanto por impactos directos e indirectos en estructuras. En este caso las pérdidas asociadas pueden ser económicas.

## 1.2. RIESGO TOLERABLE

Los valores normalizados de riesgos tolerables para los distintos tipos de pérdida lo provee la norma NTC 4552-2 (Ver Tabla 1)

**Tabla 1.** Valores típicos de riesgo tolerable.

Tipo de pérdida	Rt
Pérdida de vidas o lesiones permanentes	10 <sup>-5</sup>
Pérdida de servicio público	10 <sup>-3</sup>
Pérdida de patrimonio cultural	10 <sup>-3</sup>

Fuente: NTC 4552-2

## 1.3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA (DDT)

Para determinar el índice de descargas por kilómetro cuadrado en un año (DDT) es necesario conocer el nivel ceraunico de la población en que se encuentra la estructura, para lo cual se utiliza el mapa con el nivel ceraunico de Colombia y de ahí obtenemos el NC (nivel ceraunico) para Cartagena el cual es de 80. Obtenido del Sistema Colombiano de Información de Tormentas Eléctricas – SCITE (ver Tabla 2)

$$DDT = 0.0017 * NC^{1.56}$$

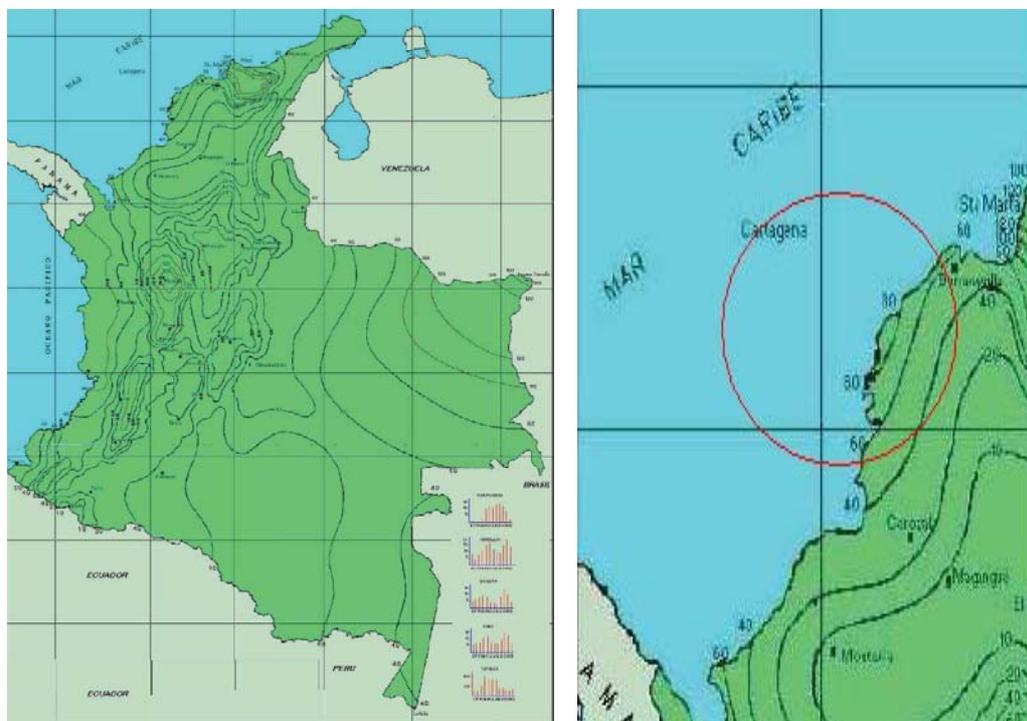
$$DDT = 2$$

Tabla 2. Valores Típicos de densidad de descargas a tierra DDT.

CIUDAD	LATITUD	LONGITUD	DDT PROMEDIO
Barranquilla	10,9	-74,8	1
Cartagena	10,5	-75,5	2
Corozal	9,3	-75,3	3
El Banco	9,1	-74	10
Magangue	9,3	-74,8	5
Monteria	8,8	-75,9	2
Quibdo	5,7	-76,6	9
Sta. Marta	11,1	-74,2	2
Tumaco	1,8	-78,8	1
Turbo	8,1	-76,7	5
Valledupar	10,4	-73,3	2
Riohacha	11,5	-72,9	2
Armenia	4,5	-75,8	2
Barranca	7	-73,8	7
Bogota	4,7	-74,2	1
Bucaramanga	7,1	-73,1	1
Cali	3,6	-76,4	1
Cucuta	7,9	-72,5	1
Girardot	4,3	-74,8	5
Ibague	4,4	-75,2	2
Ipiales	0,8	-77,6	1
Manizales	5	-75,5	2
Medellin	6,1	-75,4	1
Neiva	3	-75,3	1
Ocana	8,3	-73,4	2
Pasto	1,4	-77,3	1
Pereira	4,8	-75,7	4
Popayan	2,4	-76,6	1
Remedios	7	-74,7	12
Vcencio	4,2	-73,5	1
Bagre	7,8	-75,2	12
Samana	5,4	-74,8	9

Fuente: [www.scite.unal.edu.co/scite.html](http://www.scite.unal.edu.co/scite.html)

Figura 1. Mapa con nivel ceraunico de Colombia



Fuente: [www.scite.unal.edu.co/scite.html](http://www.scite.unal.edu.co/scite.html).

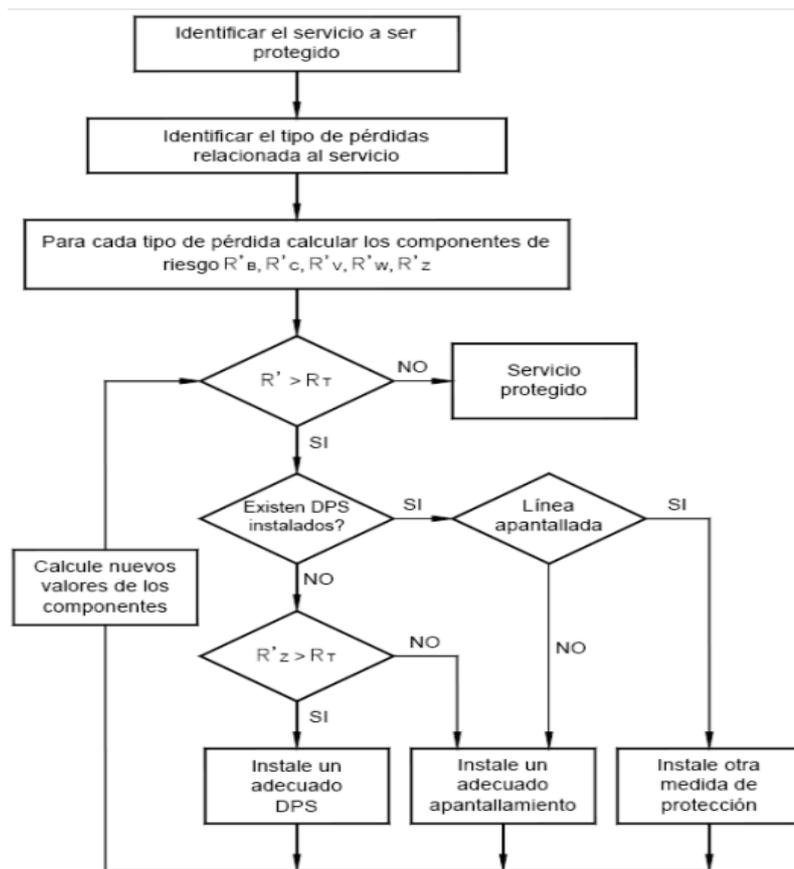
#### 1.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO Y MEDIDAS CORRECTIVAS.

Teniendo en cuenta los estándares internacionales que (NTC 4552-2), (IEC 62305) estandarizan la manera de determinar el nivel de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas para lo cual se plantean una serie de pasos para determinar el nivel de riesgo y las medidas pertinentes:

- Identificar objeto a ser protegido (definir la zona de la estructura con sus medidas).
- Identificar perdidas relacionada con la estructura y sus acometidas de servicio.

- Para cada tipo de pérdida identificar el riesgo tolerable y calcular todas las componentes del riesgo.
- Luego se calcula la sumatoria de todos los riesgos.
- Y si el riesgo calculado el mayor que el riesgo tolerable, entonces se deben instalar medidas de protección adecuadas, si no es mayor entonces la estructura o servicio no necesita SIPRA.

Figura 2. Metodología para la determinación del nivel de riesgo



Fuente: NTC 4552-2

**1.5. COMPONENTES DE RIESGO PARA LOS EDIFICIOS DE AULAS A3, A4 Y A5 DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.**

A continuación se detallan los componentes de riesgo específicos para la estructura de estudio, se aprecia que el riesgo de pérdida cultural se omite en la tabla, debido a que en los edificios de aulas no existe ninguna clase de componentes que pueda constituirse a futuro como una pérdida cultural para la sociedad.

Tabla 3. Componentes del riesgo para los edificios de Aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.

	Descarga en la Estructura S1			Descarga cerca de la Estructura S2	Descarga en una línea conectada a la estructura S3			Descarga cerca de una línea conectada a la estructura S3
Componente de riesgo	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
Riesgo para cada tipo de pérdida								
R1	○	○			○	○		
R2		○	○	○		○	○	○
R4		○	○	○		○	○	○

Fuente: NTC 4552-2

## 2. VALORACIÓN DE LAS COMPONENTES DEL RIESGO CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS.

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

$$RX = N_X * P_X * L_X$$

En donde

$N_X$  = Número de eventos peligrosos

$P_X$  = Probabilidad de daño

$L_X$  = Pérdida consecuyente

Evaluación del Promedio Anual de impactos en la estructura ( $N_D$ )

Puede ser evaluado con la siguiente expresión:

$$ND = DDT * A_d * C_d * 10^{-6} .$$

En donde:

$DDT$  = Densidad de rayos a tierra (rayos/km<sup>2</sup>-año)

$A_d$  = Área efectiva de la estructura aislada (m<sup>2</sup>).

$C_d$ = Factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa del objeto a ser protegido según la siguiente tabla

Tabla 4. Factor de localización

Localización relativa	Cd
Objeto rodeado de objetos o árboles más altos	0,25
Objeto rodeado de objetos o árboles de igual o menor altura	0,5
Objeto aislado: sin objetos en la vecindad	1
Objeto rodeado de objetos o árboles más altos	2

Fuente: NTC 4552-2

## 2.1. EVALUACIÓN DEL PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS SOBRE ESTRUCTURAS ADYACENTES ( $N_{Da}$ ).

El número promedio anual de eventos peligrosos debido a descargas en estructuras adyacentes (véase la Figura 9) puede ser evaluado como:

$$N_{Da} = DDT * A_{a/a} * C_{a/a} * Ct * 10^{-6}$$

En donde

$DDT$  = Densidad de rayos a tierra (rayos/km<sup>2</sup>-año)

$A_{a/a}$  = Área efectiva de la estructura adyacente aislada (m<sup>2</sup>).

$C_{a/a}$  = Factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa de la estructura adyacente. (Véase laTabla 4)

$Ct$  = Es el factor de corrección por la presencia de un transformador AT/BT localizado entre el punto de impacto y la estructura (véaseTabla 5). Este factor aplica a una sección de la red aguas arriba del transformador con respecto a la estructura.



$DDT$  = Densidad de descargas a tierra (rayos/km<sup>2</sup>\*año)

$A_m$  = Área de influencia de la estructura (m<sup>2</sup>)

$A_{d/b}$  = Área efectiva de la estructura (m<sup>2</sup>)

$C_{d/b}$ ) = Factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa de la estructura a ser protegida (Véase la Tabla 4).

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 3).

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

### 2.3. EVALUACIÓN DEL NÚMERO PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS SOBRE LAS ACOMETIDAS DESERVICIOS ( $N_L$ )

Para determinar el valor promedio anual de descargas sobre la acometida para una sección del servicio,  $N_L$  puede ser evaluado por medio de la siguiente expresión:

$$N_L = DDT * A_I * C_d * C_t * 10^{-6}(9)$$

En donde:

$DDT$ : Densidad de descargas a tierra (rayos/km<sup>2</sup>\*año).

$A_I$ : Área efectiva de descargas al servicio (m<sup>2</sup>) (véase la Tabla 6y la

Figura 3).

$C_d$ : Factor de localización del servicio (véase la Tabla 4).

$C_t$ : Factor de corrección por la presencia de transformadores de AT/BT localizado entre el punto de choque y la estructura (véase Tabla 5). Este factor aplica para secciones de línea aguas arriba del transformador respecto a la estructura.

Tabla 6. Áreas Efectivas  $A_I$  y  $A_i$  dependiendo de las características del servicio.

	<b>Aérea</b>	<b>Subterránea</b>
<b>A<sub>I</sub></b>	$(L_C - 3(H_A + H_b))6H_C$	$(L_C - 3(H_A + H_b))\sqrt{\rho}$
<b>A<sub>i</sub></b>	$1000L_C$	$25L_C\sqrt{\rho}$

Fuente: NTC 4552-2

En donde

$A_I$  Área efectiva de descargas sobre la acometida de servicio ( $m^2$ );

$A_i$  Área efectiva de descargas próximas a la acometida de servicio ( $m^2$ );

$H_C$  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 valor  $L_C = 1\ 000$  m puede asumirse;

$H_A$  Altura de la estructura de donde proviene la acometida de servicio (m);

$H_B$  Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio (m);

$\rho$ : Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada ( $\Omega.m$ ). El máximo valor que se puede asumir es 500  $\Omega.m$ .

#### **2.4. EVALUACIÓN DEL NÚMERO PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS CERCANAS A LAS ACOMETIDAS DESERVICIO ( $N_i$ )**

Para evaluar la probabilidad promedio por año de que exista una descarga eléctrica atmosférica cerca de nuestra acometida de servicio ( $N_i$ ) sea una sección de línea (aérea, subterránea, apantallada, sin apantallamiento, etc.), el valor de  $N_i$  puede ser evaluado por:

$$N_i = DDT * A_i * C_e * C_t * 10^{-6}$$

En donde

$A_i$ : Área efectiva de descargas cercanas al servicio ( $m^2$ ) (véase Tabla 6 y

Figura 3)

$C_e$ : Factor ambiental (ver Tabla 7)

$C_t$ : Factor de corrección por la presencia de transformadores de AT/BT localizado entre el punto de choque y la estructura (véase Tabla 5). Este

factor aplica parasecciones de línea aguas arriba del transformador respecto a la estructura.

**Tabla 7.** Factor ambiental Ce.

<b>Ambiente</b>	<b>Ct</b>
Urbano con edificaciones altas <sup>1)</sup>	0
Urbano <sup>2)</sup>	0,1
Suburbano <sup>3)</sup>	0,5
Rural	1
1) Edificaciones de más de 20 m de altura 2) Edificaciones entre 10 m y 20 m de altura 1) Edificaciones de más de 20 m de altura	

Fuente: NTC 4552-2.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA.

Para iniciar con el análisis de riesgo es necesario realizar una caracterización específica con todos los elementos y medidas de los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, que sean exigidos por la NTC 4552 – 2 por lo tanto a continuación se demuestra cada uno de estos elementos.

#### 3.1. MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD

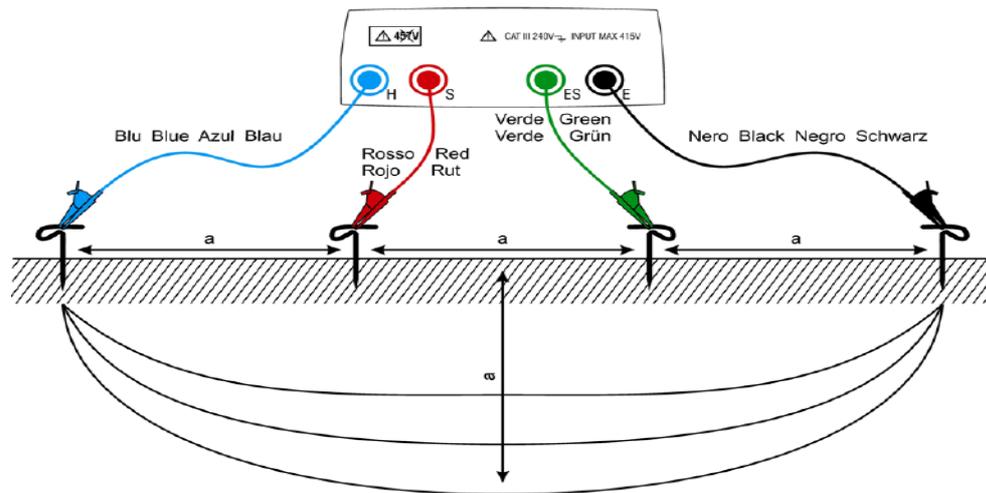
La medida de resistividad en la tierra ( $\rho$ ) es totalmente necesaria para determinar el nivel de riesgo de descargas eléctricas atmosféricas para cualquier tipo de estructuras, pues a partir de ella se determina: el Área efectiva de descargas al servicio,  $N_L$  (número promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios),  $N_i$  (número promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios), la resistencia de puesta a tierra etc. Para obtener la medida de resistividad en  $\Omega m$  del terreno en donde se encuentran construidos los edificios se utilizó un teluometro marca GEO serie 416.

Para la medida de resistividad el teluometro debe estar configurado tal como se muestra en la figura 4. Para el caso específico de las aulas se tomaron 3 puntos de medición (Vea

Figura 5) para los que se hizo una medición en 2 trayectorias y cada trayectoria se midió para  $a=1m$ ,  $a=2m$  y  $a=3m$ . (Vea la

Figura 4).

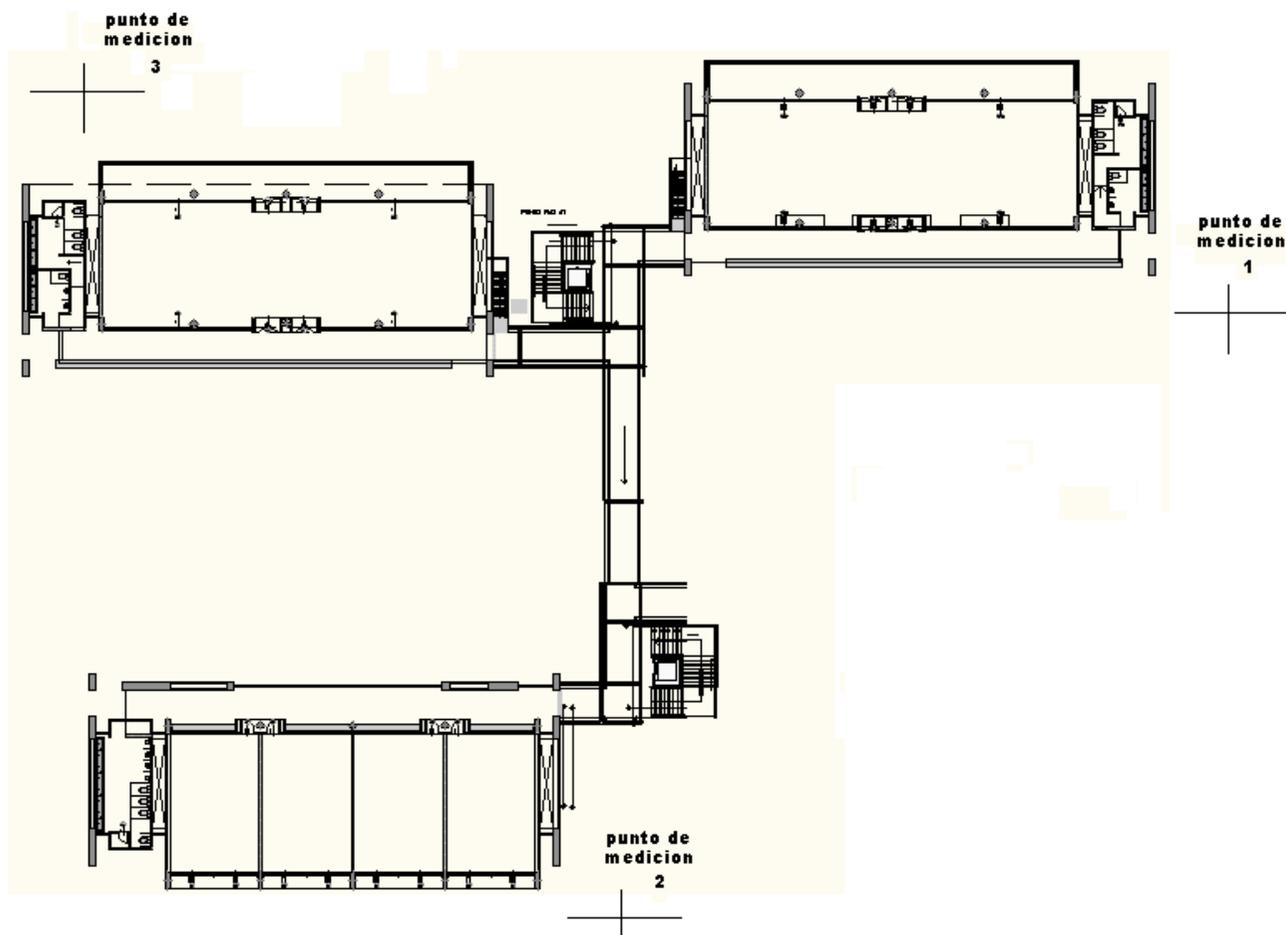
Figura 4. Diagrama de conexión de los electrodos del teluometro.



Fuente: Manual teluometro GEO 416

Después de tener todas las mediciones en cada punto se obtuvo un valor promedio total de todo el terreno de la estructura de donde se determinó el valor de la resistividad para el terreno donde se construyó la edificación (Vea Tabla 8).

Figura 5. Vista área de la estructura donde se pueden observar los puntos de medición



**Tabla 8.** Mediciones realizadas con Telurometro GEO 416.

Recopilación de medidas de $\rho$ en el terreno							
		Distancia mts	M1	M2	M3	Promedio [ $\Omega$ m]	Total[ $\Omega$ m]
Punto de medición 1	Trayectoria 1	1	2,21	2,21	2,21	2,21	2,07
		2	1,72	1,72	1,73	1,72	
		3	1,61	1,59	1,58	1,59	
	Trayectoria 2	1	2,83	2,82	2,82	2,82	
		2	2,25	2,23	2,24	2,24	
		3	1,82	1,84	1,85	1,84	
Punto de medición 2	Trayectoria 1	1	1,32	1,32	1,31	1,32	1,27
		2	1,33	1,32	1,31	1,32	
		3	1,16	1,16	1,16	1,16	
	Trayectoria 2	1	1,36	1,36	1,37	1,36	
		2	1,24	1,23	1,21	1,23	
		3	1,2	1,21	1,21	1,21	
Punto de medición 3	Trayectoria 1	1	5,22	5,23	5,23	5,23	3,46
		2	1,8	1,79	1,77	1,79	
		3	1,56	1,57	1,56	1,56	
	Trayectoria 2	1	6,75	6,75	6,75	6,75	
		2	2,96	2,94	2,96	2,95	
		3	2,47	2,46	2,46	2,46	
							2,26

### 3.2. MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA.

Para los análisis de áreas efectivas y definir la superficie total de las aulas es necesario conocer sus medidas:

Tabla 9. Dimensiones de la estructura.

Dimensiones	Distancia
Altura	17 m.
Ancho	49 m
Largo	75 m.

Los servicios entrantes son:

- Líneas de baja tensión subterránea.
- Líneas de comunicaciones.

Tipo de estructura: centro de educación.

Estructuras adyacentes: Edificios de Aulas A1, Edificio de Biblioteca y unidades de viviendas del barrio el rodeo.

Localización: el objeto está localizado en la ciudad de Cartagena y está rodeado por objetos y/o arboles de igual altura o menor.

Figura 6. Imagen de la estructura de estudio.



Estructuras adyacentes: Edificaciones vecinas.

Resistividad del terreno ( $\rho$ ): 2,26  $\Omega\text{m}$ .

Densidad de descargas atmosféricas eléctricas por kilómetro cuadrado en un año:  
2 rayos/ $\text{km}^2$ -año.

### 3.2.1. Áreas efectivas $A_d$ , $A_{d/a}$ , $A_{d/b}$ , $A_m$

El cálculo de las áreas efectivas para las diferentes áreas del proyecto debe hacerse según las indicaciones de los numerales 6.5.1 a 6.5.5 de la NTC 4552-2.

### 3.2.2. Área efectiva de la estructura $A_d$ y $A_{d/b}$

Para una estructura aislada rectangular con longitud  $L$ , ancho  $W$  y altura  $H$  sobre un terreno plano

$$A_d = LW + 6H(L + W) + 9\pi(H^2) \text{ Donde:}$$

$L$ : largo de la estructura.

W: Ancho de la estructura.

H: Alto de la estructura.

Para la estructura en estudio el valor de  $A_d$  y  $A_d/b$  se calcula a continuación:

#### 4. EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO PX

La probabilidad de daño evaluada en este aparte es válida siempre y cuando las medidas de protección consideradas cumplan con los requerimientos descritos en:

NTC 4552-3, en cuanto a las medidas de protección para reducir lesiones a seres vivos y daños físicos a estructuras

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.

##### 4.1. PROBABILIDAD DE DAÑO $P_A$

Los valores de la probabilidad  $P_A$  está ligada a las lesiones a seres vivos causados por descargas directas a la estructura y dependen de las pérdidas de protección (ver Tabla 10)

Tabla 10. Valores de  $P_A$

Medida de Protección	$P_A$
Sin medidas de protección	1
Aislamiento eléctrico de bajantes expuestos (ej. Al menos 3mm de polietileno)	$10^{-2}$
Equipotencialización efectiva del suelo	$10^{-2}$
Avisos de advertencia	$10^{-1}$
<b>NOTA:</b> Si más de una medida de protección ha sido tomada, el valor de $P_A$ es producido de valores correspondientes según esta tabla.	

Fuente: NTC 4552 – 2

#### 4.2. 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) (ver Tabla 11)

Tabla 11. Valores de  $P_B$

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 Amazon 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 Amazon 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 la NTC 4552		

Fuente: NTC 4552 – 2

#### 4.3. PROBABILIDAD DE DAÑO $P_C$

Es la probabilidad de daños de sistemas internos por impactos directos sobre la estructura y depende de la protección interna presente, por lo tanto  $P_C = P_{DPS}$ , los valores de  $P_{DPS}$  dependen del nivel de protección contra rayo de los DPS (ver

Tabla 12 ).

Tabla 12. Valores de  $P_{DPS}$

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 comparado con requerimientos definidos para el nivel I de protección contra rayos.	0,005-0,001
NOTA: Solo un sistema coordinado de DPSs 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 DPSs	

Fuente: NTC 4552 - 2

#### 4.4. PROBABILIDAD DE DAÑO $P_M$

Esta probabilidad de daño depende de los impactos cercanos a la estructura y depende de las medidas adoptadas, de acuerdo al factor  $K_{MS}$  (Ver )

$$K_{MS} = K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4}$$

Donde:

$K_{S1} = 0,12 * w$       Factor de eficacia del apantallamiento externo

$K_{S2} = 0,12 * w$	Factor de eficacia del apantallamiento interno
$K_{S3}$	Factor característica del cableado interno (ver Tabla 13)
$K_{S4} = 1,5/U_w$	Factor de soportabilidad al impulso tipo rayo del sistema a proteger
$w$	Ancho en metros de la malla o conductores bajantes
$U_w [KV]$	Es el menor valor de la tensión soportada al impulso tipo rayo

Si se desconocen los valores para determinar  $K_{S1}$  y  $K_{S2}$  se asume  $K_{S1} = K_{S2} = 1$

Tabla 13. Valores de  $K_{S3}$

Tipo de Cableado Interno	$P_{DPS}$
Cables sin pantalla - Sin precaución de evitar lazos en la ruta	1
Cables sin pantalla - Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta	0,2
Cables sin pantalla - Con precaución de evitar lazos en la ruta	0,02
Cables apantallado con resistencia de pantalla - Con precaución de evitar lazos en la ruta	0,001
Cables apantallado con resistencia de pantalla - Con precaución de evitar lazos en la ruta	0,0002
Cables apantallado con resistencia de pantalla - Con precaución de evitar lazos en la ruta	0,0001

Fuente: NTC 4552 – 2

Tabla 14. Valores de  $P_{MS}$  en función de  $K_{MS}$

Kms	Pms
$\geq 0,4$	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
0,013	0,0001

NOTA: Para sistemas internos con equipos con niveles de soportabilidad al impulso inferiores a los estándar, se asignara un valor de  $P_{ms}=1$

Fuente: NTC 4552 – 2

#### **4.5. PROBABILIDAD DE DAÑO $P_U$**

Probabilidad de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de toque o paso por descargas sobre las acometidas de servicio y depende de las características del apantallamiento del servicio, la soportabilidad al impulso tipo rayo, las medidas de protección (ver Tabla 10) y de los DPS's conectados a 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 PLD (véase la Tabla 19).

Cuando los DPS's cumplen los requerimientos de equipotencialización de NTC 4552-3,  $P_U$  será el menor valor entre PDPs

Tabla 12 y el valor dado en la Tabla 19.

Tabla 15. 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

Tipo de acometida	$U_w$ [kV]	$5 < R_s \leq 20$ [ $\Omega/kM$ ]	$1 < R_s \leq 5$ [ $\Omega/kM$ ]	$R_s \leq 1$ [ $\Omega/kM$ ]
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			
$R_s$ [ $\Omega/kM$ ] resistencia del apantallamiento del cable				

Fuente: NTC 4552 - 2

#### 4.6. PROBABILIDAD DE DAÑO $P_V$

La probabilidad de daños físico  $P_V$  a causa de descargas directas sobre en las acometidas de servicios y depende de del apantallamiento del servicio y la soportabilidad al impulso tipo rayo

$$P_V = P_U$$

#### 4.7. 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 DPS's  $P_W$  tomara el valor de  $P_{LD}$  (ver Tabla 15)

Cuando existe coordinación de DPS's  $P_W$  será el menor valor entre  $P_{DPS}$  y el valor dado en la Tabla 15

#### 4.8. 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 DPS's  $P_W$  tomara el valor de  $P_{L1}$  (ver Tabla 16)

Cuando existe coordinación de DPS's  $P_W$  será el menor valor entre  $P_{DPS}$  y el valor dado en la Tabla 16

Tabla 16. Valores de  $P_{L1}$  en función de la tensión soportable al impulso tipo rayo  $U_w$  del equipo y la resistencia de la pantalla del cable  $R_s$

$U_w$ [kV]	Sin pantalla	Pantalla no conectada a barra equipotencial a la cual esta conectada el equipo	Apantallamiento y equipo unido a barra equipotencial		
			$5 < R_s \leq 20$ [ $\Omega$ /km]	$1 < R_s \leq 5$ [ $\Omega$ /km]	$R_s \leq 1$ [ $\Omega$ /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

$R_s$ : resistencia de la pantalla del cable ( $\Omega$ /km).

Fuente: NTC 4552 – 2



## 5. EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE PÉRDIDAS

Las pérdidas  $L_x$  se refieren al monto medio relativo de un tipo particular de daño, el cual puede ocurrir como el resultado de la descarga de rayo. Este valor depende de:

- El número de personas y el tiempo que estas permanecen en el lugar peligroso.
- El tipo e importancia del servicios público prestados.
- El valor de los bienes que se ven afectados por el daño.

Las pérdidas  $L_x$  varían según el tipo de pérdida considerada (L1, L2, L3 y L4), y cada tipo de pérdida con el tipo de daño causado (D1, D2 y D3).

Los siguientes símbolos son usados:

$L_t$  Pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto.

$L_f$  Pérdidas debido a daños físicos.

$L_o$  Pérdidas debido a fallas en sistemas internos.

### 5.1. PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS ( $L_1$ )

El valor de  $L_t$ ,  $L_f$  y  $L_o$  puede ser determinado en términos del número relativo de víctimas, como lo indica la siguiente ecuación:

$$L_x = (n_p/n_t) * (t_p / 8\ 760)$$

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 de permanencia de las personas en el lugar peligroso. Fuera de la estructura se evalúa únicamente  $L_t$ ; En el interior de la estructura se evalúa ( $L_t$ ,  $L_f$  y  $L_o$ ).

Se pueden asumir valores medio de  $L_t$ ,  $L_f$  y  $L_o$ , para todos los tipos de estructuras cuando la determinación de  $n_p$ ,  $n_t$  y  $t_p$  es incierta o difícil de obtener (ver Tabla 17).

Tabla 17. Valores promedio típicos de  $L_t$ ,  $L_f$  y  $L_o$  para  $L_1$

Tipo de Estructura	$L_t$
Todos los tipos - personas dentro de la estructura	$10^{-4}$
Todos los tipos - personas fuera de la estructura	$10^{-2}$
Tipo de Estructura	$L_f$
Hospitales, hoteles, edificios civiles	$10^{-1}$
Industrial, comerciales, escuelas	$5 \times 10^{-2}$
Entretenimiento público, Iglesias, museos	$2 \times 10^{-2}$
Tipo de Estructura	$L_o$
Riesgo de explosión	$10^{-1}$
Hospitales	$10^{-3}$

Fuente: NTC 4552 – 2

### 5.1.1. 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:

$$L_A = r_a * L_t$$

Donde:

$r_a$  Factor reductor de pérdida de vidas por características del suelo o terreno (ver

Tabla 18);

$L_t$  Pérdidas debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura se escoge un valor correspondiente de la Tabla 17.

Tabla 18. Valores de factores de reducción  $r_a$  y  $r_u$  en función del tipo suelo o piso.

Tipo de Estructura	Resistencia de contacto [K $\Omega$ ]	$r_a$ y $r_u$
Agricultura, concreto	$\leq 1$	$10^{-2}$
Mármol, cerámica	1-10	$10^{-3}$
Gravilla, Tapete	10-100	$10^{-4}$
Asfalto, madera	$\geq 100$	$10^{-5}$

Fuente: NTC 4552 – 2

### 5.1.2. 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 la estructura por arco eléctrico, se puede estimar así:

$$L_B = r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$$

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 (ver Tabla 19);

$r_f$  Factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura (ver Tabla 20);

$h_z$  Factor de incremento de pérdida debida a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas (ver Tabla 21);

$L_f$  Pérdida de vidas humanas por daños físicos (ver Tabla 17).

Tabla 19. Valores de factores de reducción  $r_p$  en función de las medidas de prevención para reducir las consecuencias de fuego

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 alarma automáticas	0,2

Fuente: NTC 4552 – 2

Tabla 20. Valores de factor de reducción  $r_f$  en función del riesgo de fuego de la estructura

Riesgo de fuego	$r_f$
Explosión	1
Alto	$10^{-1}$
Ordinario	$10^{-2}$
Bajo	$10^{-3}$
Ninguno	0

Fuente: NTC 4552 – 2

Tabla 21. Valores de factor de incremento  $h_z$  en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro

Clase especial de riesgo	$r_p$
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 (Edificación con un número de personas entre 100 y 1000 )	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 superior a 1000 personas)	10
peligro por ambiente alrededor	20
contaminación del ambiente alrededor	50

Fuente: NTC 4552 – 2

### 5.1.3. Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura ( $L_U$ )

Las pérdidas de vidas humanas a causa de tensiones de contacto dentro de la estructura, se pueden estimar así:

$$L_U = r_u * L_t$$

En donde:

$r_u$  Factor reductor de pérdida de vidas humanas por características constructivas del piso (ver

Tabla 18).

$L_t$  Pérdidas debido a lesiones por tensiones de contacto dentro de la estructura (ver Tabla 17).

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

Las pérdidas de vidas humanas por 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 transmitido a través de la acometida de servicios, se pueden estimar como:

$$L_V = r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f$$

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 (ver Tabla 19);
- $h_z$  Factor de incremento de pérdida debida a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas (ver Tabla 21);
- $r_f$  Factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura (ver Tabla 20);
- $L_f$  Pérdidas debido a daños físicos (ver Tabla 17).

#### **5.1.5. Pérdida 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 (Impulsos Electromagnéticos del Rayo). Se puede estimar Como:

$$L_C = (n_p/n_t) * (t_p / 8\ 760)$$

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  $L_C = L_o$  (ver Tabla 17).

#### **5.1.6. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura ( $L_M$ )**

Las pérdidas de vidas humanas relacionadas con la falla de sistemas internos causado por sobretensiones originadas por descargas próximas a la estructura, se puede estimar como:

$$L_M = (n_p/n_t) * (t_p / 8\ 760)$$

Se pueden asumir valores medio de  $L_M$ , 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  $L_M = L_o$  (ver Tabla 17).

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

Las pérdidas de vidas humanas relacionadas a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura por impactos sobre las acometidas de servicio, se puede estimar como:

$$L_W = (n_p/n_t) * (t_p / 8\ 760)$$

Se pueden asumir valores medio de  $L_W$ , 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  $L_W = L_o$  (ver Tabla 17).

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

Las pérdidas de vidas humanas relacionadas a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura por impactos próximos a las acometidas de servicio, se puede estimar como:

$$L_Z = (n_p/n_t) * (t_p / 8\ 760)$$

Se pueden asumir valores medio de LZ, 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  $LZ = L_o$  (ver Tabla 17).

## 5.2. PÉRDIDA INACEPTABLE DEL SERVICIO PÚBLICO ( $L_2$ )

Los valores de  $L_f$  y  $L_o$  pueden ser determinadas en términos del monto relativo de las posibles pérdidas así:

$$L_x = (n_p/n_t) * (t / 8760)$$

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  $L_f$  y  $L_o$ , para todos los tipos de acometidas cuando la determinación de  $n_p$ ,  $n_t$  y  $t$  es incierta o difícil de obtener (ver Tabla 22).

Tabla 22. Valores medios típicos de  $L_f$  y  $L_o$  para  $L_2$

Tipo de servicio	$L_f$	$L_o$
Gas, Acueducto	$10^{-1}$	$10^{-2}$
TV, TLC, Suministro de potencia	$10^{-2}$	$10^{-3}$

Fuente: NTC 4552-2

### 5.2.1. Pérdida inaceptable del Servicio Público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura (LB)

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

$$L_B = r_p * r_f * L_f$$

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 (ver Tabla 22).

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

Las pérdidas de servicio público por 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 transmitido a través de la acometida de servicios, se pueden estimar como:

$$L_V = r_p * r_f * L_f$$

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 (ver Tabla 22).

### **5.2.3. 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 (Impulsos Electromagnéticos del Rayo). Se puede estimar como:

$$L_C = (n_p/n_t) * (t / 8760)$$

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  $L_C = L_o$ . (Ver Tabla 22).

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

Las pérdidas de servicio público relacionadas con la falla de sistemas internos causado por sobretensiones originadas por descargas próximas a la estructura, se puede estimar como:

$$L_M = (n_p/n_t) * (t / 8760)$$

Se pueden asumir valores medio de  $L_M$ , 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  $L_M = L_o$  (ver Tabla 22).

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

Las pérdidas de servicio público relacionadas a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura por impactos sobre las acometidas de servicio, se puede estimar como:

$$L_W = (n_p/n_t) * (t / 8760)$$

Se pueden asumir valores medio de  $L_W$ , 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  $L_W = L_o$  (ver Tabla 22).

### **5.2.6. Pérdida inaceptable del servicio público por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $L_Z$ )**

Las pérdidas de servicio público relacionadas a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura por impactos próximos a las acometidas de servicio, se puede estimar como:

$$L_Z = (n_p/n_t) * (t / 8760)$$

Se pueden asumir valores medio de  $L_Z$ , 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  $L_Z = L_o$  (ver Tabla 22).

## **6. ANÁLISIS DE RIESGO SOBRE LA ESTRUCTURA A PROTEGER**

Para realizar el análisis de Riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas específica para la estructura de estudio, es necesario tener en cuenta una serie de parámetros que se calculan a continuación y son características intrínsecas del tipo de estructura, su ubicación y de los objetos que lo rodean.

En concordancia con lo estipulado en la norma NTC 4552 – 2 para establecer el nivel de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas, se debe tener en cuenta una serie de factores tales como: Promedio anual de descargas en la estructura ( $N_d$ ), ( $N_{d/a1}$ ) promedio anual de descargas en la estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia, ( $A_M$ ) promedio anual de descargas

cercanas a la estructura, probabilidad de daño ( $P_x$ ), entre otros que serán desglosados a continuación.

## 6.1. PROMEDIO ANUAL DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

### 6.1.1. Promedio anual de descargas estructura ( $N_d$ )

La media de descargas sobre la estructura por año es el promedio que caídas de rayo que pueden caer sobre las edificaciones teniendo en cuenta la densidad de descargas por año de la región y la geometría de la estructura y de las edificaciones adyacentes.

$$A_d = W * L + \left( 6 * H_p * (L + W) + (9\pi * H_p^2) \right) \Rightarrow A_d = 24494,28 \text{ (m}^2\text{)}$$

$L$ : Largo de estructura (75m)

$W$ : Ancho estructura (49m)

$H_p$ : Altura máxima (17m)

$$N_d = DDT * (A_d * C_d * 10^{-6}) \Rightarrow N_d = 0,02449$$

$A_d$ : Área efectiva de la estructura (24494,28m<sup>2</sup> )

$DDT$ : Densidad de descargas a tierra (2)

$C_d$ : Factor de localización (se escoge de la Tabla 4)(rodeado de objetos o arboles de igual o menor altura 0,5)

### 6.1.2. Promedio anual de descargas en la estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia ( $N_{d/a1}$ ).

El  $N_{d/a1}$  se define como le promedio por año en que la S/E desde donde se toma el servicio eléctrico recibe una descarga eléctrica atmosférica y se determina tal como se muestra a continuación.

$$A_{d/a1} = W * L + (6 * H * (L + W) + (9\pi * H^2)) \Rightarrow A_{d/a1} = 275,46(\text{m}^2)$$

$L_{a1}$ : Largo de estructura (3,5m)

$W_{a1}$ : Ancho estructura (2,5m)

$H_{a1}$ : Altura máxima (2,5m)

$$N_{d/a1} = DDT * (A_{d/a1} * C_{d/a1} * C_t * 10^{-6}) \Rightarrow N_{d/a1} = 0,000027546$$

$A_{d/a1}$ : Área efectiva de la estructura (275,46m<sup>2</sup> )

$DDT$ : Densidad de descargas a tierra (2)

$C_{d/a1}$ : Factor de localización (se escoge de la Tabla 4) (rodeado de objetos o arboles de mayor altura 0,25)

$C_t$ : Factor de corrección por transformador (ver Tabla 5) (transformador aislado eléctricamente 0,2)

### 6.1.3. Promedio anual de descargas en la estructura adyacente de donde proviene la acometida de comunicaciones ( $N_{d/a2}$ )

El  $N_{d/a2}$  se define como el promedio por año en que el edificio de donde viene el servicio de voz y datos recibe una descarga de un rayo y se puede determinar tal como se describe a continuación.

$$A_{d/a2} = W * L + (6 * H * (L + W) + (9\pi * H^2)) \Rightarrow A_{d/a2} = 64790,05(\text{m}^2)$$

$L_{a2}$ : Largo de estructura (64m)

$W_{a2}$ : Ancho estructura (61m)

$H_{a2}$ : Altura máxima (35m)

$$N_{d/a2} = DDT * (A_{d/a2} * C_{d/a2} * 10^{-6}) \Rightarrow N_{d/a2} = 0,1295$$

$A_{d/a2}$ : Área efectiva de la estructura (64790,05m<sup>2</sup> )

$DDT$ : Densidad de descargas a tierra (2)

$C_{d/a2}$ : Factor de localización (se escoge de la Tabla 4) (rodeado aislado sin objetos en la vecindad1)

#### **6.1.4. Promedio anual de descargas cercanas a la estructura ( $N_M$ )**

La cantidad anual de rayos que pueden caer cerca de la estructura de estudio se determina por medio del área de influencia de descargas (Ver Tabla 6) y las dimensiones de la misma.

$$A_M = 500 * (L + W) + \pi * 250^2 \Rightarrow A_M = 258349,54\text{m}^2$$

$L$ : Largo de estructura (75m)

$W$ : Ancho estructura (49m)

$$N_M = DDT * (A_M - A_d * C_d) * 10^{-6} \Rightarrow N_M = 0,2338$$

*DDT*: Densidad de descargas a tierra (2)

*A<sub>M</sub>*: Área de influencia de descarga (258349,54m<sup>2</sup>)

*A<sub>d</sub>*: Área efectiva de la estructura (24494,28m<sup>2</sup> )

*C<sub>d</sub>*: Factor de localización (se escoge de la Tabla 4) (rodeado de objetos o arboles de igual o menor altura 0,5)

### 6.1.5. Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia (*N<sub>L1</sub>*)

Este análisis se realiza para determinar la posibilidad que existe de que un rayo impacte la acometida que alimenta eléctricamente los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.

$$A_{L1} = (L_{C1} - 3(H_a + H_b))\sqrt{\rho} \Rightarrow A_{L1} = -65,395$$

*L<sub>C1</sub>*: Longitud de la sección de la acometida de servicio (15m)

*H<sub>a</sub>*: Altura de la estructura de donde proviene el servicio (2,5m)

*H<sub>b</sub>*: Altura de la estructura donde ingresa la acometida de servicio (17m)

*ρ*: Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada (2,26Ωm)

$$N_{L1} = DDT * A_{L1} * C_{d/a1} * C_t * 10^{-6} \Rightarrow N_{L1} = -0,00000653 \rightarrow 0$$

*DDT*: Densidad de descargas a tierra (2)

$A_{L1}$ : Área efectiva para descargas próximas a las acometidas de servicio (-65,395)

$C_{d/a1}$ : Factor de localización (se escoge de la Tabla 4) (rodeado de objetos o arboles de mayor altura 0,25)

$C_t$ : Corrección por presencia de transformador (se escoge de la Tabla 5) (transformador con devanados aislados eléctricamente 0,2)

#### **6.1.6. Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de comunicaciones ( $N_{L2}$ )**

Este análisis se realiza para determinar la posibilidad que existe de que un rayo impacte la acometida que provee con los servicios de voz y datos de los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.

$$A_{L2} = (L_{C2} - 3(H_a + H_b))\sqrt{\rho} \Rightarrow A_L = 72,15$$

$L_{C2}$ : Longitud de la sección de la acometida de servicio (204m)

$H_a$ : Altura de la estructura de donde proviene el servicio (35m)

$H_b$ : Altura de la estructura donde ingresa la acometida de servicio (17m)

$\rho$ : Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada (2,26 $\Omega$ m)

$$N_{L2} = DDT * A_{L2} * C_{d/a1} * C_t * 10^{-6} \Rightarrow N_{L2} = 0,00003607$$

$DDT$ : Densidad de descargas a tierra (2)

$A_{L2}$ : Área efectiva para descargas próximas a las acometidas de servicio (72,15)

$C_{d/a2}$ : Factor de localización (se escoge de la Tabla 4) (objeto rodeado de objetos o arboles más altos 0,25)

$C_t$ : Corrección por presencia de transformador (se escoge de la Tabla 5) (sin transformador 1)

### **6.1.7. Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de potencia ( $N_{i1}$ )**

Este análisis se realiza para determinar la posibilidad que existe de que un rayo impacte en un sitio cercano a la acometida que alimenta eléctricamente los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR. Dado que la estructura de estudio es subterránea se tiene que:

$$A_i = 25 * L_C * \sqrt{\rho} \Rightarrow A_i = 563,75$$

$L_C$ : Longitud de la sección de la acometida de servicio (15m)

$\rho$ : Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada (2,26 $\Omega$ m)

$$N_{i1} = DDT * A_i * C_e * C_t * 10^{-6} \Rightarrow N_i = 0,00002255$$

$DDT$ : Densidad de descargas a tierra (2)

$A_i$ : Área efectiva para descargas próximas a las acometidas de servicio (563,75)

$C_e$ : Factor ambiental (se escoge de la Tabla 7) (urbano con edificaciones entre 10m y 20m de altura 0,1)

$C_t$ : Corrección por presencia de transformador (se escoge de la Tabla 5)  
(transformador con devanados aislados eléctricamente 0,2)

### 6.1.8. Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de comunicaciones ( $N_{i2}$ )

Esta valoración es realizada para determinar la posibilidad que existe de que una descarga eléctrica impacte en un sitio cercano a la acometida que alimenta los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR con los servicios de voz y datos. Para acometida subterránea

$$A_{i2} = 25 * L_{C2} * \sqrt{\rho} \Rightarrow A_{i2} = 7666,98$$

$L_{C2}$ : Longitud de la sección de la acometida de servicio (204m)

$\rho$ : Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada (2,26 $\Omega$ m)

$$N_{i2} = DDT * A_{i2} * C_e * C_t * 10^{-6} \Rightarrow N_{i2} = 0,001533$$

$DDT$ : Densidad de descargas a tierra (2)

$A_{i2}$ : Área efectiva para descargas próximas a las acometidas de servicio (7666,98)

$C_e$ : Factor ambiental (se escoge de la Tabla 7) (urbano con edificaciones entre 10m y 20m de altura 0,1)

$C_t$ : Corrección por presencia de transformador (se escoge de la Tabla 5) (sin transformador 1)

## **6.2. VALORACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO $P_X$**

La probabilidad de daño evaluada en este apartado es válida siempre y cuando las medidas de protección consideradas cumplan con los requerimientos descritos en: la norma NTC 4552-3.

Esta evaluación es utilizada para determinar las medidas de protección para reducir lesiones a seres vivos y daños físicos a estructuras.

### **6.2.1. Probabilidad $P_A$ de lesiones a seres vivos causadas por tensiones de paso o de contacto.**

La tensión de paso es la diferencia de potencial que podría experimentar una persona entre sus pies con separación de 1 m, cuando se presenta una corriente de falla en una estructura cercana puesta a tierra, pero no se tiene contacto con ella. La tensión de contacto es la diferencia de potencial que podría experimentar una persona a través de su cuerpo cuando se presenta una corriente de falla en la estructura y al mismo tiempo tiene una mano o parte de su cuerpo en contacto con una estructura puesta a tierra. Para el análisis de riesgo se tiene que:

$P_A$ : Medidas de protección (ver Tabla 10) (sin medida de protección 1)

$P_A = 1$

### **6.2.2. Probabilidad $P_B$ De Daño A La Estructura Por Descargas Directas**

Es la probabilidad de recibir daños graves en la estructura si esta, posee o no un sistema de protección externa.

$P_B$ : Medidas de protección característica de la estructura (ver Tabla 11) (no protegida1)

$$P_B = 1$$

### **6.2.3. Probabilidad de daño de sistemas internos por impacto directo a la estructura ( $P_C$ )**

Esta es la probabilidad de daños internos en los sistemas internos en la estructura luego de recibir una descarga eléctrica atmosférica.

$P_C$ : Medidas de protección interna DPS (ver

Tabla 12) (sin sistema coordinado de protección)

$$P_C = P_{DPS} = 1$$

### **6.2.4. Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura ( $P_M$ )**

Esta es la probabilidad de daños internos de sistemas en la estructura luego de recibir un rayo sobre ella.

$$K_{MS} = K_{S1} + K_{S2} + K_{S3} + K_{S4} = 0,6$$

$$K_{S1} = K_{S2} = 1$$

$K_{S3}$ : Factor característico del cableado interno (ver Tabla 13) (cables sin pantalla-con precaución de evitar grandes lazos en la ruta 0,2)

$$K_{S4} = 1,5/U_w \Rightarrow K_{S4} = 3$$

$U_w$ : Menor valor de tensión soportada al impulso tipo rayo en contenido en el sistema a proteger en KV (0,5)

$P_M$ : Se escoge de la Tabla 14. Valores de  $P_{MS}$  en función de  $K_{MS}$  **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En función de  $K_{MS}$  (para  $K_{MS} \geq 0,4 \Rightarrow P_M = 1$ )

$$P_M = 1$$

#### **6.2.5. Probabilidad de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de toque o paso por descargas sobre las acometidas de servicio ( $P_U$ )**

Teniendo en cuenta que una persona está en constante contacto con la superficie de la estructura es necesario calcular la posibilidad de que alguien se sufra una lesión por una tensión de toque o paso en la edificación.

$P_U$ : La estructura no cuenta con DPS por tanto el valor de  $P_U$  toma el valor de  $P_{LD}$  de la Tabla 15 de acuerdo al apantallamiento de la acometida (cables no apantallados 1)

$$P_U = 1$$

#### **6.2.6. Probabilidad de daños físicos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios ( $P_V$ )**

$P_V$  Se conoce como la probabilidad que existe de tener daños físicos en la acometida de servicios que alimenta a los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.

$P_V$ : Debido a que no existen DPS en la edificación  $P_V$  toma el valor de  $P_{LD}$  (ver Tabla 15)

$$P_V = P_{LD} = 1$$

#### **6.2.7. Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios ( $P_W$ )**

Esta es conocida como la probabilidad que existan daños físicos internos debido a una descarga en la acometida de servicios que alimenta a los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.

$P_W$ : Debido a que no existen DPS en la edificación  $P_W$  toma el valor de  $P_{LD}$  (ver Tabla 15)

$$P_W = P_{LD} = 1$$

#### **6.2.8. Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios ( $P_Z$ )**

Es la probabilidad de que existan daños físicos en los sistemas internos debido a una descarga en la acometida de servicios que alimenta a los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.

$P_Z$ : Debido a que no existen DPS en la edificación  $P_Z$  toma el valor de  $P_{L1}$  (ver Tabla 16) no apantallado

$$P_Z = 1$$

## 7. PERDIDAS

En el análisis de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas es de vital importancia el estudio de las pérdidas que puedan darse por los efectos causados por el impacto de un rayo sobre la estructura o cercano a ella. Para esto se tiene en cuenta lo estipulado en el artículo 6.7 de la norma NTC 4552 – 2.

### 7.1. PERDIDA DE VIDAS HUMANAS $L_1$

Este es un factor de gran importancia para el análisis de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas, pues incluye el factor más sensible por el que se pueda ver afectada el mismo y es el tipo de pérdida o daño que puedan sufrir los humanos que se encuentren dentro o cerca de la estructura.

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

Este índice de pérdida o daño en las vidas humanas está relacionado con el nivel de tensión de paso o de contacto que sea calculado para el área circundante de nuestra estructura.

$$L_A = r_a * L_t \Rightarrow L_A = 0,0001$$

$r_a$ : Factor de reducción en función del suelo externo a la estructura (ver

Tabla 18) (agricultura, concreto  $10^{-2}$ )

$L_t$ : Permanencia de personas fuera de la estructura (ver Tabla 17) (todos los tipos de estructura personas fuera  $10^{-2}$  )

### **7.1.2. Pérdida de vidas humanas por fuego o explosión dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre la estructura ( $L_B$ )**

Es sabido que al momento de que un rayo impacte sobre alguna estructura existe la posibilidad de que se presente un arco eléctrico que a su vez inicie una conflagración en el interior o exterior de nuestra edificación de estudio. Por tal motivo se calcula el parámetro  $L_B$  que está directamente asociado con las medidas de protección contra incendios que existan en mi estructura.

$$L_B = r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f \Rightarrow L_B = 0$$

$r_p$ : Depende de las medidas de protección contra incendios (ver Tabla 19) (sin medidas de prevención 1)

$h_z$ : Incremento de pérdida debidos a daños físicos por condiciones especiales (ver

Tabla 21) (nivel de pánico medio entre 100 y 1000 personas 5)

$r_f$ : Factor de pérdida debido a daños físicos depende del riesgo a fuego de la estructura (ver Tabla 20) (ninguno 0)

$L_f$ : Pérdida de vidas humanas por daños físicos (ver Tabla 17) (Industrial, comercial, escuelas  $5 * 10^{-2}$ )

### **7.1.3. Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura ( $L_U$ )**

Ahora se evalúan las pérdidas que puedan ser ocasionadas por las tensiones de contacto que se presenten dentro de la estructura al momento de recibir una descarga sobre su superficie.

$$L_U = r_u * L_t \Rightarrow L_U = 10^{-7}$$

$r_u$ : Factor de reducción en función del suelo interno de estructura (ver

Tabla 18) (mármol, cerámica  $10^{-3}$ )

$L_t$ : Permanencia de personas fuera de la estructura (ver Tabla 17) (todos los tipos de estructura personas dentro  $10^{-4}$  )

#### **7.1.4. Pérdida de vidas humanas por daños físicos a causa de descargas en acometidas de servicios.**

Este tipo de pérdida se evalúa por medio de la siguiente ecuación

$$L_{V1} = r_p \cdot h_Z \cdot r_f \cdot L_f \Rightarrow L_{V1} = 0$$

$r_p$ : Depende de las medidas de protección contra incendios (ver Tabla 19) (sin medidas de prevención 1)

$h_Z$ : Incremento de pérdida debidos a daños físicos por condiciones especiales (ver

Tabla 21) (nivel de pánico medio entre 100 y 1000 personas 5)

$r_f$ : Factor de pérdida debido a daños físicos depende del riesgo a fuego de la estructura (ver Tabla 20) (ninguno 0)

$L_f$ : Pérdida de vidas humanas por daños físicos (ver Tabla 17) (Industrial, comercial, escuelas  $5 * 10^{-2}$ )

#### **7.1.5. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura. ( $L_{C1}$ )**

$L_{C1}$  Se conoce como el índice de pérdidas humanas por las fallas dadas en los sistemas internos causado por una descarga eléctrica atmosférica.

Debido a que los parámetros para determinar  $L_{C1}$  son inciertos se iguala  $L_{C1}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la Tabla 17 (hospitales  $10^{-3}$ )

$$L_{C1} = 10^{-3}$$

#### **7.1.6. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura**

$L_{M1}$  Se conoce como el índice de pérdidas humanas por las fallas dadas en los sistemas internos causado por una descarga eléctrica atmosférica próxima a la estructura de estudio.

Debido a que los parámetros para determinar  $L_{M1}$  son inciertos se iguala  $L_{M1}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la Tabla 17 (hospitales  $10^{-3}$ )

$$L_{M1} = 10^{-3}$$

#### **7.1.7. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $L_{W1}$ )**

$L_{W1}$  Se conoce como el índice de pérdidas humanas por las fallas dadas en los sistemas internos causado por una descarga eléctrica atmosférica sobre las acometidas de servicio de la estructura de estudio.

Debido a que los parámetros para determinar  $L_{W1}$  son inciertos se iguala  $L_{W1}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la Tabla 17 (hospitales  $10^{-3}$ )

$$L_{W1} = 10^{-3}$$

### **7.1.8. Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio.**

$L_{Z1}$ : Debido a que los parámetros para determinar  $L_{Z1}$  son inciertos se iguala  $L_{Z1}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la Tabla 17 (hospitales  $10^{-3}$ )

$$L_{Z1} = 10^{-3}$$

## **7.2. PÉRDIDA INACEPTABLE DEL SERVICIO PÚBLICO $L_2$**

### **7.2.1. Pérdida inaceptable del servicio público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura ( $L_{B2}$ )**

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

$$L_{B2} = r_p \cdot r_f \cdot L_f \Rightarrow L_{B2} = 0$$

$r_p$ : Depende de las medidas de protección contra incendios (ver Tabla 19) (sin medidas de prevención 1)

$r_f$ : Factor de pérdida debido a daños físicos depende del riesgo a fuego de la estructura (ver Tabla 20) (ninguno 0)

$L_f$ : Pérdida debido a daños físicos (ver Tabla 22) (Tv, TLC, suministro de potencia  $10^{-2}$ )

### **7.2.2. Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos a causa de descarga sobre las acometidas de servicios ( $L_{V2}$ )**

Las pérdidas de servicio público por 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 transmitido a través de la acometida de servicios, se pueden estimar como:

$$L_{V2} = r_p \cdot r_f \cdot L_f \Rightarrow L_{V2} = 0$$

$r_p$ : Depende de las medidas de protección contra incendios (ver Tabla 19) (sin medidas de prevención 1)

$r_f$ : Factor de pérdida debido a daños físicos depende del riesgo a fuego de la estructura (ver Tabla 20) (ninguno 0)

$L_f$ : Pérdida debido a daños físicos (ver Tabla 22) (Tv, TLC, suministro de potencia  $10^{-2}$ )

### **7.2.3. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura ( $L_{C2}$ )**

Las pérdidas de servicio público relacionadas con la falla de sistemas internos causado por IER (Impulsos Electromagnéticos del Rayo). Se puede ser calculada de la siguiente manera:

$L_{C2}$ : Debido a que los parámetros para determinar  $L_{C2}$  son inciertos se iguala  $L_{C2}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la

Tabla 22 (Tv, TLC, suministro de potencia  $10^{-3}$ )

$$L_{C2} = 10^{-3}$$

**7.2.4. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura ( $L_{M2}$ )**

Las pérdidas de servicio público relacionadas con la falla de sistemas internos causado por sobretensiones originadas por descargas próximas a la estructura, se puede estimar como:

$L_{M2}$ : Debido a que los parámetros para determinar  $L_{M2}$  son inciertos se iguala  $L_{M2}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la

Tabla 22 (Tv, TLC, suministro de potencia  $10^{-3}$ )

$$L_{M2} = 10^{-3}$$

**7.2.5. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $L_{W2}$ )**

Es posible calcular Las pérdidas de servicio público relacionadas a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura por impactos sobre las acometidas de servicio, de la siguiente manera:

$L_{W2}$  Debido a que los parámetros para determinar  $L_{W2}$  son inciertos se iguala  $L_{W2}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la

Tabla 22 (Tv, TLC, suministro de potencia  $10^{-3}$ )

$$L_{W2} = 10^{-3}$$

### **7.2.6. Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $L_{Z2}$ )**

Las pérdidas inadmisibles de interrupción el suministro de energía eléctrica por una falla ocasionada por una descarga cercana a las acometidas de servicio está dada así:

$L_{Z2}$ : Debido a que los parámetros para determinar  $L_{Z2}$  son inciertos se iguala  $L_{Z2}$  a  $L_o$  y se utiliza el valor promedio proporcionado por la

Tabla 22 (Tv, TLC, suministro de potencia  $10^{-3}$ )

$$L_{Z2} = 10^{-3}$$

## 8. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Con los datos que se calcularon anteriormente, ahora se puede proceder a realizar la valoración del riesgo teniendo en cuenta las componentes que nos provee la norma NTC 4552 – 2 (Vea Tabla 23 ) y las características de las características físicas y ambientales de la estructura para con esto realizar una comparación entre los riesgos tolerables y los obtenidos a través del análisis.

### 8.1. COMPONENTES DE RIESGO

**Tabla 23. Componentes del Riesgo**

Daño	Descargas sobre la Estructura S1	Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios S3 <sup>(1)</sup>	Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 <sup>(1)</sup>
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	$R_C = N_D * P_C * L_C$	$R_M = N_M * P_M * L_M$	$R_W = (N_L + N_{Da}) * P_W * L_W$	$R_Z = (N_I - N_L) * P_Z * L_Z$
<sup>1)</sup> 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 $R_Z = 0$				

Fuente: NTC 4525 – 2

## 8.2. DESCARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA S<sub>1</sub>

### 8.2.1. Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D1 (con la para pérdidas de vidas humanas) ( $R_A$ )

$$R_A = N_d * P_A * L_{A1} \Rightarrow R_A = 0,000002449$$

$N_d$ : Promedio anual de descargas sobre la estructura (0,02449)

$P_A$ : Probabilidad de daño de lesiones a seres humanos por tensiones de paso y contacto (1)

$L_A$ : Perdida de vidas humanas por tensiones de paso y de contacto fuera de la estructura (0,0001)

### 8.2.2. Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D2 (con lb para pérdidas de vidas humanas) ( $R_{B1}$ )

$$R_{B1} = N_d * P_B * L_{B1} \Rightarrow R_{B1} = 0$$

$N_d$ : Promedio anual de descargas sobre la estructura (0,02449)

$P_B$ : Medidas de protección característica de la estructura (ver Tabla 11) (no protegida 1)

$L_{B1}$ : Perdidas de vidas humanas por fuego o explosión  $L_{B1} = 0$

### 8.2.3. Descarga sobre la estructura s1 con respecto al daño d2 (con lb para pérdidas inaceptables del servicio público) ( $R_{B1}$ )

$$R_{B1} = N_d * P_B * L_{B2} \Rightarrow R_{B2} = 0$$

$N_d$ : Promedio anual de descargas sobre la estructura (0,02449)

$P_B$ : Medidas de protección característica de la estructura (ver Tabla 11) (no protegida 1)

$L_{B2}$ : Pérdidas de vidas humanas por fuego o explosión  $L_{B2} = 0$

#### **8.2.4. Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D3 (con $L_c$ para pérdidas de vidas humanas) ( $R_{C1}$ )**

$$R_{C1} = N_d * P_C * L_{C1} \Rightarrow R_{C1} = 0,00002449$$

$N_d$ : Promedio anual de descargas sobre la estructura (0,02449)

$P_C$ : Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos directos (1)

$L_{C1}$ : Pérdida de vidas humanas por fallas de sistemas internos ( $10^{-3}$ )

#### **8.2.5. Descarga sobre la estructura S1 con respecto al daño D3 (con $L_c$ para pérdidas inaceptables del servicio público) ( $R_{C2}$ )**

$$R_{C2} = N_d * P_C * L_{C2} \Rightarrow R_{C2} = 0,00002449$$

$N_d$ : Promedio anual de descargas sobre la estructura (0,02449)

$P_C$ : Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos directos (1)

$L_{C2}$ : Pérdida del servicio público por fallas de sistemas internos ( $10^{-3}$ )

### 8.3. DESCARGAS CERCANAS A LA ESTRUCTURA S<sub>2</sub>

#### 8.3.1. Descarga cercanas a la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Im para pérdidas de vidas humanas) ( $R_{M1}$ )

$$R_{M1} = N_M * P_M * L_{M1} \Rightarrow R_{M1} = 0,0002338$$

$N_M$ : Promedio anual de descargas cercanas a la estructura(0,2338)

$P_M$ : Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura (1)

$L_{M1}$ : Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura( $10^{-3}$ )

#### 8.3.2. Descarga cercanas a la estructura S2 con respecto al daño D3 (con Lm para pérdidas inaceptables del servicio público) ( $R_{M2}$ )

$$R_{M2} = N_M * P_M * L_{M2} \Rightarrow R_{M2} = 0,0002338$$

$N_M$ : Promedio anual de descargas cercanas a la estructura(0,2338)

$P_M$ : Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura (1)

$L_{M2}$ : Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura( $10^{-3}$ )

## 8.4. DESCARGAS SOBRE LAS ACOMETIDAS DE SERVICIOS S3

### 8.4.1. Descarga sobre acometida de servicio S3 con respecto al daño D1 – potencia ( $R_{U1}$ )

$$R_{U1} = (N_{L1} + N_{d/a1}) * P_U * L_U \Rightarrow R_{U1} = 2,1016 * 10^{-12}$$

$N_{L1}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia(-0,00000653)

$N_{d/a1}$ : Promedio anual de descargas estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia (0,000027546)

$P_U$ : Probabilidad de lesiones a seres vivos debido a tensiones de paso o contacto por descargas sobre las acometidas de servicio (1)

$L_U$ : Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura ( $10^{-7}$ )

### 8.4.2. Descarga sobre acometida de servicio s3 con respecto al daño d1 – comunicaciones ( $R_{U2}$ )

$$R_{U2} = (N_{L2} + N_{d/a2}) * P_U * L_U \Rightarrow R_{U2} = 1,2953 * 10^{-8}$$

$N_{L2}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de comunicaciones (0,00003607)

$N_{d/a2}$ : Promedio anual de descargas estructura adyacente de donde proviene la acometida de comunicaciones (0,1295)

$P_U$ : Probabilidad de lesiones a seres vivos debido a tensiones de paso o contacto por descargas sobre las acometidas de servicio (1)

$L_U$ : Pérdida de vidas humanas por tensiones de contacto dentro de la estructura ( $10^{-7}$ )

#### **8.4.3. Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros S3 con respecto al daño D3 (con $L_{W1}$ para pérdidas de vidas humanas) ( $R_{W1}$ )**

$$R_{W11} = (N_{L1} + N_{d/a1}) * P_W * L_{W1} \Rightarrow R_{W11} = 2,1016 * 10^{-12}$$

$N_{L1}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia(-0,00000653)

$N_{d/a1}$ : Promedio anual de descargas estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia (0,000027546)

$P_W$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1)

$L_{W1}$ : Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

$$R_{W12} = (N_{L2} + N_{d/a2}) * P_W * L_{W1} \Rightarrow R_{W12} = 0,0001295$$

$N_{L2}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de comunicaciones (0,00003607)

$N_{d/a2}$ : Promedio anual de descargas estructura adyacente de donde proviene la acometida de comunicaciones (0,1295)

$P_W$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1)

$L_{W1}$ : Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

#### **8.4.4. Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros s3 con respecto al daño d3 (con lw2 para pérdidas inaceptables del servicio público) ( $R_{W2}$ )**

$$R_{W21} = (N_{L1} + N_{d/a1}) * P_W * L_{W2} \Rightarrow R_{W11} = 2,1016 * 10^{-12}$$

$N_{L1}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia(-0,00000653)

$N_{d/a1}$ : Promedio anual de descargas estructura adyacente de donde proviene la acometida de potencia (0,000027546)

$P_W$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1)

$L_{W2}$ : Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

$$R_{W22} = (N_{L2} + N_{d/a2}) * P_W * L_{W2} \Rightarrow R_{W22} = 0,0001295$$

$N_{L2}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de comunicaciones (0,00003607)

$N_{d/a2}$ : Promedio anual de descargas estructura adyacente de donde proviene la acometida de comunicaciones (0,1295)

$P_W$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios (1)

$L_{W2}$ : Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

## **8.5. DESCARGAS CERCANAS A LAS ACOMETIDAS DE SERVICIOS S4**

### **8.5.1. Descarga cercanas a las acometidas de potencia, comunicaciones y otros S4 con respecto al daño D3 (con Lz1 para pérdidas de vidas humanas) ( $R_{Z1}$ )**

$$R_{Z11} = (N_{i1} - N_{L1}) * P_Z * L_{Z1} \Rightarrow R_{Z11} = 2,908 * 10^{-8}$$

$N_{i1}$ : Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de potencia (0,00002255)

$N_{L1}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia(-0,00000653)

$P_Z$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1)

$L_{Z1}$ : Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

$$R_{Z12} = (N_{i2} - N_{L2}) * P_Z * L_{Z1} \Rightarrow R_{Z12} = 1,4969 * 10^{-6}$$

$N_{i2}$ : Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de comunicaciones (0,001533)

$N_{L2}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de comunicaciones (0,00003607)

$P_Z$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1)

$L_{Z1}$ : Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

**8.5.2. Descarga cercanas a las acometidas de potencia, comunicaciones y otros s4 con respecto al daño d3 (con lz2 para pérdidas inaceptables del servicio público) ( $R_{Z2}$ )**

$$R_{Z21} = (N_{i1} - N_{L1}) * P_Z * L_{Z2} \Rightarrow R_{Z21} = 2,908 * 10^{-8}$$

$N_{i1}$ : Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de potencia (0,00002255)

$N_{L1}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de potencia(-0,00000653)

$P_Z$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1)

$L_{Z2}$ : Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

$$R_{Z22} = (N_{i2} - N_{L2}) * P_Z * L_{Z1} \Rightarrow R_{Z22} = 1,4969 * 10^{-6}$$

$N_{i2}$ : Promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de comunicaciones (0,001533)

$N_{L2}$ : Promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicios de comunicaciones (0,00003607)

$P_Z$ : Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios (1)

$L_{Z2}$ : Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicio ( $10^{-3}$ )

## 8.6. RIESGOS

### 8.6.1. Riesgo de pérdida de vidas humanas ( $R_1$ )

De la Tabla 3 se observan los componentes de cada riesgo, por tanto para hallar el riesgo total se debe realizar la sumatoria de los componentes

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \Rightarrow R_1 = 2.4619 * 10^{-6}$$

$R_A$ : Descarga sobre la estructura  $S_1$  con respecto al daño  $D_1$  (con la para pérdidas de vidas humanas) (0,000002449)

$R_B$ : Descarga sobre la estructura  $S_1$  con respecto al daño  $D_2$  (con  $L_{B1}$  para pérdidas de vidas humanas, con  $L_{B1}$  para perdidas inaceptables del servicio) ( $R_{B1} + R_{B2} = 0$ )

$R_U$ : Descarga sobre acometida de servicio  $S_3$  con respecto al daño  $D_1$  – potencia y comunicaciones ( $R_{U1} + R_{U2} = 2,1016 * 10^{-12} + 1,2953 * 10^{-8} = 1,2955101 * 10^{-8}$ )

$R_V$ : Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros  $s_3$  con respecto al daño  $d_2$  (con  $L_V$  para pérdidas de vidas humanas) ( $R_V = 0$ )

### 8.6.2. Riesgo de pérdida de servicios ( $R_2$ )

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \Rightarrow R_2 = 7.7863 * 10^{-4}$$

- $R_B$ : Descarga sobre la estructura  $S_1$  con respecto al daño  $D_2$  (con  $L_{B1}$  para pérdidas de vidas humanas, con  $L_{B1}$  para perdidas inaceptables del servicio) ( $R_{B1} + R_{B2} = 0$ )
- $R_C$ : Descarga sobre la estructura  $S_1$  con respecto al daño  $D_3$  (con  $L_{C1}$  para pérdidas de vidas humanas y con  $L_{C2}$  para perdidas inaceptables de servicio) ( $R_{C1} + R_{C2} = 0,00002449 + 0,00002449 = 0,00004898$ )
- $R_M$ : Descarga cercanas a la estructura  $S_2$  con respecto al daño  $D_3$  (con  $L_{M1}$  para pérdidas de vidas humanas y con  $L_{M2}$  para perdidas inaceptables de servicio) ( $R_{M1} + R_{M2} = 0,0002338 + 0,0002338 = 0,0004676$ )
- $R_V$ : Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros  $S_3$  con respecto al daño  $D_2$  (con  $L_V$  para pérdidas de vidas humanas) ( $R_V = 0$ )
- $R_W$ : Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros  $S_3$  con respecto al daño  $D_3$  (con  $L_{W1}$  para pérdidas de vidas humanas,  $L_{W2}$  para pérdidas inaceptables de servicios) ( $R_{W11} + R_{W12} + R_{W21} + R_{W22} = 2,1016 * 10^{-12} + 0,0001295 + 2,1016 * 10^{-12} + 0,0001295 = 2.59 * 10^{-4}$ )
- $R_Z$ : Descarga sobre acometida de potencia, comunicaciones y otros  $S_3$  con respecto al daño  $D_3$  (con  $L_{W1}$  para pérdidas de vidas humanas y  $L_{W2}$  para pérdidas inaceptables de servicios) ( $R_{Z11} + R_{Z12} + R_{Z21} + R_{Z22} = 2,908 * 10^{-8} + 1,4969 * 10^{-6} + 2,908 * 10^{-8} + 1,4969 * 10^{-6} = 0,000003051$ )

### 8.6.3. Riesgo de pérdidas de valor económico ( $R_4$ )

Este tipo de riesgo viene dado por la siguiente expresión:

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z = R_2 \Rightarrow R_4 = 7.7863 * 10^{-4}$$

## 8.7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A continuación en la tabla 24 se expresa una comparación de los riesgos obtenidos a partir de la implementación de la norma NTC 4552 – 2 a los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR en donde es fácil apreciar que todos los riesgos calculados están por debajo de los tolerables estipulado en la norma (vea Tabla 1) lo que indica que no es necesario la aplicación de ninguna medida de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.

**Tabla 24.** Comparación de riesgos calculados con riesgos tolerables dados por la NTC 4552 – 2.

Parámetro	Riesgo calculado	Riesgo tolerable $R_t$	Observación
Riesgo de pérdida de vidas humanas $R_1$	$2.4619 * 10^{-6}$	$10^{-5}$	Riesgo calculado menor al tolerable
Riesgo de pérdida de servicios $R_2$	$7.7863 * 10^{-4}$	$10^{-3}$	Riesgo calculado menor al tolerable
Riesgo de pérdidas de valor económico $R_4$	$7.7863 * 10^{-4}$	$10^{-3}$	Riesgo calculado menor al tolerable

En la Tabla 25 se muestran los resultados obtenidos al realizar el análisis de riesgo en la herramienta web proporcionada por la página de la Universidad Nacional de Colombia

Nota: los valores de la tabla se encuentran divididos por un factor de  $10^{-5}$

Tabla 25. Riesgos obtenidos comparados con los tolerables

Riesgo Obtenido	Riesgo Tolerable	Accion recomendada
R1 = 0.615	Rt1 = 1.000	-
R2 = 3.392	Rt2 = 100.000	-
R3 = 0.000	Rt3 = 100.000	-

Fuente: <http://www.paas.unal.edu.co>

Después de haber obtenido los resultados del análisis de riesgo, según la norma NTC 4552 – 2 a través de la herramienta web (ver Tabla 25) se observa que los valores son inferiores a los tolerables, lo cual confirma el desarrollo inicialmente realizado manualmente.

## 9. CONCLUSIONES

- Dentro del presente documento se logró demostrar que el riesgo de lesiones o pérdidas de vidas humanas ( $2.4619 * 10^{-6}$ ) se encuentran por debajo del nivel de riesgo tolerable ( $10^{-5}$ ) lo mismo sucede con el riesgo de pérdida de suministro de energía ( $7.7863 * 10^{-4}$ ) el cual se encuentra muy por debajo del máximo permitido ( $10^{-3}$ ) para los edificios de aulas A3, A4 y A5 de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.
- Como se pudo mostrar a través del análisis de riesgo contra descargas eléctricas atmosféricas de aulas A3, A4 y A5 que no es necesario la implementación de medidas correctivas para mitigar el efecto de rayos sobre la estructura y las personas que se encuentran tanto dentro como alrededor de esta.
- La posición geográfica de los edificios de aulas estudiadas en el presente documento y la no existencia de materiales combustibles en su estructura no existirán incendios al momento de una descarga ocasional. Los arboles que rodean la estructura ayudan a que si existe una descarga eléctrica estos puedan atraerla y evitar de que caiga en los edificios de aulas.
- El análisis de riesgo se realizó sobre el área de 49m x 75m en las que se encuentran ubicadas las edificaciones A3, A4 y A5, además del terreno baldío que corresponde al espacio donde se construirá el edificio A6, por tanto el análisis de riesgo realizado en el presente documento abarca las 4 construcciones y no es necesario realizar nuevamente el estudio cuando esta sea construida.

- Según el cálculo realizado del número de eventos peligrosos se obtuvo que el nivel más alto es el que corresponde a descargas cercanas a la estructura a proteger con un valor de 0,2338 [descargas/año] lo que indica que probablemente caerá un rayo cercano a la edificación cada 4 años.
  
- Contrastando los resultado obtenidos al realizar el análisis de riesgo de descargas atmosféricas realizados a mano (ver Tabla 24) con los datos obtenidos a través de la herramienta web se puede destacar que:
  - Para el valor de R1 que corresponde al riesgo de lesiones y/o pérdidas de vidas humanas se observa que existe una diferencia entre los dos datos de  $3,6881 \times 10^{-6}$  lo que es una diferencia relativamente baja lo que da veracidad a los resultados inicialmente calculados.
  - Para el caso de R2 se tiene una diferencia de  $7,4471 \times 10^{-4}$  lo que se consideraría una diferencia relativamente alta con respecto a los valores calculados, esto se debe a la discrepancia entre los componentes de riesgo simuladas y las calculadas Rc, Rw, Rz en la simulación tienen un bajo valor. Estas discrepancias no pueden ser revisadas a fondo porque la herramienta web no es de código abierto, es decir que es imposible apreciar el proceso que se realiza para calcular cada componente.

## 10.RECOMENDACIONES

El desarrollo de este documento arrojó una serie de recomendaciones que procuran mejorar y contribuir futuras investigaciones que estén relacionadas con el presente tema.

- Recomendamos que la estructura metálica que forma la escalera de los edificios posea una puesta a tierra para guiar una eventual descarga eléctrica al suelo, como para disipar posibles fallas internas en el fluido eléctrico.
- En caso de que existan tormentas eléctricas se recomienda que las personas acudan dentro de la estructura, para prevenir cualquier clase de daño o lesión en la vida.
- Se recomienda la realización de un software que calcule el análisis de riesgo de descargas atmosféricas basada en la norma NTC 4552 – 2 que pueda ser utilizado como una herramienta para futuros trabajos relacionados con el presente tema de estudio.

## 11. REFERENCIAS

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA, PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS  
*Eléctricas Atmosféricas.*  
*NTC 4552-1999*

REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE).  
*Ministerio De Minas Y Energía*  
*Resolución N° 18 0466 DE 2007*

CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, NORMA TÉCNICA COLOMBIANA.  
*Norma ICONTEC 2050-2000.*

FORMULARIO PARA OBTENER LA RESISTENCIA A TIERRA  
*Por Roberto Rúelas.*  
*Universidad de la salle*

SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS  
*Por Juan Ramón Eslava*

EVALUACIÓN DE RIESGO POR CAUSA DE RAYOS - NORMA NTC-4552  
<http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/Index.html>  
*Universidad Nacional De Colombia*

# **ANEXOS**

## Evaluación de Riesgo por causa de Rayos - Norma NTC-4552

Inicio
EVALUACIÓN DE RIESGO
DDT PARA COLOMBIA
DEFINICIONES

1. Datos de la estructura

**Ubicación y Entorno**

Largo  [m] Ancho  [m] Alto  [m]  Estructura con elementos protuberantes

Ubicación relativa:  DDT  [rayos/km<sup>2</sup>-año] [Tabla DDT](#) [Mapa NC](#)

Tipo de ambiente (entorno):

Tipo de suelo (exteriores):  Tipo de piso (interiores):

**Acometidas de Servicios**

Ubicación de la acometida  Resistividad del terreno  [Ω-m]

**Acometidas de energía**

Tipo de acometida  Altura  [m] Longitud de la línea  [m] Transformador

Información de estructuras adyacentes que comparten la misma acometida eléctrica:

Largo  [m] Ancho  [m] Alto  [m]

Ubicación relativa:

**Acometidas de datos**

Tipo de acometida  Altura  [m] Longitud de la línea  [m]

Información de estructuras adyacentes que comparten la misma acometida:

Largo  [m] Ancho  [m] Alto  [m]

Ubicación relativa:

2. Información de los sistemas de protección

**Información de la estructura**

Probabilidad de tensiones de paso y contacto dentro de la estructura:

No existen medidas de protección  Avisos de peligro  
 Aislamiento eléctrico de las bajantes  Concreto reforzado como bajante  
 Equipotencialización del suelo

Probabilidad de daños en la estructura:

**Información de protecciones en Acometidas de Servicios**

Tipos de DPS's  Características del cableado interno:

Ancho de la malla del apantallamiento externo  [m] Nivel de aislamiento de los equipos  [kV]

3. Tipos de estructuras

## 3. Tipos de pérdidas

**Peligros existentes**

Riesgo de Fuego:

Medidas para reducir el riesgo de Fuego:

Clase de peligros:

---

**Pérdidas promedio anuales para R1**

Tipos/uso de la estructura:

Personas expuestas

Personas fuera de la estructura

Personas dentro de la estructura

Posibles fallas en los servicios que representen pérdidas de vidas humanas:

---

**Pérdidas promedio anuales para R2**

Tipo del servicio:

---

**Pérdidas promedio anuales para R3**

Un valor recomendado por norma para las pérdidas para R3 es  $Lf=0.1$

## Evaluación de Riesgo por causa de Rayos - Norma NTC-4552

INICIO
EVALUACIÓN DE RIESGO
DDT PARA COLOMBIA
DEFINICIONES

## Resultados de la Evaluación de Riesgo

## Número de Eventos Peligros

- Impacto en la estructura Nd: 0.0245 Rayos/año
- Impactos cercanos a la estructura Nm: 0.3135 Rayos/año
- Impactos en las acometidas NL: -0,0000 Rayos/año
- Impactos cercanos a la acometida de servicio Ni: 0.0000 Rayos/año
- Impactos en las estructuras que comparten acometidas de servicios Nda: 0.0000 Rayos/año

## Componentes de Riesgo para R1

Tipo de daño	Fuente de daño				Riesgo por tipo de daño (D)
	Impacto en la estructura	Impacto cerca de la estructura	Impacto en la acometida de servicio	Impacto cerca de la acometida de servicio	
Lesiones a seres vivos	Ra = 0.002	-	Ru = 0.000	-	Rs = 0.002
Daño físico	Rb = 0.612	-	Rv = 0.001	-	Rf = 0.613
Falla de los sistemas internos	Rc = 0.000	Rm = 0.000	Rw = 0.000	Rz = 0.000	Ro = 0.000
<b>Riesgo por fuente de daño (S)</b>	<b>Rd = 0.615</b>	<b>Ri = 0.001</b>			<b>R1 = 0.615</b>

## Componentes de Riesgo para R2

Tipo de daño	Fuente de daño				Riesgo por tipo de daño (D)
	Impacto en la estructura	Impacto cerca de la estructura	Impacto en la acometida de servicio	Impacto cerca de la acometida de servicio	
Daño físico	Rb = 0.012	-	Rv = 0.000	-	Rf = 0.012
Falla de los sistemas internos	Rc = 0.245	Rm = 3.135	Rw = 0.000	Rz = 0.000	Ro = 3.380
<b>Riesgo por fuente de daño (S)</b>	<b>Rd = 0.257</b>	<b>Ri = 3.135</b>			<b>R1 = 3.392</b>

Los valores de Riesgo obtenidos comparados con los riesgos tolerables son:

Riesgo Obtenido	Riesgo Tolerable	Acción recomendada
R1 = 0.615	Rt1 = 1.000	-
R2 = 3.392	Rt2 = 100.000	-
R3 = 0.000	Rt3 = 100.000	-