

**APLICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552 DE
PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE
BOLÍVAR**

**ARNOLD DOMÍNGUEZ CRISMATT
ÁLVARO ANTONIO PUELLO ROCA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.**

2006

**APLICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552 DE
PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE
BOLÍVAR**

**ARNOLD DOMÍNGUEZ CRISMATT
ÁLVARO ANTONIO PUELLO ROCA**

Monografía como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electricista

Director
ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO
Ingeniero Electricista

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.**

2006

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena de Indias, Diciembre 7 de 2006

Cartagena de Indias D. T. y C., Diciembre 7 de 2006

Señores:

COMITÉ CURRICULAR

Universidad Tecnológica de Bolívar

Programas de Ing. Eléctrica y Electrónica

La Ciudad.

Respetados Señores:

Con toda atención, nos dirigimos a ustedes, con el fin de presentar a su consideración, estudio y aprobación, la Monografía titulada “**APLICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552 DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**”, como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Electricista.

Atentamente,

ÁLVARO ANTONIO PUELLO ROCA
C.C. 73'192.261 de Cartagena

ARNOLD DOMÍNGUEZ CRISMATT
C.C. 73'183.690 de Cartagena

Cartagena de Indias D. T. y C., Diciembre 7 de 2006

Señores:

COMITÉ CURRICULAR

Universidad Tecnológica de Bolívar

Programas de Ing. Eléctrica y Electrónica

La Ciudad.

Respetados Señores:

Por medio de la presente tengo el agrado de informarles que la monografía titulada “**APLICACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4552 DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**”, desarrollada por los estudiantes **Álvaro Antonio Puello Roca** y **Arnold Domínguez Crismatt** esta dentro de los objetivos establecidos. Como director de la misma, considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

Enrique Vanegas Casadiego
Ingeniero Electricista

AUTORIZACIÓN

Yo, ARNOLD DOMÍNGUEZ CRISMATT, identificado con la cédula de ciudadanía número 73'183.690 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catalogo on-line de la biblioteca.

ARNOLD DOMÍNGUEZ CRISMATT

AUTORIZACIÓN

Yo, ÁLVARO ANTONIO PUELLO ROCA, identificado con la cédula de ciudadanía número 73.192.261 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catalogo online de la biblioteca.

ÁLVARO ANTONIO PUELLO ROCA

A Dios gracias por llenarme de bendiciones, por permitirme tener una madre dedicada y luchadora a la que le dedico mis triunfos y los que obtendré en el mañana porque por su amor, su apoyo y sus sacrificios me he convertido en un profesional.

A mi padre que desde el cielo me observa y me envía todo su amor para que nunca me deje vencer.

A mis hermanos Carlos y Liceth Domínguez, los que nunca han dejado de apoyarme a lo largo de mi vida.

A mi sobrino Roberto Carlos y Angelly Johana, en los que veo a los futuros profesionales de la familia.

A mi cuñado Ramiro quien en algunas ocasiones aportó con su interés los deseos de mi superación.

Y finalmente a mi novia Ivon Carolina quien durante en mis años de estudio siempre estuvo a mi lado, me ha apoyado incondicionalmente y que hoy toma mi triunfo como si fuese de ella.

Arnold Domínguez Crismatt

*A Dios, por ser mi fiel amigo y el único motor y transformador de vidas.
A mi familia; mis padres y mi hermano, quienes gracias a Dios han estado siempre
allí a mi lado como los pilares fundamentales en la consecución de este segundo
sueño; el de ser Ingeniero Electricista.
A mi novia Adriana Marcela; su personalidad y sus dones han sido el mejor
ejemplo de vida durante los más de cuatro años que ha estado a mi lado.
A mi tío Hernando Roca, porque lo mas seguro es que sin el apoyo económico de
Inseplast me hubiese sido mas difícil llegar al lugar que ya he alcanzado hoy.
A los docentes del programa de Ingeniería Eléctrica y a toda la UTB en general, ya
que gracias a mi preparación pude disfrutar de la experiencia laboral y personal
más enriquecedora de mi vida: las prácticas profesionales que realice en XM SA
ESP, empresa filial del Grupo Empresarial ISA.*

Álvaro Antonio Puello Roca

CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1. <u>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, NTC 4552</u>	3
1.1 <u>OBJETO DE LA NORMA NTC 4552</u>	5
1.2 <u>ALCANCE DE LA NORMA NTC 4552</u>	5
1.3 <u>SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SIPRA</u>	5
1.3.1 <u>Generalidades</u>	5
1.3.2 <u>Metodología para Evaluar el Nivel de Riesgo y Establecer las Acciones de Prevención</u>	7
1.3.3 <u>Sistema de Protección Externo, SPE</u>	12
1.3.4 <u>Sistema de Protección Interno, SPI</u>	19
1.3.5 <u>Guía de Seguridad Personal</u>	23
1.3.6 <u>Sistema de Detección de Tormentas</u>	24
2. <u>NORMAS INTERNACIONALES SOBRE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS</u>	25
2.1 <u>LA NORMA INTERNACIONAL IEC 61662</u>	25
2.2 <u>LA NORMA BRITÁNICA BS 6651</u>	40
2.3 <u>LA NORMA NORTEAMERICANA NFPA 780</u>	45
3. <u>ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS</u>	50
3.1 <u>DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN EXTERNOS</u>	50
3.2 <u>DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN INTERNOS</u>	58
4. <u>CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR</u>	69

4.1	<u>APLICACIÓN DE LA NORMA NTC 4552</u>	70
4.1.1	<u>Biblioteca Luís Enrique Borja Baron</u>	73
4.1.2	<u>Edificio de Bienestar Universitario</u>	75
4.1.3	<u>Edificio de Aulas 1</u>	77
4.1.4	<u>Edificio de Aulas 2</u>	79
4.1.5	<u>Auditorio Napoleón de la Rosa</u>	81
4.2	<u>APLICACIÓN DE LA NORMA INTERNACIONAL IEC 61662</u>	83
4.3	<u>APLICACIÓN DE LA NORMA BRITÁNICA BS 6651</u>	92
4.4	<u>APLICACIÓN DE LA NORMA NORTEAMERICANA ANSI/NFPA 780</u>	93
4.5	<u>APLICACIÓN DEL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO AL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO ACTUAL DE LA UTB</u>	95
4.6	<u>ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS</u>	97
5.	<u>GUÍA DE SEGURIDAD PERSONAL EN LA UTB DURANTE TORMENTAS ELÉCTRICAS</u>	99
5.1	<u>LUGARES DE ALTO RIESGO DURANTE UNA TORMENTA EN LA UTB</u>	100
5.2	<u>LUGARES QUE SE DEBEN ABANDONAR EN CASO DE UNA TORMENTA ELÉCTRICA</u>	100
5.3	<u>LUGARES ADECUADOS PARA PROTEGERSE DE UN RAYO</u>	101
5.4	<u>ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS</u>	102
5.5	<u>TABLA DE VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE RECOMENDACIONES</u>	104
6.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	106
	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	109
	<u>ANEXOS</u>	112

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema Integral de protección contra rayos – SIPRA	6
Figura 2. Sistema Integral de Protección contra Rayo – SIPRA	7
Figura 3. Metodología para evaluar el nivel de riesgo	8
Figura 4. Componentes de SPE	12
Figura 5. Equipotencialización	17
Figura 6. Causas de las sobretensiones por descargas de rayos	19
Figura 7. Sistema T-N-C-S (PME)	22
Figura 8. Representación del área equivalente A_g	27
Figura 9. Área efectiva total del conjunto	41
Figura 10. Cálculo de A_e de estructuras rectangulares	47
Figura 11. Cálculo de A_e de estructuras que poseen una parte prominente fuera de ella	47
Figura 12. Tecnologías de dispositivos de protección externa	57
Figura 13. Circulo efectivo de protección contra sobretensiones	59
Figura 14. Dispositivos supresores multietapas	62
Figura 15. Zonas de Protección	62
Figura 16. Distribución de probabilidad acumulada Vs. DRT para Cartagena	71
Figura 17. Área protegida por el pararrayos de la UTB	96

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Componentes del sistema integral de protección contra rayos – SIPRA	6
Tabla 2. Indicador de parámetros del rayo	9
Tabla 3. Indicador de Gravedad	10
Tabla 4. Subindicador relacionado con el uso de la estructura	10
Tabla 5. Subindicador relacionado con el tipo de estructura	10
Tabla 6. Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura	11
Tabla 7. Matriz de niveles de riesgo	11
Tabla 8. Acciones recomendadas según el nivel de riesgo	11
Tabla 9. Características para terminales de captación	13
Tabla 10. Requerimientos para las bajantes	14
Tabla 11. Tensión al impulso que deben soportar los equipos	20
Tabla 12. Normas Nacionales sobre protección contra rayos	25
Tabla 13. Área equivalente para servicios principales (energía)	28
Tabla 14. Área equivalente para líneas de comunicaciones	29
Tabla 15. Tipos y fuentes de daños	30
Tabla 16. Valores de probabilidad r'_h debido a tensiones de paso y de contacto	31
Tabla 17. Valores de r'_i (daños) y k_i	32

Tabla 18. Valores de probabilidad de chispas peligrosas en instalaciones internas metálicas y eléctricas	33
Tabla 19. Valores de k_1 y k_2 pertinentes a medidas de protección	33
Tabla 20. valores de r'_3 y r'_4	34
Tabla 21. Valores de k_3 y k_4	34
Tabla 22. Valores representativos de riesgo aceptable	37
Tabla 23. Medidas a implementar según el tipo de daño	39
Tabla 24. Relación entre nivel ceráuneo y densidad de rayos a tierra según BS 6651-1999	41
Tabla 25. Tabla comparativa de mortalidad por año de exposición	42
Tabla 26. Factor A (Uso de la edificación)	43
Tabla 27. Factor B (Tipo de construcción)	43
Tabla 28. Factor C (Contenido o consecuencias)	43
Tabla 29. Factor D (Grado de aislamiento)	44
Tabla 30. Factor E (Tipo de terreno)	44
Tabla 31. Daños según el uso de la estructura.	45
Tabla 32. Determinación del coeficiente del ambiente C_1	47
Tabla 33. Coeficiente C_2 del tipo de la estructura	48
Tabla 34. Coeficiente C_3 del contenido de la estructura	48
Tabla 35. Coeficiente C_4 de la ocupación de la estructura	48
Tabla 36. Coeficiente C_5 de las consecuencias de los rayos	49
Tabla 37. Lista de verificaciones de las recomendaciones ante una tormenta eléctrica	102

GLOSARIO

BE: barraje equipotencial. Conductor en forma de barra, placa o cable que permite la unión de dos o más conductores y que garantiza el mismo potencial.

DPS (*Surge Protective Device*): Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias. Dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias, evacuando las corrientes asociadas a dichas sobretensiones.

LPS: *Ligthing Protection System*; Sistema de Protección contra Rayos.

MCOV (*Maximun Continuous Operating Voltaje*): Máxima tensión c.a. o c.c. que puede ser aplicada continuamente a un DPS en cualquier modo de protección. Es igual a la tensión nominal del dispositivo.

NC, nivel cerámico: Número de días al año en los cuales es oído por lo menos un trueno.

PE: Conductor de tierra de protección.

PEN: Conductor de neutro y de tierra de protección.

PTPR: Puesta a tierra de protección contra rayos

TNCS: Sistema con el neutro puesto a tierra.

INTRODUCCIÓN

El estudio científico de la protección contra el fenómeno eléctrico mas sorprendente que conozcamos en la naturaleza se remonta a Benjamín Franklin, cuando en 1772, desarrollo la técnica de protección basada en provocar la descarga, colocando a la mayor altura posible una varilla (punta pararrayos) que disminuye la altura entre la nube y la tierra, facilitando de esta manera la atracción del líder de la descarga eléctrica atmosférica, el cual, cuando toca la varilla inicia su conducción a tierra.

Desde 1980 se ha avanzado mucho a nivel internacional, en el tema de la protección contra descargas eléctricas atmosféricas. Las normas actuales, correctamente interpretadas y aplicadas, suministran para estructuras ordinarias, un nivel de seguridad aceptable a la luz del estado actual de la técnica.

Para asegurar la vida de los seres vivos, el adecuado funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos y evitar acciones legales, incluidas demandas por pérdidas económicas, las normas de protección contra rayos deben estar basadas en principios científicos probados y argumentos técnicos incuestionables.

Es por ello que hace seis años se cuenta con una norma técnica colombiana de protección contra rayos, la cual ya tuvo su primera actualización hace dos años, sin embargo aun es de poco conocimiento entre las compañías del sector de la construcción, ingenieros y propietarios de edificaciones propensas a recibir la descarga de un rayo.

Por lo anterior, el objetivo principal de este trabajo es el de aplicar y dar a conocer la metodología que se establece en la norma técnica colombiana NTC 4552 de protección contra rayos para evaluar la necesidad de un sistema de protección contra rayos por medio de su aplicación en algunos de los edificios que forman parte de la infraestructura de la Universidad Tecnológica de Bolívar como son la Biblioteca Luís Enrique Borja Barón, Bienestar Universitario, Aulas 1, Aulas 2 y el Auditorio Napoleón de la Rosa, todos ubicados en el campus de Ternera.

De esta manera, las temáticas contenidas en esta investigación están organizadas de la siguiente manera:

El primer capítulo da a conocer la norma técnica colombiana de protección contra rayos, NTC 4552. El capítulo dos muestra los apartes más relevantes de las normas internacionales más importantes sobre protección contra rayos como son la norma internacional IEC 61024-1-1, la británica BS 6651 y la norteamericana ANSI/NFPA 780. El tercer capítulo describe el estado actual y las tendencias en los sistemas de protección contra rayos. El capítulo cuatro presenta la aplicación de la NTC 4552 en las edificaciones más importantes de la UTB del campus de Ternera. Y por último, el quinto capítulo presenta una guía general de los comportamientos a adoptar por la comunidad de la UTB durante una tormenta eléctrica.

1. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, NTC 4552

La Norma Técnica Colombiana, fue concebida para estar en armonía con las normas nacionales e internacionales con base a resultados de investigaciones de diferentes instituciones, de consultorías y universidades colombianas, durante más de 18 años. La norma fue desarrollada durante cuatro años (1994-1999) y actualizada en el año 2004 por ingenieros e investigadores de todo el país, convocados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC, evaluada por el Comité Técnico Colombiano y aprobada por el Consejo Directivo del ICONTEC en septiembre de 1999, para su publicación como Norma Técnica Colombiana sobre protección contra rayos, NTC 4552.

La NTC 4552 es una norma de carácter general que pretende dar principios físicos aplicables para unas buenas prácticas de ingeniería, con el fin de disminuir los efectos de los rayos, que pueden ser de tipo electromagnético, mecánico o térmico. En general, una protección contra rayos totalmente efectiva no es técnica ni económicamente viable, pero si se siguen las recomendaciones de la norma, la probabilidad de daños será mínima.

El rayo es un fenómeno meteorológico de origen natural, cuyos parámetros son variables espacial y temporalmente¹. Como se puede comprobar en la figura² del

¹ ESCOBAR Gonzalo y SIERRA Leonardo. Investigaciones sobre las descargas eléctricas atmosféricas en Colombia. Monografía (Ingeniero Eléctrico). Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena. 120 Pág.

² NASA. Pagina web: <http://thunder.msfc.nasa.govdataquery2004mission.png>

Anexo C, la mayor incidencia de rayos en el mundo, se da en las tres zonas de mayor convección profunda: América tropical, África central y norte de Australia. Colombia, por estar ubicada en la zona de confluencia intertropical, presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta; de allí la importancia de la normalización de la protección contra dicho fenómeno, pues si bien los métodos desarrollados a nivel mundial aplican para Colombia, algunos parámetros del rayo, como densidad de descargas a tierra o nivel cerámico, son particulares para nuestro país.

Todas las consideraciones para la implementación del SIPRA (Sistema Integral de Protección contra Rayos), tales como las especificaciones, materiales y ubicación, deben ser tenidas en cuenta, preferiblemente, en la etapa de diseño de la estructura a construir. Ello implica un consenso entre los diseñadores, constructores, instaladores y propietarios. Solo así será más benéfico y menos costoso llegar a conciliar las exigencias técnicas con la parte estética. La implementación del SIPRA parte de la base que los cableados de la instalación a proteger están de acuerdo con lo establecido en la NTC 2050³.

Los componentes principales de la norma NTC 4552 son: Evaluación del nivel de riesgo, definiciones, datos estadísticos para obtener los parámetros del rayo, materiales para terminales de captación, bajantes y puestas a tierra, criterios para inspección, cálculos y mantenimiento y los aspectos mínimos para dimensionar protecciones internas.

En los siguientes numerales se pretende mostrar de forma general⁴ la norma colombiana de protección contra rayos, para que sea de total conocimiento en la comunidad de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

³ Código Eléctrico Colombiano

⁴ Para conocer el documento completo de la NTC 4552 buscar en los anexos del CD-ROM

1.1 OBJETO DE LA NORMA NTC 4552

La NTC 4552 establece la metodología que debe ser utilizada para propender por la seguridad de las personas ubicadas en estructuras de uso común, expuestas a impactos directos o indirectos de rayos.

1.2 ALCANCE DE LA NORMA NTC 4552

La norma NTC 4552 es aplicable al diseño, construcción, inspección y mantenimiento de un sistema integral de protección contra rayos (SIPRA) para estructuras de uso común, tales como teatros, centros educativos, iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones. La norma no es aplicable a sistemas de transmisión, generación ni distribución de energía eléctrica, instalaciones de comunicaciones, medios de transporte ni estructuras que contienen explosivos o químicos.

1.3 SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SIPRA

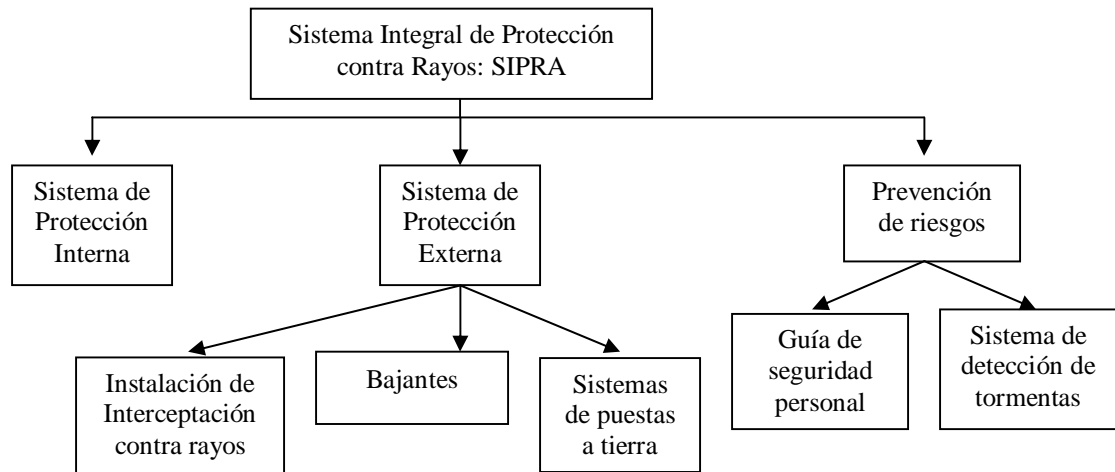
1.3.1 Generalidades. Respecto a los rayos, se puede afirmar, sin lugar a dudas, que no existen medios para evitarlos pero sí medidas para ejercer un control que ofrezca seguridad a las personas y a los equipos eléctricos y electrónicos. Por tanto, las precauciones de protección apuntan hacia los efectos secundarios y a las consecuencias⁵ de un rayo.

En la Figura 1 se presenta esquemáticamente el Sistema Integral de Protección contra Rayos (SIPRA), que se recomienda para ser utilizado en Colombia para

⁵ Comparar también con la página web: <http://www.pararrayos.org/fenomeno/efectos.htm> de la Empresa INT AR,S.L. Efectos y consecuencias de los rayos.

una eficaz protección contra rayos y la explicación de la función que cumple cada uno de sus componentes se observa en la Tabla 1.

Figura 1. Sistema Integral de protección contra rayos – SIPRA.



Fuente: NTC 4552-2004

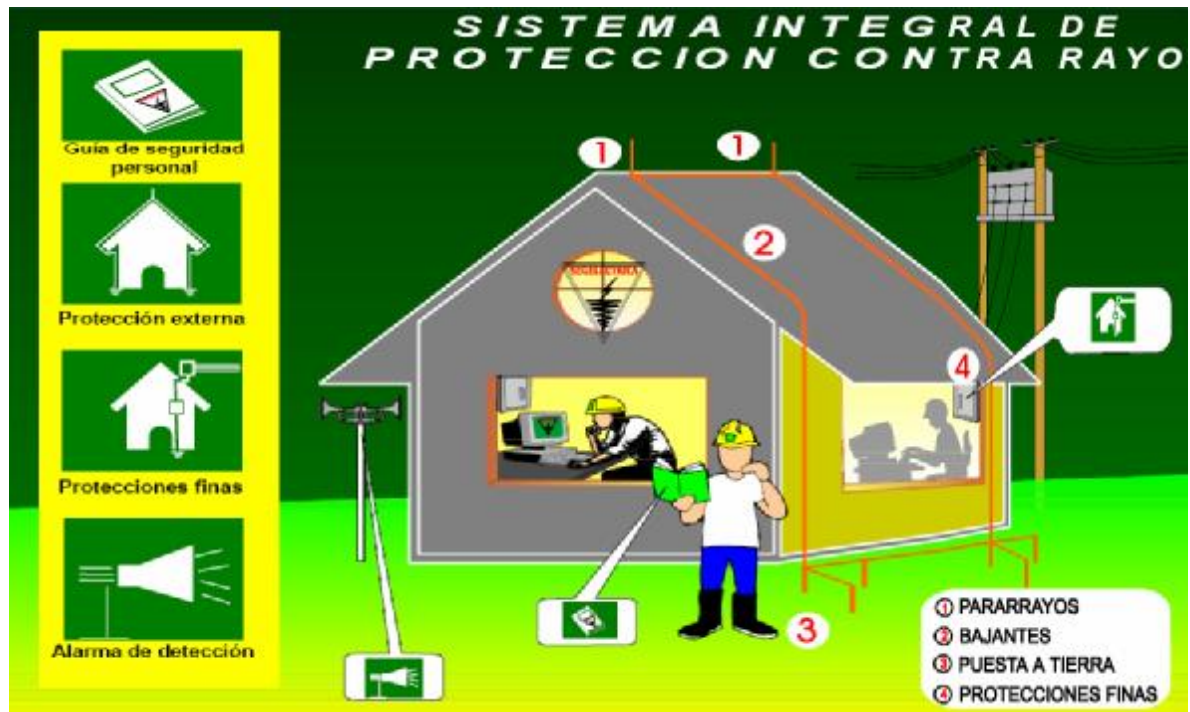
Tabla 1. Componentes del sistema integral de protección contra rayos – SIPRA.

COMPONENTE	FUNCIÓN QUE CUMPLE
1. Sistema de protección interno, SPI	Limitar las sobretensiones transitorias al interior de la instalación.
1.1 Equipotencialización con DPS o conductores	Limitar sobretensiones.
1.2 Apantallamientos localizados	Reducir efectos internos del campo magnético en equipos electrónicos
1.3 Topología de cableados	
1.4 Instalación de filtros	
2. Sistema de protección externo, SPE	Captar los rayos y llevarlos a tierra de forma segura.
2.1 Terminales de captación	Interceptar los rayos
2.2 Bajantes	Conducir las corrientes de rayo
2.3 Puestas a tierra de protección contra rayos	Dispersar y disipar las corrientes de rayo
3. Prevención de riesgos	
3.1 Guía de seguridad personal	Formación para adquirir comportamientos seguros
3.2 Sistema de alarma o detección de tormentas	Anunciar la cercanía de tormentas eléctricas

Fuente: NTC 4552

En la Figura 2 se puede observar una ilustración representativa de una edificación de uso común con la aplicación del SIPRA.

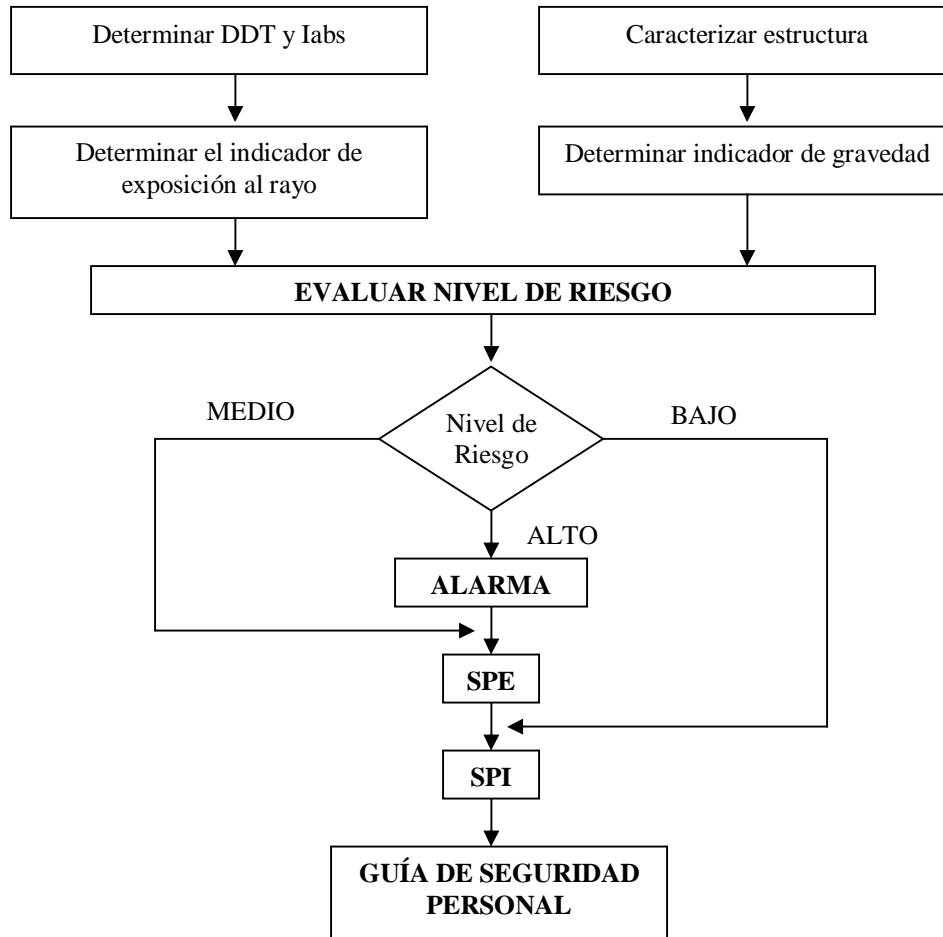
Figura 2. Sistema Integral de Protección contra Rayo – SIPRA



Fuente: Energía y Telecomunicaciones, Telergia. Seguridad Eléctrica, Filosofía de Protección, Sistema de Protección Integral Contra Rayos aplicables a Radiobase de Telecomunicaciones. Página web: http://www.sertec.com.py/telergia/telergia/informaciones/seguridad_electrica_7mo.html

3.2 Metodología para evaluar el nivel de riesgo y establecer las acciones de prevención. La metodología para la evaluación del nivel de riesgo dado en la Figura 3 se realiza para determinar si se requiere implementar un sistema de protección contra rayos y las acciones que permitan disminuir el riesgo a un nivel tolerable. El nivel de riesgo se obtiene de la ponderación de los indicadores de exposición al rayo y de la gravedad que puede implicar un impacto directo o indirecto de rayo sobre una estructura.

Figura 3. Metodología para evaluar el nivel de riesgo



Fuente: NTC 4552

El indicador de exposición al rayo de la Tabla 2 se obtiene a partir de la densidad de descargas a tierra - DDT, y la corriente pico absoluto promedio - I_{abs} , expresada en kiloamperios, asignando una mayor relevancia a la primera de éstas, debido a que existe mayor probabilidad de que una estructura se vea afectada dependiendo de la cantidad de descargas a la que está expuesta, que de la intensidad de las mismas. Por esta razón, se tomaron proporciones de 0,7 para la DDT y de 0,3 para la I_{abs} , obteniendo la siguiente expresión:

$$\text{Riesgo} = 0.7 * R_{DDT} + 0.3 * R_{I_{abs}}$$

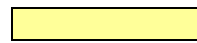
Siendo R_{DDT} el aporte al riesgo debido a la densidad de descargas a tierra, y $R_{I_{abs}}$ el aporte al riesgo ocasionado por la magnitud de la corriente pico absoluta promedio.

Tabla 2. Indicador de parámetros del rayo

Densidad de descargas a tierra [Descargas/km ² – año]	Corriente pico absoluta promedio [kA]		
	$40 \leq I_{abs}$	$20 \leq I_{abs} < 40$	$I_{abs} < 20$
$30 \leq DDT$			
$15 \leq DDT < 30$			
$5 \leq DDT < 15$			
$DDT < 5$			



Severos



Altos



Medios



Bajos

Fuente: NTC 4552

Los valores de I_{abs} y de DDT deben tener el 50% de probabilidad de ocurrencia, o menos, a partir de datos multianuales. Además se debe tomar un área de 9 km² (3 km x 3 km) o menos, teniendo en cuenta la exactitud en la localización (*location accuracy*) y la exactitud en la estimación de la corriente pico de retomo (*Lightning Peak Current Accuracy*) del sistema de localización de rayos. Al encontrar la DDT con sistemas de localización confiables, implícitamente se considera la latitud y la orografía del área, es decir, montaña, ladera, plano.

Sumando los valores de los subindicadores relacionados con la estructura, como son el uso, el tipo y la combinación de altura y área, de acuerdo con las Tablas 4, 5 y 6 se obtiene el indicador de gravedad (I_G) de la Tabla 3, que se puede presentar en la estructura.

$$I_G = I_{USO} + I_r + I_M$$

En donde:

I_{USO} = Subindicador relacionado con el uso de la estructura

I_r = Subindicador relacionado con el tipo de estructura

I_M = Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura

Para obtener el indicador de gravedad se suman los subindicadores relacionados con el uso, tipo y geometría de la estructura.

Tabla 3. Indicador de Gravedad

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
0 a 35	Leve
36 a 50	Baja
51 a 65	Media
66 a 80	Alta
81 a 100	Severa

Fuente: NTC 4552

A continuación se presentan las tablas para obtener los subindicadores:

Tabla 4. Subindicador relacionado con el uso de la estructura

Clasificación de estructuras	Ejemplos de estructuras	Indicador
A	Teatros, centros educativos, iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones	40
B	Edificios de oficinas, hoteles, viviendas, grandes industrias, áreas deportivas cubiertas	30
C	Pequeñas y medianas industrias, museos, bibliotecas, sitios históricos y arqueológicos	20
D	Estructuras no habitadas	0

Fuente: NTC 4552

Tabla 5. Subindicador relacionado con el tipo de estructura

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40
Mixta	20
Metálica	0

Fuente: NTC 4552

Tabla 6. Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura

Altura y área de la estructura	Indicador
Área menor a 900 m ²	
Altura menor a 25 m	5
Altura mayor o igual a 25 m	20
Área mayor o igual a 900 m ²	
Altura menor a 25 m	10
Altura mayor o igual a 25 m	20

Nota: El ingeniero encargado de la evaluación del nivel de riesgo para protección contra rayos, debe tomar en consideración la influencia de estructuras adyacentes a la evaluada.

Para concluir sobre el nivel de riesgo se ponderan los indicadores de exposición al rayo y de gravedad con la Tabla 7:

Tabla 7. Matriz de niveles de riesgo

Gravedad \ Parámetros	Severa	Alta	Media	Baja	Leve
Severos					
Altos					
Moderados					
Bajos					

Nivel de Riesgo de la estructura Alto Medio Bajo

Fuente: NTC 4552

De acuerdo con el nivel de riesgo el SIPRA debe estar conformado por los componentes que le correspondan según lo establece la Tabla 8.

Tabla 8. Acciones recomendadas según el nivel de riesgo

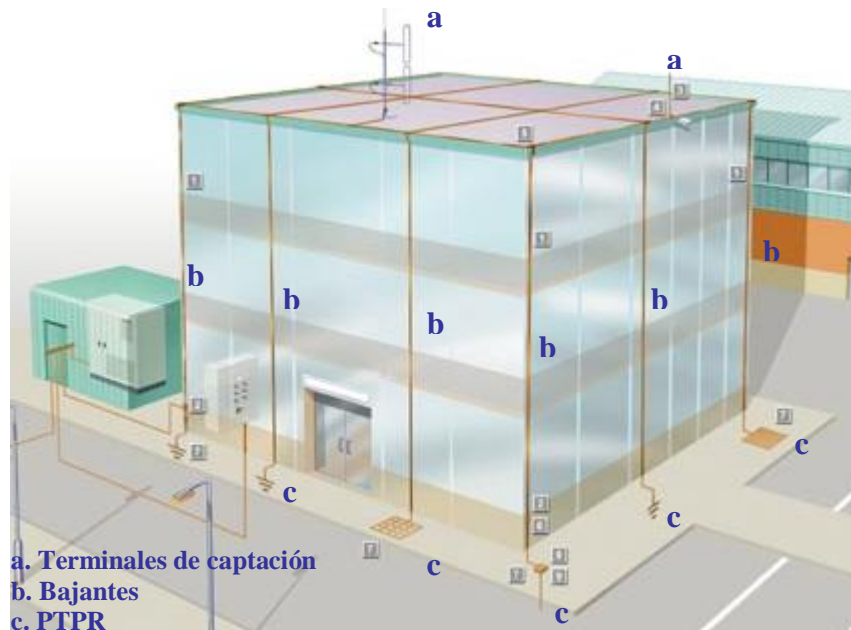
NIVEL DE RIESGO	ACCIONES RECOMENDADAS
NIVEL DE RIESGO BAJO	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
NIVEL DE RIESGO MEDIO	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
	SPE
NIVEL DE RIESGO ALTO	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050 – IEEE 1100
	SPE
	Plan de prevención y contingencia

Fuente: NTC 4552

Como acciones complementarias, especialmente para el nivel de riesgo alto, se debe considerar la implementación de sistemas de protección contra incendios y sistemas de energía eléctrica de respaldo.

1.3.3 Sistema de protección externo, SPE. Tal y como se muestra en la Figura 4, el SPE⁶ comprende los terminales de captación, las bajantes, la PTPR, conectores, herrajes y otros equipos que se requieren para completar el sistema.

Figura 4. Componentes del SPE



Fuente: Furse Corporation. How to apply lightning protection. <http://www.furse.com/elp/howtolp.htm>



Terminales de captación. Tienen la función de interceptar los rayos que pueden impactar directamente sobre la instalación a proteger. Para el diseño de las instalaciones de interceptación de rayos se recomienda utilizar los principios del modelo electrogeométrico⁷.

⁶ Comparar con la página web: <http://www.furse.com/elp/howtolp.htm> de la compañía Furse, Componentes y aplicación la protección contra rayos, en inglés.

⁷ Para conocer mas del modelo electrogeométrico, ir a los anexos adjuntos en el CD-ROM

En la Tabla 9 se presentan las características que deben cumplir los terminales de captación construidos especialmente para este fin.

Se debe de tener en cuenta que los terminales de captación deben ser preferiblemente varillas sólidas o tubulares en forma de bayonetas; con una altura por encima de las partes altas de la estructura no menor a 0,25m para intervalos máximos de 6m entre puntas y no menor a 0,6m para intervalos máximos de 8m. En caso de que un terminal exceda los 0,6m por encima de las partes altas de la estructura se debe sujetar en un punto no menor a la mitad de su altura.

Tabla 9. Características para terminales de captación

Tipo y material del terminal		Diámetro mínimo (mm)	Espesor mínimo (mm)	Calibre mínimo (AWG)	Ancho (mm)
VARILLA	Cobre	9,6	No aplica	No aplica	No aplica
	Bronce	8	No aplica	No aplica	No aplica
	Acero	8	No aplica	No aplica	No aplica
CABLE	Cobre	7,2	No aplica	2	No aplica
	Acero	8	No aplica	No aplica	No aplica
TUBO	Cobre	15,9	4	No aplica	No aplica
	Bronce	15,9	4	No aplica	No aplica
LAMINAS	Cobre	No aplica	4	No aplica	12,7
	Acero	No aplica	4	No aplica	12,7
	Hierro	No aplica	5	No aplica	12,7

Fuente: NTC 4552

Todo edificio que requiera SPE, tengan o no terminales de captación, debe tener un anillo de apantallamiento en la parte superior de la estructura. Cuando tenga terminales de captación, todos ellos deben estar unidos mediante el anillo.

En una edificación, cualquier elemento metálico que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de TV, chimeneas, torres de comunicación, y cualquier antena o tubería que sobresalga debe ser tratado como un terminal de captación.

La norma considera que el comportamiento de todo terminal de captación es como el de un terminal tipo Franklin. Por razones medioambientales descritas asimismo en el RETIE, se recomienda no utilizar dispositivos de interceptación con elementos radioactivos.



Bajantes. El objeto de las bajantes es derivar la corriente de rayo que incide sobre la estructura e impacta en los terminales de captación. El cálculo de las bajantes refleja el compromiso de una protección técnicamente adecuada y económica, puesto que mediante el incremento del número de bajantes, se logra una reducción de la magnitud de la corriente que circula por cada bajante y de su tasa de ascenso; así mismo, se reduce la magnitud de las inducciones magnéticas en los lazos metálicos de la instalación y las diferencias de potencial a tierra.

Por razones eléctricas, mecánicas y térmicas los conductores de las bajantes del sistema equipotencial y derivaciones deben estar de acuerdo con la Tabla 10.

Tabla 10. Requerimientos para las bajantes

Altura de la estructura	Número mínimo de bajantes	Calibre mínimo del conductor de acuerdo con el material de este	
		Cobre	Aluminio
Menor que 25m	2	2 AWG	1/0 AWG
Mayor que 25m	4	1/0 AWG	2/0 AWG

Fuente: NTC 4552

Cada una de las bajantes debe terminar en un electrodo de puesta a tierra, estar separadas un mínimo de 10m y siempre buscando que se localicen en las partes externas de la edificación.

La zona de conexión del conductor bajante a los electrodos de puesta a tierra debe tener una protección mecánica y eléctrica mediante tubería aislada de dos metros de longitud.



Puesta a tierra de protección contra rayos. El SPT⁸ es una parte fundamental de un SIPRA que contribuye de forma sustancial a la seguridad del personal y de los equipos en caso de la incidencia de un rayo en una edificación. El SPT comprende la unión de todos los equipos eléctricos, estructuras metálicas, tierra de subestaciones, etc., a una o varias puestas a tierra de resistencia óhmica baja, para establecer una condición equipotencial entre todos los equipos y estructuras, ofreciendo así un camino de baja impedancia a los rayos, la reducción del ruido en telecomunicaciones y un camino de retorno en circuitos eléctricos y electrónicos. Antes de conectar a tierra, todo conductor y las superficies por ser puestas a tierra deben ser limpiados cuidadosamente de manera que se garantice la continuidad eléctrica. Cada SPT debe tener una caja de inspección cuadrada de 0,3m de lado o circular de 0,3m de diámetro con su respectiva tapa removible de concreto de 2500psi, provista de manija.

Generalidades. Para el diseño de la puesta a tierra de protección contra rayos se debe tener en cuenta: La resistividad del suelo, la agresividad del suelo (pH), la estructura física del suelo (rocas, arenas, arcillas), la forma de interconexión con las otras puestas a tierra y los sistemas de protección contra la corrosión y por último los efectos adicionales en otros sistemas eléctricos y de comunicaciones. Una puesta a tierra además de resistencia, presenta capacitancia e inductancia debido a la configuración de la puesta a tierra; cada uno de estos parámetros R, L, C influyen en la capacidad de conducción de corriente en el suelo; por lo tanto, no se debe pensar solamente en la resistencia de puesta a tierra sino en una impedancia.

Condiciones de seguridad. Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se debe utilizar un valor del 50% de probabilidad de ocurrencia para la corriente de rayo. Con el objetivo de reducir tensiones de paso y de contacto, y para cumplir

⁸ Sistemas de Puesta a Tierra: Ver curso de Puestas a Tierra en el CD-ROM

con lo establecido sobre el tema en la partes de las bajantes, se deben instalar mínimo dos electrodos de puesta a tierra interconectados separados a una distancia mínima de 2 veces su longitud, para que no se interfieran entre ellos. Para minimizar los efectos que puedan causar diferencias de potencial ocasionadas por impacto de un rayo a las estructuras metálicas, estas deben estar a un mismo potencial mediante un barraje equipotencial y conexiones equipotenciales, al sistema de puesta a tierra general.

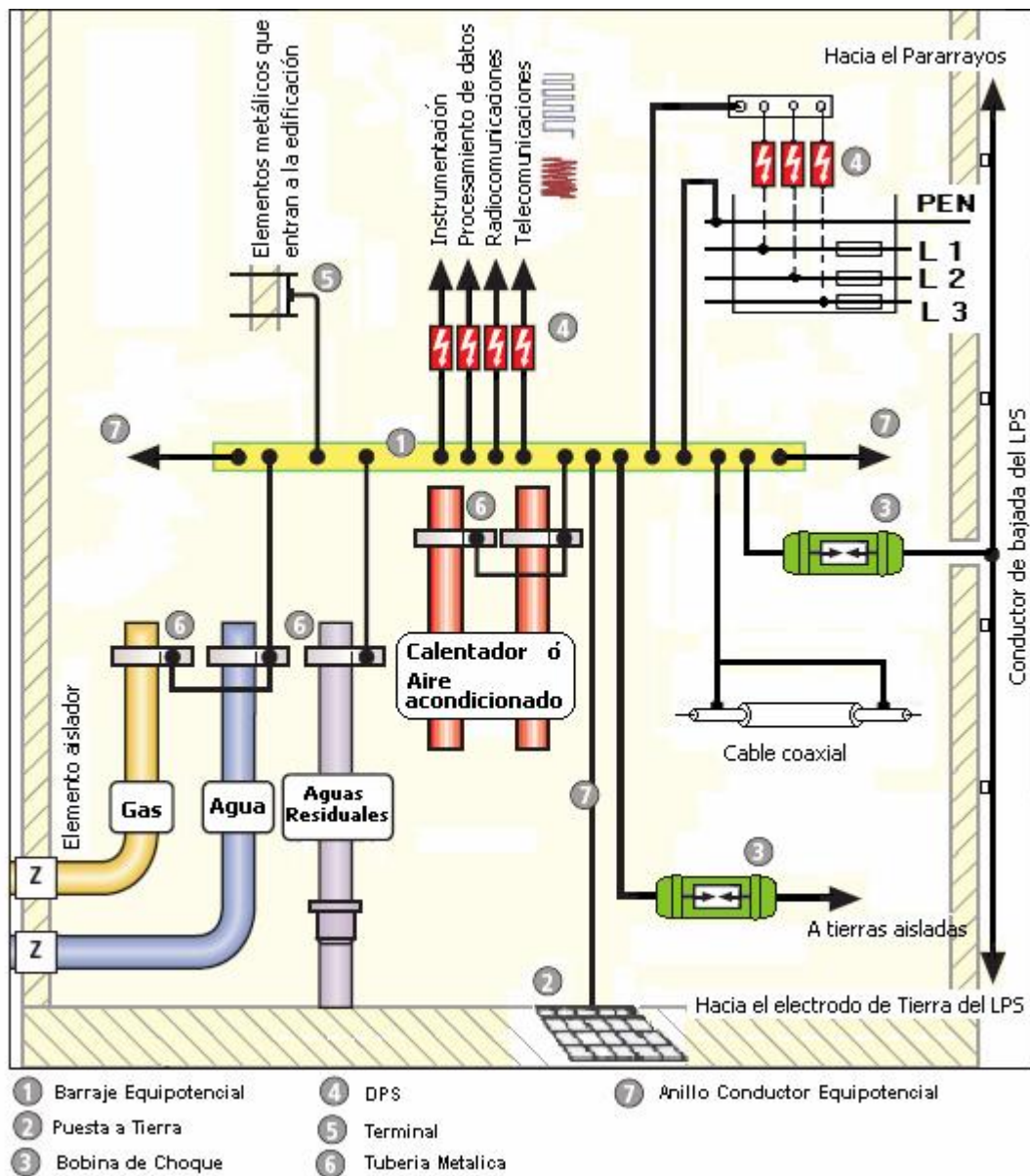
Valor y medición de la resistencia. El valor de la resistencia para cada puesta a tierra del sistema de protección contra rayos debe ser preferiblemente inferior a 1Ω , de tal forma que al pasar la corriente de rayo a tierra las tensiones de paso y de contacto producidas sean inferiores a los valores soportados por los seres humanos.

La resistencia de puesta a tierra en cada locación debe ser medida con el electrodo de corriente a 40m o más y el de tensión al 62% del valor escogido. Si la resistencia del electrodo de puesta a tierra no cumple con el valor establecido, se recomienda hacer tratamiento del terreno con rellenos alrededor de las varillas y de los conductores de unión con suelos de baja resistividad. No es recomendable el uso de sales, porque en corto tiempo se pierde su efectividad.

Equipotencialización. Un sistema equipotencial (Ver Figura 5) se compone de un conductor, grupo de conductores o DPS (Dispositivos de Protección contra Sobretensiones), que unen las diferentes instalaciones que se deben interconectar al barraje equipotencial (BE). Para la protección de las instalaciones eléctricas y electrónicas se debe realizar la interconexión a tierra de todos los sistemas. Con ello se obtiene un potencial común, y se logra que las instalaciones se eleven al mismo potencial, evitando accidentes y fuego, dadas las peligrosas diferencias de potencial y los arcos que puedan aparecer en las instalaciones.

Tal y como puede observarse en la Figura 5, todas las partes metálicas no portadoras de corriente como ductos de agua, ductos de gas, sistemas eléctricos, etc., se deben conectar a un mismo barraje equipotencial (BE), para disminuir las consecuencias de un rayo, debidas a las grandes diferencias de potencial en la instalación de puesta a tierra.

Figura 5. Equipotencialización



Fuente: Basada en DEHN. *Lightning Protection Guide. Chapter 6* Pag. 101.
http://www.dehn.de/www_DE/PDF/blitzplaner05_e/Kapitel_einzeln/BP_Kapitel_6_e.pdf

Los conductores del sistema de puesta a tierra que unen puntos de conexión deben ser lo más cortos y rectos. Los BE (Barrajes Equipotenciales) pueden ser en forma de barras o anillos. Su geometría debe ser muy simple. El espacio entre el BE y las paredes debe ser suficiente para una fácil conexión, por ejemplo entre 0,03m y 0,05m. La altura sobre el piso debe ser tal que las conexiones, cables, ductos, etc., deben ser tan cortos y rectos como sea posible, esto significa que el BE deberá estar colocado a menos de un metro sobre el piso.

Cada bajante debe terminar en un electrodo de puesta a tierra localizado lo mas cercano posible a la fachada, preferiblemente a una distancia de 50cm desde el borde de la pared o estructura que soporta la bajante.

Materiales. La PTPR (Puesta a Tierra de Protección contra Rayos) puede construirse con electrodos de varios tipos, como varillas, tubos, mallas y contrapesos. Cuando se requieran electrodos de más de 2,4m se deben acoplar dos varillas. En cualquier caso se debe cumplir con lo establecido en la tabla 10 de la norma, en la NTC 2050 numeral 250-83, ítem c) numeral 2, y en la NTC 2206⁹.

Los conductores utilizados en la PTPR deben ser cables desnudos de cobre electrolítico recocido, según la NTC 2187¹⁰. Cuando van bajo tierra deben estar enterrados mínimo 0,5m bajo el nivel del terreno o 0,9m mínimo bajo las vías.



Mantenimiento. Para que el sistema de protección contra rayos permanezca con el grado de confiabilidad diseñado, se deben seguir las siguientes pautas:

a) Periodicidad. Se debe verificar la resistencia de puesta a tierra cada 3 años; si se tienen terrenos con tratamiento, la revisión debe hacerse cada año.

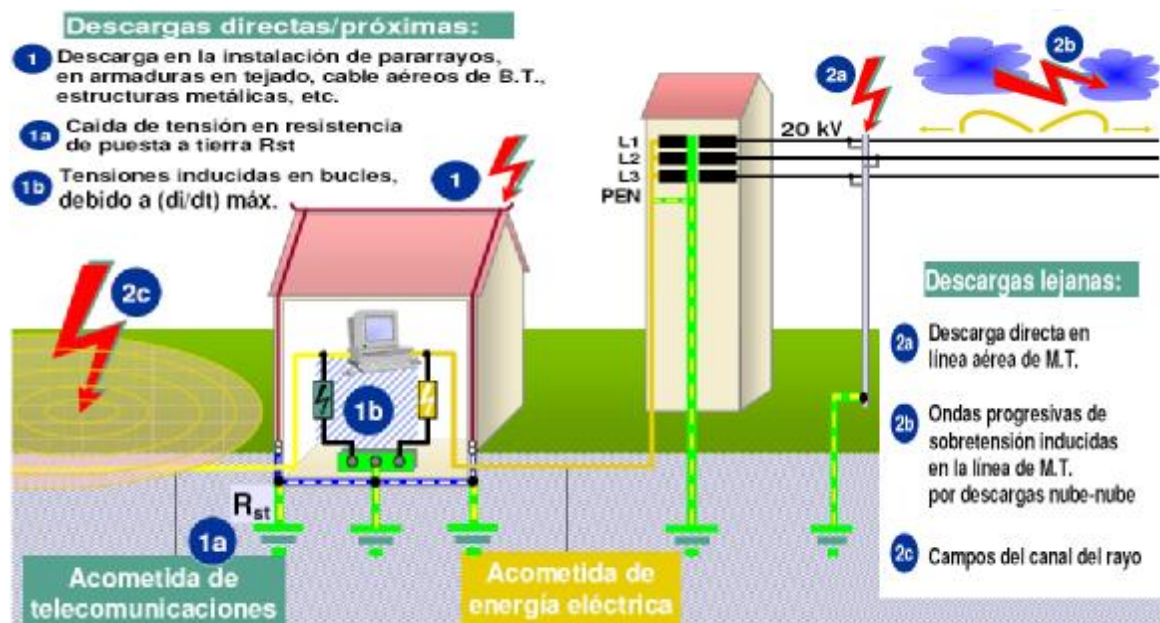
⁹ Electrotecnia. Equipo de conexión y puesta a tierra

¹⁰ Conductores de cobre redondos. Cableado concéntrico compactados

- b) Época. Se debe considerar la caracterización temporal para establecer la programación de los mantenimientos.
- c) Actividades. Como resultado de las inspecciones deben eliminarse todos los defectos encontrados; cambiando o reparando los elementos que presentan corrosión o deterioro, limpiando y apretando uniones flojas y ante todo restablecer los valores fijados de las resistencias de puesta a tierra.

1.3.4 Sistema de Protección Interno, SPI. Para evitar que chispas, arcos eléctricos o cortocircuitos que puedan ser originados por sobretensiones transitorias ya sea por impacto directo de rayo en la edificación, o en sus acometidas de servicios tales como electricidad, teléfono, gas o ductos metálicos, al igual que por tensiones inducidas por impactos indirectos o lejanos (véase la Figura 6, puedan generar incendios, explosiones o sobretensiones que pongan en riesgo vidas humanas; se debe equipotencializar las acometidas de servicios, pantallas de cables, y otras partes metálicas normalmente no energizadas.

Figura 6. Causas de las sobretensiones por descargas de rayos



Fuente: DEHN. Causas de las sobretensiones y daños que producen. Dehn Ibérica. 2004. Página web: http://www.dehn.de/www_DE/PDF/ESPANA/pdf05/causas.pdf

Los equipos para los cuales se especifican los métodos de mitigación deben tener definido una categoría de sobretensión; es decir, un nivel básico al impulso (BIL) de acuerdo con su ubicación en las instalaciones. La categoría de sobretensión se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Tensión al impulso que deben soportar los equipos

Nivel de tensión de operación de los equipos (V)	BIL requerido en (kV)			
	Contadores	Tableros, Interruptores, cables, etc.	Electrodomésticos, herramientas portátiles	Equipo electrónico
	IV	III	II	I
120 – 240 ; 120 / 208	4	2,5	1,5	0,8
254 / 440 ; 277 / 480	6	4	2,5	1,5

Fuente: NTC 4552

Las técnicas para el control de sobretensiones transitorias son:

- a) Absorción: Es la conversión irreversible de energía de una onda electromagnética, en otra forma de energía (normalmente calor) como resultado de la interacción con el material que absorbe. El material es la causa de la conversión.
- b) Aislamiento: Es la separación de dos o mas superficies conductoras por medio de un dieléctrico (incluyendo el aire), ofreciendo una alta resistencia al paso de la corriente.
- c) Apantallamiento: Es la instalación de elementos metálicos que se insertan alrededor de los dispositivos que se desean proteger contra los efectos de un campo. El apantallamiento actúa absorbiendo o reflejando parte de la energía contenida en un campo.
- d) Conexiones del sistema de puesta a tierra: Es la aplicación de conceptos estandarizadas para el diseño e instalación de las puestas a tierra y de la red equipotencial.
- e) Equipotencializar: Es la acción de interconectar partes conductoras y/o conductores activos con el sistema de puesta tierra por medio de conductores

eléctricos y/o dispositivos de protección contra sobre tensiones transitorias para llevarlas a la mínima diferencia de potencial y así propender por la seguridad.

f) Filtrar: Es la modificación de las componentes de frecuencia de una señal mediante un dispositivo que se coloca entre los terminales de un circuito eléctrico.

g) Minimizar lazos inductivos: Es la aplicación de los conceptos de cableados (de potencia y de telecomunicaciones) de manera que se reduzca la inductancia de los circuitos de modo diferencial y de modo común.

Algunos ejemplos de aplicación de estas técnicas¹¹ para mitigar las sobretensiones transitorias son:

a) Reducir los efectos de la corriente del rayo, encerrando los cables con superficies metálicas, las cuales deben ser conectadas con la puesta a tierra.

b) Reducir los efectos inductivos, instalando Apantallamientos localizados y ubicando los cableados apropiadamente.

c) Instalar barrajes equipotenciales – BE, para conectar todas las pantallas de cables, estructuras metálicas, etc., con el sistema de puesta a tierra.

d) Conectar los conductores activos con el BE, mediante la aplicación de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias – DPS. Las características de los DPS deben ser coordinadas con relación a la energía requerida.



Dispositivos de protección contra sobretensiones – DPS¹². La selección e instalación de DPS depende en gran medida de la combinación de las técnicas que se apliquen en cada instalación. Considerando el amplio uso de los DPS, a

¹¹ Comparar también con la pagina web en ingles de: EMC for Systems and Installations; Lightning and Surge Protection: http://64.70.157.146/archive/keitharmstrong/systems_installations5.html

¹² Comparar también con: LOBODA, Marek. Compatibilidad electromagnética y protección contra sobretensiones para equipo electrónico conectado a instalaciones de baja tensión. Universidad Nacional de Colombia. En Anexos del CD-ROM.

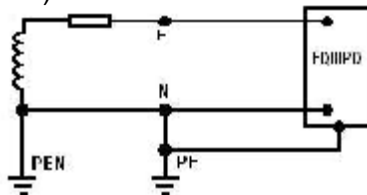
continuación se presentan algunos aspectos que se deben tener en cuenta para su selección e instalación.

- a) Cuando se requieran DPS, se deberán instalar en el origen de la red interna.
- b) Los DPS se deben conectar entre los conductores activos y la puesta a tierra o el conductor de puesta a tierra para equipos.
- c) El nivel de protección de los DPS debe ser menor que el nivel básico de aislamiento dado para la categoría II de la Tabla 11.
- d) La máxima tensión de operación continua – MCOV del DPS debe ser mayor o igual a 1,1 veces la máxima tensión nominal línea a neutro.
- e) En caso de falla del DPS su capacidad de cortocircuito junto con los mecanismos internos o externos asociados, debe ser igual o mayor que la máxima corriente de cortocircuito esperada en el punto de instalación teniendo en cuenta los aparatos de protección de sobrecorriente especificados por el fabricante de DPS.

Los parámetros básicos técnicos mínimos para especificar un DPS son Tensión nominal, máxima tensión de operación continua – MCOV, nivel de protección de tensión, corriente nominal de descarga.

La tensión nominal del DPS debe estar de acuerdo con lo establecido en la NTC 1340¹³ para corriente alterna y con la IEC 38 para corriente directa. Así mismo se deben de tener en cuenta que el régimen de conexión a tierra en el sistema colombiano es el TNCS. Ver Figura 7.

Figura 7. Sistema T-N-C-S (PME)



Fuente: NTC 4552

¹³ Electrotecnia. Tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público

1.3.5 Guía de Seguridad Personal. En la zona central colombiana (Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Santander, Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y los llanos) la actividad de rayos es mas intensa durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre; en la zona caribe colombiana (Atlántico, Magdalena, Sucre, Bolívar, Córdoba, Guajira) durante los meses de julio y agosto y en la zona sur (Amazonas, Cauca y Putumayo) durante los meses de diciembre y enero. La actividad de rayos se presenta generalmente en las tres zonas descritas entre las 2 y las 6 de la tarde y en algunas zonas especiales como el Magdalena Medio en horas de la noche y en la madrugada¹⁴.

Durante una tormenta eléctrica son evidentes los peligrosos a los que se exponen, no solo las edificaciones y los eléctricos y electrónicos, sino las personas. El riesgo de ser alcanzado por un rayo es mayor entre las personas que trabajan, juegan, caminan o permanecen al aire libre durante una tormenta eléctrica. Es por ello que se deben dar a conocer recomendaciones para tener en cuenta durante una tormenta, evitando riesgos para las personas.

Algunas de las recomendaciones¹⁵, como medida de protección, a tener en cuenta en caso de una tormenta eléctrica, son:

Aterrizar y proteger adecuadamente los equipos sensibles de uso eléctrico, electrónico, telefónico o de comunicaciones contra sobretensiones de acuerdo con los criterios y recomendaciones presentadas en esta norma, de lo contrario desconectarlos retirando el enchufe del tomacorriente evitando así el uso de ellos. Buscar refugio en el interior de vehículos, edificaciones y estructuras con un sistema de protección contra rayos. A menos que sea absolutamente necesario, no salir al exterior ni permanecer a la intemperie durante una tormenta eléctrica.

¹⁴ TORRES S. Horacio. El rayo: Mitos, leyendas, ciencia y tecnología. Unibiblos. Bogota D.C. Colombia. Pág 298.

¹⁵ Comparar también con las actitudes dadas en la siguiente archivo pdf de la cruz roja norteamericana: <http://www.redcross.org/services/disaster/foreignmat/thundersp.pdf>

Alejarse de estos sitios: terrenos deportivos y campo abierto, piscinas, playas y lagos, cercanía a líneas de transmisión eléctrica, cables aéreos, vías de ferrocarril, tendedores de ropa, cercas ganaderas, mallas eslabonadas y vallas metálicas, árboles solitarios, torres metálicas: de comunicaciones, líneas de alta tensión, de perforación, etc.

Buscar las zonas bajas, preferir zonas pobladas de árboles, evitando árboles solitarios, no acostarse sobre el suelo, juntar los pies, no escampar bajo un árbol solitario, no colocar las manos sobre el suelo, colocar las manos sobre las rodillas, Adoptar la posición de cuclillas.

1.3.6 Sistema de Detección de Tormentas¹⁶. Para completar el sistema integral de protección contra rayos y dado que no existe una protección contra rayos que sea completamente segura, se debe considerar, la instalación de una alarma de prevención de rayos, con el fin de avisar al personal para que se tomen las precauciones respectivas y para desconectar manual o automáticamente equipos electrónicos o de comunicación susceptibles de daño.

El sistema de alarma debe cumplir, entre otras, con las siguientes especificaciones mínimas:

- Su resolución debe ser omnidireccional, es decir que cubra 360⁰.
- La eficiencia en la detección de rayos debe ser 100% en un radio de 30km.
- Debe activarse únicamente por detección de rayos, es decir, que no se generen falsas alarmas por señales de otro origen.
- Debe predecir si existe una alta probabilidad de rayos dentro de un radio de 15km, para un intervalo de tiempo de 10min a 15min (tiempo que se considera prudente para que las personas puedan poner en práctica las instrucciones dadas en la Guía General de Seguridad Personal, Capítulo 3).
- La alarma debe ser audible en un radio mínimo de 200m.

¹⁶ Ingesco. Compañía fabricante de detectores de rayos. <http://www.ingesco.com>

2. NORMAS INTERNACIONALES SOBRE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Alrededor de 25 países del mundo han desarrollado normas de protección contra rayos, las cuales, en su mayoría, tienen como base la norma internacional IEC 61024. La Tabla 12 presenta la información sobre algunos de estos países, el documento fuente respectivo y el parámetro del rayo en que se basan para evaluar el riesgo por rayo.

Tabla 12. Normas Nacionales sobre protección contra rayos

País	Documento fuente	Parámetro
Alemania	VDE 0185-305-2006	NC
Australia	AS/ANZ 1786-2003	NC
Gran Bretaña	BS 6651-2005	DDT
Canadá	ANSI/NFPA 780-2004	NC
Colombia	NTC 4552-2004	NC y DDT
España	UNE 21 186 - 1996	NC
Francia	NFC 17-102-1995	NCD
Italia	CEI EN 62305-2006	DDT
Holanda	NEN EN 62305-2006	NC
Singapur	CP33-2004	NC
Sudáfrica	SABS 03-1985	DDT
USA	ANSI/NFPA 780-2004	NC

NC: Días tormentosos-año (nivel ceráuneo)

NCD: Días tomentosos por departamento

DDT: Densidad de descargas a tierra

Fuente: Fuente: TORRES S. Horacio. El rayo: Mitos, leyendas, ciencia y tecnología. Unibiblos. Bogota D.C. Colombia. Pág. 216.

2.1 LA NORMA INTERNACIONAL IEC 61662

La norma internacional IEC 61662¹⁷, la cual contaba ya con 10 años de vigencia fue renovada en el 2006 por la actual IEC 62305 que agrupa en sus cinco partes (Parte 1: Principios Generales, Parte 2: Manejo del Riesgo, Parte 3: Daños físicos

¹⁷ Para conocer toda la norma internacional de la IEC 61662, buscar en los anexos del CD-ROM

a estructuras y riesgos para los seres vivos, Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de edificaciones, Parte 5: Servicios) todo lo concerniente a la protección contra rayos. Sin embargo, teniendo en cuenta que han sido pocos los cambios en la metodología de evaluación del riesgo de la IEC 62305-2 (Manejo del riesgo) en comparación con su antecesora, la IEC 61662; se utilizara esta última como la base para nuestro estudio prestando especial interés en aquellos aspectos que han cambiado en la nueva normatividad (en la IEC 62305¹⁸).

Definición de riesgo. El riesgo es definido en la norma como el probable promedio anual de pérdidas en una edificación y en un servicio (por ejemplo: agua, electricidad, gas, telecomunicaciones) debido a impactos de rayos.

Evaluación del riesgo. El riesgo R es determinado como la suma de sus componentes R_x .

$$R = \sum R_x$$

En donde cada componente se relaciona según las diferentes influencias según el impacto del rayo en la estructura y son analizados para una clase de daños, el cual puede ser calculado por medio de la siguiente relación:

$$R_x = N_x r_x d_x$$

Donde,

N_x es el promedio (anual) esperado de rayos en la edificación;

r_x es la probabilidad de daño de la edificación;

d_x es una medida de la cantidad de posibles pérdidas de la edificación o de su contenido.

¹⁸ Para conocer apartes de la IEC 62305-2006, buscar: BOUQUEGENEAU, Christian. A critical view on the lightning protection international standard. National Lightning Safety Institute. Pagina web: http://www.lightningsafety.com/nlsi_lhm/critical_view_lp_intl_std.pdf



Frecuencia de rayos, N_x . Se compone de N_d , N_n y N_k .

- a. Frecuencia de rayos directos, N_d . El promedio de la frecuencia (anual) N_d de rayos directos a una edificación es evaluado como el producto de la densidad anual de rayos a tierra N_g y el área efectiva total A_e (ver Anexo B).

$$N_d = N_g A_e$$

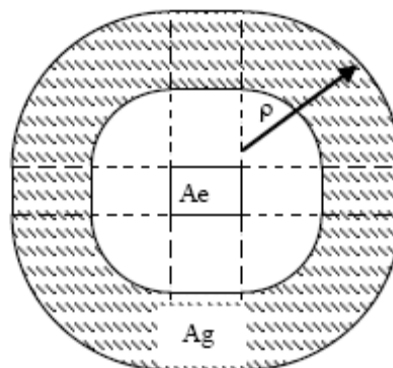
- b. Frecuencia de rayos indirectos. Consta de la frecuencia de los rayos cercanos a la edificación N_n y la frecuencia de los que afectan los servicios de entrada, N_k .

- Frecuencia de rayos cercanos, N_n . La frecuencia (anual) N_n de rayos a tierra cerca a la edificación es evaluado como el producto de la densidad anual de rayos a tierra N_g y el área equivalente A_g de la tierra que rodea la edificación (en la cual un rayo a tierra causa un aumento en el potencial de tierra el cual puede afectar la edificación o sus servicios de entrada), la cual se extiende a una distancia d_s de la estructura tal y como se muestra en la Figura 8.

$$N_n = N_g A_g$$

El área A_g es determinada por la diferencia entre el área que rodea la edificación (a la distancia d_s) y el área efectiva total, A_e .

Figura 8. Representación del área equivalente A_g



Fuente: OSPINA, C. ARAQUE, G y CAMARGO, F. Diseño de software para la evaluación de riesgo contra descargas atmosféricas. Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 2002

- Frecuencia de rayos que afectan un servicio de entrada, N_k . El promedio anual N_k del numero de rayos que afectan una servicio de entrada es evaluado como el producto de la densidad anual de rayos a tierra N_g y el área de influencia A_k del servicio de entrada a la estructura:

$$N_k = N_g A_k$$

Donde,

$$A_k = A_{sk} + A_{ak}$$

Siendo,

A_k : el área de influencia del servicio,

A_{sk} : el área equivalente del servicio de entrada (líneas de energía, de comunicaciones o de señales)

A_{ak} : el área equivalente de la edificación adyacente conectada a la estructura bajo consideración a través del servicio.

El valor del área equivalente de un servicio de entrada A_{sk} , esta relacionada con las características del servicio y puede ser calculada por las expresiones de las Tablas 13 y 14.

Tabla13. Área equivalente para servicios principales (energía)

Tipo de servicio principal	Área equivalente (notas 1 y 2) m ²
Cables aéreos de baja tensión	$2000 \times L$
Cables aéreos de alta tensión	$500 \times L$
Cable subterráneo de baja tensión	$2 \times d_s \times L$
Cable subterráneo de alta tensión	$0,1 \times d_s \times L$
Notas:	
1. L es la longitud en metros de la línea desde la estructura en consideración hasta el primer tablero de distribución o hasta la edificación adyacente, con un máximo valor de 1000 m (si el valor de L es desconocido).	
2. d_s en metros y es numéricamente igual al valor de la resistividad del suelo(en $\Omega \times metros$), hasta un valor máximo de 500	

Fuente: IEC 61662

El valor del área equivalente de la estructura adyacente asociada A_{ak} , es el área equivalente de la edificación la cual tiene conexión directa o indirecta a

los equipos eléctricos o electrónicos en la edificación principal. Se debe asumir $A_{sk} = 0$ si el servicio de entrada es una línea no metálica o se debe asumir que $A_{sk} = 0$ cuando $L < 3h$ (h es la altura de la estructura)

Tabla 14. Área equivalente para líneas de comunicaciones

Tipo de línea de datos	Área equivalente (notas 1 y 2) m ²
Línea de señales aérea	$2000 \times L$
Línea de señales subterránea	$2 \times d_s \times L$
Cable de fibra óptica sin coraza metálica	0
Notas:	
1. L es la longitud en metros de la línea desde la estructura en consideración hasta el primer tablero de distribución o hasta la edificación adyacente, con un máximo valor de 1000 m (si el valor de L es desconocido).	
2. d_s en metros y es numéricamente igual al valor de la resistividad del suelo(en $\Omega \times metros$), hasta un valor máximo de 500	

Fuente: IEC 61662



Probabilidad de daños. El impacto de rayos en la estructura o en los alrededores pueden causar daños dependiendo de la edificación misma, su instalación interna y de las medidas de protección instaladas.

a. Tipos y fuentes de daños. Los siguientes tipos de daños son tenidos en cuenta:

R₁: Lesiones o pérdidas de vidas humanas

R₂: Fallas inadmisibles de servicios públicos

R₃: Pérdidas de valores irremplazables de patrimonio de la humanidad

R₄: Pérdidas de valores económicos

Las fuentes que pueden producir los tipos de daños anteriores son:

S₁: Tensiones de paso y de contacto por impactos directos de rayos,

S₂: Incendios, explosiones, efectos mecánicos y químicos por impactos directos de rayos,

S₃: Sobretensiones en equipos por impactos directos de rayos,

S₄: Sobretensiones en equipos por impactos indirectos de rayos,

S₅: Incendios, explosiones, efectos mecánicos y químicos por impactos indirectos de rayos.

Cada tipo de daños puede ser causado por diferentes fuentes de daños de acuerdo al ejemplo mostrado en la Tabla 15.

Tabla 15. Tipos y fuentes de daños

Tipo de daño	Fuente de daño				
	Por rayos directos			Por rayos indirectos	
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
1	x	x			x
2		x	x	x	x
3		x			x
4		x	x	x	x

Fuente: IEC 61662

De la tabla anterior, se puede obtener el valor total del riesgo, expresado en función del tipo de daños, el cual es:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

En donde cada componente (tipo de daño) puede ser expresado en función de rayos directos e indirectos y a su vez el riesgo de rayos directos o indirectos de cada tipo de daño esta expresado en términos de las fuentes de daños:

$$R_1 = R_{d1} + R_{i1}$$

Siendo $R_{d1} = R_{S1} + R_{S2}$ y $R_{i1} = R_{S5}$

$$R_2 = R_{d2} + R_{i2}$$

Siendo $R_{d2} = R_{S2} + R_{S3}$ y $R_{i2} = R_{S4} + R_{S5}$

$$R_3 = R_{d3} + R_{i3}$$

Siendo $R_{d3} = R_{S2}$ y $R_{i3} = R_{S5}$

$$R_4 = R_{d4} + R_{i4}$$

Siendo $R_{d4} = R_{S2} + R_{S3}$ y $R_{i4} = R_{S4} + R_{S5}$

b. Probabilidad de daños debido a tensiones de paso y de contacto, S_1 . Se consideran solo las tensiones de paso y de contacto debido a rayos directos fuera de la edificación. La probabilidad de daños es despreciable en otros casos (dentro de la edificación, debido a rayos cercanos, debido a rayos sobre los servicios de entrada). La probabilidad de daños debido a tensiones de paso y de contacto debido a rayos directos en la edificación r_h esta dada por:

$$r_h = k_h r'_h$$

Donde,

r'_h es la probabilidad de daños debido a tensiones de paso y de contacto debido a rayos directos a la edificación sin medidas de protección

k_h es el factor de reducción concerniente a las medidas de protección que hay instaladas en la edificación para reducir los efectos consecuentes del rayo.

Los valores de probabilidad r'_h y el factor de reducción k_h están dados en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores de probabilidad r'_h debido a tensiones de paso y de contacto

Tipo de superficie fuera de la edificación	R_c ¹⁾ k Ω	r'_h	Medida de protección	k_h
Humus, concreto	< 1	10^{-2}	Sin LPS	1
Mármol	1 – 10	10^{-3}	Con LPS	$1 - E$ ²⁾
Gravilla	10 – 100	10^{-4}	Con LPS y conductor de bajada	0,5 (1-E)
Asfalto	> 100	10^{-5}	aislado por tubería PVC de 3 mm	
1. los valores son obtenidos como resultados de medidas entre un electrodo de 400 cm ² presionados con una fuerza de 500N y un punto alejado 2. E = eficiencia del LPS				
Notas: 1 Si la gente no esta usualmente presente fuera de la edificación, $r'_h=0$ 2 Si mas de una superficie esta presente en el lugar peligroso, r'_h = al valor mas alto				

Fuente: IEC 61662

c. Probabilidad de daños debido a incendio, explosión, efectos mecánicos y químicos. Los daños pueden ser causados por rayos directos a la estructura (fuente S_2) o por rayos indirectos (fuente S_5).

Las probabilidades de daños parciales involucradas son:

r_t Probabilidad de que una chispa produzca un incendio o explosión

r_1 Probabilidad de chispas peligrosas en instalaciones metálicas

r_2 Probabilidad de chispas peligrosas en instalaciones eléctricas internas

r_3 Probabilidad de chispas peligrosas en servicios de entrada

r_4 Probabilidad de chispas peligrosas en partes conductivas externas de entrada.

Las probabilidades r_1 , r_2 y r_4 son pertinentes solo a los rayos directos y la probabilidad r_3 tanto a los rayos indirectos y directos.

En el caso de los rayos directos, la probabilidad de daños debido a fuego, explosión, efectos mecánicos o químicos es:

$$r_{fd} = 1 - [(1 - r_t r_1)(1 - r_t r_2)(1 - r_t r_3)(1 - r_t r_4)] = r_t (r_1 + r_2 + r_3 + r_4)$$

En el caso de rayos indirectos, la probabilidad de daños debido a fuego, explosión, efectos mecánicos o químicos es:

$$r_{fi} = r_t r_3$$

La probabilidad r_t es:

$$r_t = k_t r'_t$$

Los valores de r'_t (relativos a las características del material de la estructura y/o de su contenido) y k_t (relativo a mas medidas de protección de la estructura para mitigar los efectos de fuego) están dados en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores de r'_t (daños) y k_t

Características del material de la edificación y/o el contenido	r'_t	Medida de protección	k_t
Explosivo	1	Pequeños extintores	0,9
Inflamable	10^{-1}	Facilidad constructiva ¹⁾	0,7
Común	10^{-3}	Instalaciones automáticas ²⁾	0,6
No inflamable	10^{-5}	Brigada de emergencia	0,5
¹⁾ Muros, puertas, pisos resistentes al fuego y salidas de evacuación			
²⁾ Sensores de fuego y sistemas de extinción de incendios			

Fuente: IEC 61662

Las probabilidades r_1 y r_2 están dados por:

$$r_1 = k_1 r'_1 \qquad r_2 = k_2 r'_2$$

Los valores de probabilidad $r'_1 = r'_2$ dependen de las características constructivas de la edificación dadas en la Tabla 18.

Tabla 18. Valores de probabilidad de chispas peligrosas en instalaciones internas metálicas y eléctricas

Tipo de edificación	$r'_1 = r'_2$
Ladrillo, madera	1
Armadura de acero o concreto reforzado	0,5
Fachada metálica	0,05

Fuente: IEC 61662

Los valores de los factores de reducción k_1 y k_2 pertinentes a medidas de protección para reducir la probabilidad de chispas peligrosas en instalaciones eléctricas y metálicas internas en la edificación son dados en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores de k_1 y k_2 pertinentes a medidas de protección

Medidas protectivas	k_1 y k_2
Sin LPS	1
Cables apantallados $S \leq 1 \text{ mm}^2$	10^{-1}
Cables apantallados $1 < S \leq 10 \text{ mm}^2$	10^{-2}
Cables apantallados $S > 10 \text{ mm}^2$	10^{-3}
Con LPS	$1 - E$
S: Sección transversal de la pantalla, ambas terminales a tierra. E: Eficiencia del LPS	
Notas: 1 Si existen diferentes tipos de cables, se debe asumir el valor mas alto de k_2 2 En el caso de líneas de fibra óptica, $r_2 = 0$ 3 si existen varias medidas de protección, el factor de reducción resultante es el producto de los factores de reducción pertinentes	

Las probabilidades r_3 y r_4 están dados por:

$$r_3 = k_3 r'_3 \qquad r_4 = k_4 r'_4$$

En donde los valores de r'_3 y r'_4 están dados en la Tabla 20

Tabla 20. valores de r'_3 y r'_4

Tipo de conductores externos	r'_3 y r'_4
Cables sin apantallar	0,8
Cables apantallados (apantallamiento < 5 mm ²)	0,4
Cables apantallados (apantallamiento entre 5 mm ² y 10 mm ²)	0,08
Cables apantallados (apantallamiento > 10 mm ²)	0,02
Fibra óptica sin conductor metálico	0

Fuente: IEC 61662

Los valores de los factores de reducción k_3 y k_4 pertinentes a las medidas de protección para reducir la probabilidad de chispas peligrosas en servicios de entrada están dados en la Tabla 21.

Tabla 21. Valores de k_3 y k_4

Medias de protección	k_3	Medidas de protección	k_4
Transformador de aislamiento	10^{-1}	DPS's en las acometidas	10^{-3}
DPS's en las acometidas	10^{-3}	Unión de los sistemas de puesta a tierra de la edificación	0
Apantallamiento puesto a tierra S > 10 mm ²	10^{-3}		
Fibra óptica sin conductor metálico	0		

Notas:

1. S es la sección transversal de la pantalla
2. Si existen diferentes medidas de protección en diferentes servicios de entrada, se debe asumir el valor mas alto de k_2
3. Si existen diferentes medidas de protección para el mismo servicio de entrada, el factor de reducción resultante es el producto de los factores de reducción pertinentes.

Fuente: IEC 61662

d. Probabilidad de daños debido a sobretensiones. Los daños pueden ser causados por rayos directos (S_3) o por rayos indirectos (S_4). Las probabilidades de

daños involucradas son r_2 y r_3 . Ambas probabilidades pertenecen a los rayos directos; solo r_3 es relevante a rayos indirectos.

La probabilidad de daños debido a sobretensiones en equipos por rayos directos es:

$$r_{od} = 1 - (1 - r_2)(1 - r_3) = r_2 + r_3 \quad (\text{Si } r_2 r_3 \ll 1)$$

La probabilidad de daños debido a sobretensiones en equipos por rayos indirectos es:

$$r_{oi} = r_3$$



Promedio de posibles pérdidas. El promedio de posibles pérdidas d el cual puede aparecer como resultado de daños causados por rayos en la estructura y depende de:

- El número de personas y duración de tiempo de su presencia en el lugar.
- El tipo e importancia del servicio al público
- El valor de los bienes involucrados

De acuerdo al tipo de daño, los valores de d pueden ser evaluados por la siguiente formula aproximada:

- Daño 1: Lesiones o perdidas de vidas humanas

Probabilidad de pérdidas de vidas humanas

$$d = \frac{n}{n_t} \times \frac{t}{8760}$$

Donde,

n es el posible número de victimas de un rayo en el lugar

n_t es el número total de personas en la edificación

t es el tiempo anual, en horas, de la presencia de personas en el lugar

- Daño 2: Pérdidas inadmisibles de servicios a el público

Cantidad relativa de pérdidas esperadas, por daño

$$d = \frac{n't'}{n_t 8760}$$

Donde,

n' es el promedio de número de usuarios afectados por la pérdida del servicio

t' es el tiempo anual, en horas, de pérdida de servicio, por daño

n_t es el número total de usuarios involucrados en el servicio

- Daño 3: Pérdida de patrimonio irremplazable

$$d = \frac{c_i}{c_t} \text{ (Cantidad relativa de pérdidas esperadas por daño)}$$

Donde,

c_i es el valor del capital asegurado de las pérdidas esperadas de bienes, en dinero por daño

c_t es el valor del capital asegurado de todos los bienes involucrados, en dinero.

- Daño 4: Pérdidas económicas (no involucran patrimonio cultural)

$$d = \frac{c_m}{c_v} \text{ (Cantidad relativa de pérdidas esperadas por daño)}$$

Donde,

c_m es el valor promedio de pérdidas esperadas de construcción, muebles y bienes, en dinero por daño.

c_v es el valor total de toda la edificación, muebles y bienes, en dinero.

Riesgo aceptado de daños por rayos. La protección contra rayos tiene por objetivo reducir el riesgo de daños R por debajo de un máximo nivel aceptado R_a :

$$R \leq R_a$$

Si es probable de que más de un tipo de daño ocurra en una edificación, la condición $R \leq R_a$ se debe cumplir para cada tipo de daño. En la Tabla 22 se muestran valores representativos de R_a .

Para las pérdidas de valores económicos, el valor aceptable R_a puede ser fijado por el propietario de la edificación o por el ingeniero de diseño de la protección contra rayos, basados en consideraciones económicas o en la relación costo-beneficio.

Tabla 22. Valores representativos de riesgo aceptable

Tipo de daño	R_a	
1	10^{-5}	Perdida de vidas humanas
2	10^{-3}	Perdida de servicios públicos
3	10^{-3}	Perdida de patrimonio cultural

Fuente: IEC 62305-2

Selección de medidas de protección. Se compara el riesgo total R_x con el máximo valor tolerable R_a para cada tipo de daño pertinente para la edificación.

Si $R_x \leq R_a$ (para cada tipo de daño pertinente para la edificación) la protección contra rayos no es necesaria.

Si $R_x > R_a$ (para alguno de los tipos de daño pertinentes en la edificación) la estructura debe de ser equipada con medidas de protección contra rayos.

a. Protección contra impactos directos de rayos si $R_d > R_a$. Cuando $R_d > R_a$, la edificación debe de ser protegida contra impactos directos de rayos con un sistema de protección externo (LPS para reducir la probabilidad de daños r_h, r_1, r_2, r_3 y r_4) diseñado e instalado de acuerdo con las siguientes recomendaciones.

Existen cuatro niveles de protección (I, II, III, IV) con sus correspondientes eficiencias de interceptación (99%, 97%, 91%, 84%) y con sus eficiencias resultantes, E (98%, 95%, 90%, 80%).

Para seleccionar un nivel se debe realizar el cálculo de E según la expresión:

$$E = 1 - \frac{R_a}{R_d}$$

Si el LPS de nivel de protección I no puede cumplir esta condición, se debe considerar la protección contra sobretensiones en todas las líneas de servicios de entrada conductoras de electricidad (por ejemplo: electricidad, telecomunicaciones, cables coaxiales) en el punto de entrada a la estructura o adoptar otras medidas de protección como las siguientes:

- Medidas para mitigar las tensiones de paso y de contacto para reducir la probabilidad de daños, r_h
- Medidas para limitar la propagación de incendios para reducir la probabilidad de daños, r_i
- Medidas para mitigar los efectos de LEMP (*Lightning Electromagnetic Pulse*, Pulso electromagnético de rayo) mediante la instalación de cables blindados o en ductos metálicos para reducir la probabilidad de daño r_1 y r_2 .

b. Protección contra impactos indirectos de rayos si $R_d \leq R_a$ pero $R_i > R_a$. Cuando $R_d \leq R_a$, la estructura esta protegida contra impactos de rayos directos. Sin embargo, si $R_i > R_a$, la estructura debe ser protegida contra los efectos de impactos de rayos indirectos. Las posibles medidas de protección a incluir son:

- Instalación adecuada de DPS en todas las líneas de servicios entrantes conductoras de electricidad (por ejemplo: electricidad, telecomunicaciones, cables coaxiales) en el punto de entrada a la estructura (reducir la probabilidad de daños r_3) o instalando cables apantallados subterráneos.
- Instalación adecuada de DPS en el punto de entrada de todos los equipos internos (protección de sobretensión secundaria en el equipo)
- Medidas para mitigar los efectos de LEMP (*Lightning Electromagnetic Pulse*, Pulso electromagnético de rayo) mediante la instalación de cables blindados o en ductos metálicos para reducir la probabilidad de daño r_1 y r_2 .

c. Verificación final si $R_d + R_i > R_a$. A pesar de que $R_d \leq R_a$ y $R_i \leq R_a$ es todavía posible que el riesgo total $R = R_d + R_i > R_a$. En este caso, la estructura no requiere ninguna protección específica contra impactos directos de rayos o contra sobretensiones debido a impactos cercanos o transmitidos a través de las líneas de entrada. Sin embargo, se deben de identificar y adoptar medidas de protección tales como:

- * Aumento de la resistividad de la superficie de la tierra alrededor de la edificación.
- * Aumento del nivel de la tensión de impulso que resisten los equipos.
- * Evitar las tensiones peligrosas de paso y de contacto en el área hasta de 3 m fuera de la estructura por medio del aislamiento eléctrico del conductor expuesto o por restricciones físicas o por avisos de advertencias donde sea necesario.

Otras medidas de protección capaces de limitar la magnitud de daños son:

- * Extinguidores
- * Hidrantes
- * Instalaciones con sistemas automáticos contra incendios
- *Vallas o avisos de advertencia para evitar el contacto con partes peligrosas externas

Las medidas de protección a ser adoptadas en diferentes casos están resumidas en la Tabla 26.

Tabla 23. Medidas a implementar según el tipo de daño

Tipo de daño esperado	Medidas a implementar
Lesiones a personas o pérdidas de vidas humanas	Sistema de protección externa (incluye equipotencialidad y DPS en acometida de potencia) y medidas adicionales de protección (sistemas de detección y extinción de incendios, procedimientos especiales de seguridad)
Suspensión de servicios públicos	Sistema de protección externa y sistema de protección interna (equipotencialidad, blindajes, DPS)
Pérdidas de patrimonio histórico cultural	Sistema de protección externa
Pérdida de bienes incluidos equipos electrónicos sensibles	Sistema de protección externa y sistema de protección interna (equipotencialidad, blindajes, DPS)

2.2 LA NORMA BRITÁNICA BS 6651

Generalidades. A pesar de que la norma británica BS 6651-1999¹⁹ lleva vigente más de 7 años, se trabajara en base a su última actualización la cual fue en febrero del 2005.

La estimación del riesgo de una edificación contra rayos puede ser determinada teniendo en cuenta los siguientes factores: El uso que tiene la estructura, los materiales de la edificación, el valor de los bienes materiales en su interior y las consecuencias de daños, la localización de la estructura y la altura de la estructura.

Las edificaciones con inherente riesgo de explosión como por ejemplo las fabricas de explosivos, tiendas y depósitos y tanques de combustibles necesitan la mejor protección contra rayos y las medidas más exigentes de protección.

Estimación del riesgo de exposición²⁰. La probabilidad que tiene una edificación de ser alcanzada por rayos en un año es el producto de la densidad de rayos a tierra y el área efectiva total de la estructura. La densidad de rayos a tierra, N_g , es el número de rayos a tierra por kilómetro cuadrado por año. En el Anexo D se muestra la densidad hallada para un periodo de varios años en todo el mundo. Los datos de N_g para los demás países del mundo pueden ser obtenidos de la Tabla 24.

El área efectiva total de una estructura es el área de la superficie alrededor de la estructura extendida en todas las direcciones teniendo en cuenta su altura. El eje del área efectiva total es desplazado del eje de la estructura a una cantidad igual a la altura de la estructura en ese punto.

¹⁹ Para conocer mas a cerca de la norma británica, visitar: <http://www.bsi-global.com/bsonline> o buscar en los anexos del CD-ROM

²⁰ Estimación del riesgo online según la BS 6651en Zymax Internacional Ltda. Pagina web: <http://www.zymax.com/risk/dorisk.htm>

Tabla 24. Relación entre nivel ceráuneo y densidad de rayos a tierra según BS 6651-1999

Nivel Ceráuneo	Rayos (<i>flashes</i>) por km ² - año	
	Media	Límite
5	0.2	0.1 a 0.5
10	0.5	0.15 a 1
20	1.1	0.3 a 1
30	1.9	0.6 a 5
40	2.8	0.8 a 8
50	3.7	1.2 a 10
60	4.7	1.8 a 12
80	6.9	3 a 17
100	9.2	4 a 20

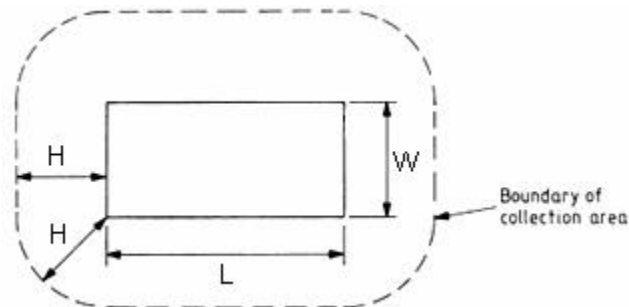
Fuente: BS 6651

Por lo tanto, para una edificación rectangular de longitud L , ancho W y altura H (todos en metros), el área efectiva total tiene una longitud de $(L + 2H)$ m y ancho $(W + 2H)$ m con cuatro esquinas redondeadas formados por cuatro círculos de radio H (en metros). Esto da como resultado el área efectiva total en metros cuadrados, así:

$$A_c = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2.$$

La representación del área A_c se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Área efectiva total del conjunto



Fuente: BS 6651

El numero probable de impactos a la estructura, por año, p , esta dado por:

$$r = A_C \times N_g \times 10^{-6}$$

Donde:

p : Número probable de impactos de rayo por año.

A_C : Área efectiva total (m^2)

N_g : Densidad de rayos a tierra por km^2 por año

10^{-6} : Factor de conversión para tener en cuenta el hecho que N_g y A_C están en diferentes unidades, entonces p queda en km^2 .

Riesgo asociado con los rayos día a día. El riesgo de lesiones o muerte debido a accidentes es una condición de vida y muchas actividades humanas implican algún riesgo. La Tabla 25 permite mostrar una apreciación de la escala de riesgo asociado con diferentes actividades cotidianas. Generalmente un riesgo más alto que 10^{-3} por año es considerado inaceptable. Con riesgos de 10^{-4} por año, el gobierno debe gastar en campañas educativas para eliminar las causas o mitigar los efectos de los rayos. Y los riesgos menores que 10^{-5} son considerados aceptables, sin embargo el gobierno debería asimismo invertir en campañas educativas para reducir los riesgos.

Tabla 25. Tabla comparativa de mortalidad por año de exposición

Riesgo		Actividad
1 de 400	2.5×10^{-3}	Fumar (10 cigarrillos por día)
1 de 2 000	5×10^{-4}	Todos los accidentes
1 de 8 000	1.3×10^{-4}	Accidentes de tráfico
1 de 20 000	5×10^{-5}	Leucemia por causas naturales
1 de 30 000	3.3×10^{-5}	Trabajo en la industria, ahogarse
1 de 100 000	1×10^{-5}	Envenenamiento
1 de 500 000	2×10^{-6}	Desastres naturales
1 de 1 000 000	1×10^{-6}	Escalar rocas durante 90 segundos, conducir 50 millas
1 de 2 000 000	5×10^{-7}	Ser impactado por un rayo

Fuente: BS 6651

Riesgo aceptable sugerido. Con base en el numeral anterior, el riesgo aceptable para la norma británica es de 10^{-5} por año.

Estimación total del riesgo. Teniendo ya establecido el valor de p ; el número probable de impactos a la estructura por año, el próximo paso es aplicar los factores dados en la Tabla 26, Tabla 27, Tabla 28, Tabla 29 y la Tabla 30. Se multiplica p por los factores para determinar si el resultado, el factor de riesgo, excede o no el riesgo aceptable de $p_0 = 10^{-5}$ por año.

$$R = p \times A \times B \times C \times D \times E$$

Tabla 26. Factor A (Uso de la edificación)

Uso que tiene la estructura	Valor de A
Casas y edificios de tamaños parecidos	0.3
Casas y edificios de tamaño comparable con una antena aérea	0.7
Fabricas, Talleres y laboratorios	1.0
Grupos de oficinas, hoteles, edificios de apartamentos y otros edificios residenciales	1.2
Lugares de reunión, por ejemplo: iglesias, teatros, salas, museos, exhibiciones, tiendas, oficinas de correos, estaciones, aeropuertos y estadios	1.3
Colegios, hospitales, guarderías, asilos	1.7

Fuente: BS 6651

Tabla 27. Factor B (Tipo de construcción)

Tipo de construcción	Valor de B
Armadura en acero, reforzado con concreto y techo metálico	0.1
Armadura en acero y techo no metálico	0.2
Concreto reforzado y cualquier techo no metálico	0.4
Ladrillo, concreto puro y cualquier techo no metálico o con paja	1.0
Armadura en madera y cualquier techo no metálico o con paja	1.4
Ladrillo, concreto puro, armadura de madera pero con techo metálico	1.7
Cualquier edificación con un techo de paja	2.0

Fuente: BS 6651

Tabla 28. Factor C (Contenido o consecuencias)

Contenido o consecuencias	Valor de C
Casas comunes o edificios de oficinas, fabricas y tiendas que no poseen contenidos valiosos susceptible a perderse	0.3
Edificios industriales o agrícolas con contenido susceptible	0.8
Subestaciones de energía eléctrica, instalaciones de gas, centrales telefónicas, estaciones de radio	1.0
Plantas industriales importantes, monumentos antiguos y edificios históricos, museos, galerías de arte u otros edificios con valor especial en su contenido.	1.3
Colegios, hospitales, guarderías y otros lugares de reunión	1.7

Fuente: BS 6651

Tabla 29. Factor D (Grado de aislamiento)

Grado de aislamiento	Valor de D
Edificación localizada en un área extensa de edificios o árboles de la misma altura o más altos, por ejemplo en el centro de la ciudad o en un bosque.	0.4
Edificación localizada en un área con pocas estructuras o árboles de similar altura	1.0
Edificación completamente aislada o excediendo en el doble la altura de las estructuras o árboles alrededor.	2.0

Fuente: BS 6651

Tabla 30. Factor E (Tipo de terreno)

Tipo de País	Valor de E
País plano en cualquier nivel	0.3
País montañoso	1.0
País montañoso entre 300m y 900m	1.3
País montañoso por encima de 900m	1.7

Fuente: BS 6651

Interpretación del factor de riesgo. Si el resultado obtenido es considerablemente menor que 10^{-5} y en ausencia de otras consideraciones, la protección contra rayos no es necesaria. Si el resultado es mayor que 10^{-5} , por ejemplo 10^{-4} , se deberían tener razones validas para soportar la decisión de no contar con la protección contra rayos.

La decisión de proteger una estructura (tomada entre el propietario y el ingeniero) esta basada en una simple comparación del costo de los daños, las pérdidas económicas ocasionadas por la falla del sistema de energía, de comunicaciones o de datos, y el costo de la prevención y protección.

Diseño del sistema de protección externo. La norma británica recomienda que la zona de protección (el volumen protegido) para edificaciones menores de 20m es un cono con vértice en la punta del terminal aéreo y su base en la tierra. Si el terminal aéreo de la edificación es un anillo de apantallamiento, la zona de protección es un cono con su vértice en los extremos del conductor horizontal y su base en la tierra. Y para las edificaciones mayores de 20m de altura, la norma recomienda hacer uso del método de la esfera rodante.

2.3 LA NORMA NORTEAMERICANA NFPA 780

La norma norteamericana NFPA 780²¹ establece una metodología de evaluación de riesgo contra rayos, la cual asiste a los propietarios, arquitectos o ingenieros en la determinación del riesgo de daños debido a rayos. Una vez el riesgo ha sido determinado, decidir a cerca de la necesidad de las medidas de protección es mucho más fácil.

En la mayoría de los casos, la necesidad de protección es obvia como los siguientes ejemplos: instalaciones con gran cantidad de gente, continuidad en la prestación de servicios públicos, zonas de muy alta densidad de rayos a tierra, estructuras altas aisladas, edificaciones que contienen materiales explosivos o inflamables y edificaciones que contienen patrimonios culturales irremplazables.

Algunos tipos de comunes consecuencias de impactos directos de rayos a varios tipos de estructuras comunes se dan a continuación en la Tabla 31.

Tabla 31. Daños según el uso de la estructura.

Tipo de estructura	Consecuencia por impacto de rayos
Casas privadas	Daño de las instalaciones eléctricas, fuego y daños de equipos limitado a los objetos cercanos al punto de impacto del rayo.
Fincas, Granjas	Riesgo de fuego y chispas peligrosas, consecuencias del riesgo de fallas en la energía: pérdida de ventilación para el ganado y la distribución de alimento, riesgos de tensiones de paso.
Teatros, colegios, áreas deportivas, zonas de muchas tiendas minoristas	Riesgo de fuego y pánico, pérdidas de vidas y fallas en los sistemas de alarma y energía.
Bancos, compañías de seguros, empresas, hospitales y edificaciones de mayores cuidados	Pánico, problemas de evacuación, fallas de alarmas y energía, pérdidas de vidas, problemas en la salida de incapacitados, pérdida de computadores y equipos electrónicos.
Edificaciones industriales	Pérdida de la producción, pérdida de las materias primas, daños por materiales explosivos e inflamables, pérdida de equipos electrónicos y computadores.
Museos y sitios culturales	Pérdidas irremplazables de patrimonios culturales

Fuente: NFPA 780

²¹ Para conocer toda la norma norteamericana, ver los anexos del CD-ROM

La probabilidad de que una edificación o un objeto sea alcanzado por rayos es el producto del área efectiva total de una estructura u objeto y la densidad de rayos en la zona que la estructura esta localizada.

Densidad de rayos (N_g). Es el número anual de rayos a tierra por kilómetro cuadrado; la densidad de rayos a tierra, se debe de obtener de la Figura 16.

Frecuencia de impactos directos de rayos (N_d). Es la frecuencia anual de impactos directos de rayos (N_d) a una estructura y esta determinada por la siguiente expresión:

$$N_d = (N_g)(A_e)(C_1)(10^{-6})$$

Donde:

N_d = La frecuencia anual de impactos directos de rayos a la estructura

N_g = Promedio anual de la densidad de rayos en la zona donde esta la estructura

A_e = El área efectiva total de la edificación (m^2)

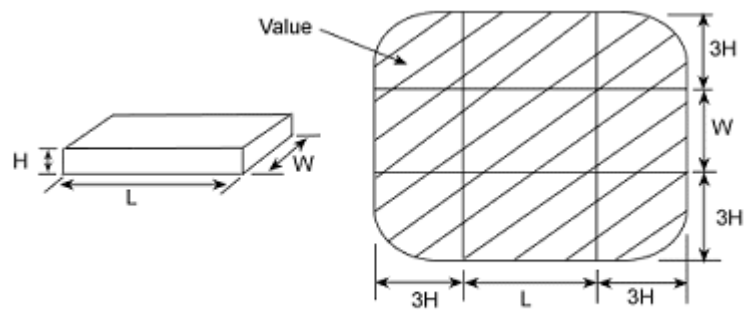
C_1 = El coeficiente del ambiente que rodea a la estructura

Área efectiva total (A_e). A_e es el área de tierra el cual tiene la misma probabilidad anual de impactos directos de rayos que la estructura. Este es un área mayor que la estructura, ya que se incluye el efecto de la altura y la ubicación de la estructura. El área efectiva total de una estructura es calculada de acuerdo con las Figuras 10 y 11. El área efectiva total de una estructura, tal y como lo muestra el Anexo B, es el área obtenida por medio de la extensión de una línea con una inclinación de 1 a 3 desde la cima de la estructura hasta la tierra en todo el alrededor de la estructura.

El coeficiente del ambiente cuenta para la topografía del suelo donde esta la edificación y cualquier clase de objetos localizados dentro de una distancia de 3H

a la estructura, lo que puede afectar el área efectiva total. La Tabla 32 muestra los coeficientes ambientales.

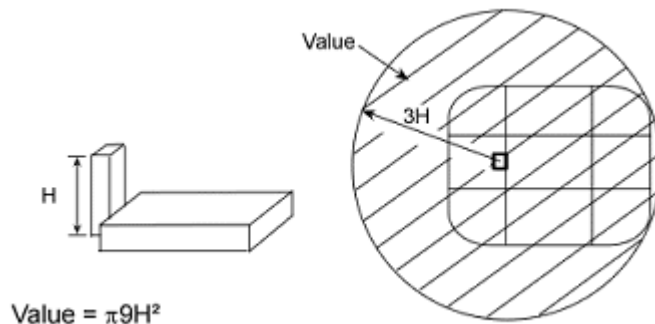
Figura 10. Cálculo de A_e de estructuras rectangulares



For a rectangular structure, Value = $LW + 6H(L + W) + \pi 9H^2$.

Fuente: NFPA 780

Figura 11. Cálculo de A_e de estructuras que poseen una parte prominente fuera de ella



Value = $\pi 9H^2$

Fuente: NFPA 780

Tabla 32. Determinación del coeficiente del ambiente C_1

Localización de la estructura	C_1
Estructura localizada dentro de un espacio que contiene estructuras a árboles del mismo alto o mas altos dentro de una distancia de 3H	0.25
Estructura rodeada por estructuras mas pequeñas dentro de una distancia de 3H	0.5
Estructura aislada sin otras estructuras alrededor localizadas dentro de una distancia de 3H	1
Estructura aislada en una cima	2

Fuente: NFPA 780

Cuando el área efectiva total de una estructura cubre totalmente a otra estructura, la estructura que es cubierta no se tiene en cuenta. Asimismo, cuando las áreas efectivas de varias estructuras están superpuestas, el área común efectiva equivalente es considerada como una sola área equivalente.

Frecuencia tolerable de rayos (N_c). La frecuencia tolerable de rayos (N_c) es una medida del riesgo de daños a la estructura incluyendo los factores que afectan el riesgo de la estructura, su ambiente y pérdidas monetarias. La siguiente expresión muestra el cálculo de N_c :

$$N_c = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{C}$$

Donde, $C = (C_2)(C_3)(C_4)(C_5)$

El valor de 1.5×10^{-3} es una cantidad que representa la frecuencia aceptable de perdidas de la propiedad. Los valores de C se obtienen de las Tablas 33, 34, 35 y 36.

Tabla 33. Coeficiente C_2 del tipo de la estructura

Estructura	Coeficientes C_2 del tipo de estructura		
	Techo metálico	Techo no metálico	Techo inflamable
Metálica	0.5	1.0	2.0
No metálica	1.0	1.0	2.5
Inflamable	20.	2.5	3.0

Fuente: NFPA 780

Tabla 34. Coeficiente C_3 del contenido de la estructura

Contenidos de la estructura	C_3
Bajo valor y no inflamables	0.5
Valor estándar y no inflamables	1.0
Alto valor, inflamabilidad moderada	2.0
Mas alto valor, inflamable, equipos electrónicos o computadores	3.0
Mas alto valor, objetos culturales irremplazables	4.0

Fuente: NFPA 780

Tabla 35. Coeficiente C_4 de la ocupación de la estructura

Ocupación de la estructura	C_4
No ocupada	0.5
Normalmente ocupada	1.0
Dificultad para evacuar o riesgo de pánico	3.0

Fuente: NFPA 780

Tabla 36. Coeficiente C_5 de las consecuencias de los rayos

Consecuencias de rayo	C_5
Continuidad en los servicios no requeridos, sin impactos para el medio ambiente	1.0
Continuidad en los servicios requeridos, sin impactos para el medio ambiente	5.0
Consecuencias para el medio ambiente	10.0

Fuente: NFPA 780

Selección del nivel de protección²². Se siguen así:

- Se compara el valor de N_c con N_d .
- Si $N_d \leq N_c$ el sistema de protección contra rayos es opcional.
- Si $N_d > N_c$ se debe contar con un sistema de protección contra rayos.

De ser necesario la instalación de un sistema de protección, este debe ser instalado de acuerdo a los requerimientos de la norma NFPA 780, además se deben de tener en cuenta medidas de protección adicionales tales como: Medidas para limitar las tensiones de paso y de contacto, medidas para restringir la propagación de fuego, medidas para limitar las tensiones inducidas y medidas para reducir los efectos de sobretensiones en equipos electrónicos.

²² Estimación del riesgo online según la NFPA 780 de USA en la página web de Mr. Lightning: <http://www.mrlightning.com/yourrisk.html>

3. ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS EN LA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

El objetivo de este capítulo es el de ofrecer la información breve sobre la evolución que los métodos de protección contra los rayos han tenido desde el siglo XVIII, así como la situación que prevalece actualmente en los comités de las diversas organizaciones normativas nacionales e internacionales en lo referente a la inclusión de las tecnologías en las guías de diseño.

3.1 DISPOSITIVOS DE PROTECCION EXTERNOS

Con el propósito de identificar los dispositivos de captación en su proceso de evolución, el término sistema o terminal convencional²³ se aplica a los pararrayos que utilizan electrodos aéreos simples, tales como los pararrayos de punta simple (Franklin), los conductores horizontales (telepararrayos) y los de tipo malla o jaula de Faraday; y el término sistema no convencional²⁴ se aplicará a los sistemas como los dispositivos de emisión temprana (ESE por sus siglas en inglés), y los de transferencia de carga (CTS por sus siglas en inglés).

1. Pararrayos ionizantes

Basan su principio de funcionamiento en la ionización pasiva o activa del aire, para excitar la carga y crear un camino abierto para capturar la descarga del rayo y canalizar su energía potencial por un cable a la toma de tierra eléctrica.

²³ RISON, William. Experimental validation of convencional and non-convencional lightning protection systems. Pagina web: http://www.lightningsafetyalliance.com/documents/ieee_panel.pdf

²⁴ ZAINAL, Hartono y IBRAHIM Robiah. Conventional and Un-conventional Lightning Air Terminals: An Overview. http://www.lightningsafetyalliance.com/documents/acem_air_terminals.pdf

a) Ionizantes pasivos. Pararrayos Franklin: Inventado por Benjamín Franklin en 1760, es el más común, y quizás históricamente el más conocido. Este dispositivo, el cual es mostrado en la Figura 12, está formado por una o varias puntas captadoras situadas en puntos dominantes del edificio. Su misión es provocar la excitación atmosférica por encima de cualquier otro punto de la estructura a proteger, para aumentar la probabilidad que la descarga incida en su zona de influencia, y derivar a tierra o al agua (en el caso de los barcos) la corriente del rayo. Es el más aceptado por la mayoría de entes normativos en el mundo.

b) Ionizantes activos. Pararrayos tipo ESE²⁵ (*Early Streamer Emission*). Las terminales aéreas de emisión temprana o ESE, también llamados PDC (pararrayos con dispositivo de cebado) o PDA (por sus siglas en francés), están formados por electrodos de acero o de materiales similares acabados en una punta.


Los terminales ESE pueden o no utilizar una fuente permanente de excitación instalada cerca de la punta pararrayos, con el objeto de acelerar o generar más rápidamente un líder ascendente en las inmediaciones de la punta justo antes de la iniciación del rayo. De esta forma, este líder ascendente forzado alcanzaría mayores distancias al momento de producirse el punto de contacto, aumentando la efectividad (aérea protegida) del sistema de protección.


Los dispositivos ESE son totalmente aceptados por la norma francesa NFC 17-102 y la norma española UNE 21 186²⁶.


Existen varios tipos de terminales ESE, los cuales se diferencian entre si por la fuente de excitación para generar el líder ascendente. Entre las tecnologías mas conocidas existentes en el mercado se encuentran:

²⁵ MCIVOR, Scout y CARPENTER, Roy. Evaluation of Early Streamer Emission Air Terminals. Pagina web: www.ees-group.co.uk/downloads/ESE%20paper.PDF


²⁶ Para conocer toda la norma Española UNE 21 186, ver los anexos en el CD-ROM.


 **Pararrayos de disparo eléctrico:** Este tipo de pararrayos emplean un detector que censa la aproximación de un líder produciendo una señal eléctrica proporcional a la magnitud o a la rata de cambio del campo eléctrico producida por la aproximación del líder. Cuando la señal de salida del detector alcanza un cierto nivel, este dispara un circuito que aplica un pulso rápido de alta tensión directamente a la varilla o a un arreglo de electrodos colocado en la punta de la varilla. La aplicación de los pulsos eléctricos mejora el campo eléctrico lo suficiente para crear una descarga local o ionización en el momento mas oportuno para iniciar la propagación de un líder ascendente (ver Figura 12).

 **Pararrayos de tipo piezoeléctrico:** se basa en la capacidad de los materiales piezoeléctricos como el cuarzo, de producir carga eléctrica a partir de los cambios en su estructura debido a presiones externas (tales como las producidas por el viento sobre el vástago del pararrayos).

 **Pararrayos radioactivos:** Los electrodos radioactivos, como el mostrado en la Figura 12, basan su efectividad en un incremento en el nivel ionizante alrededor de la punta pararrayos mediante la liberación de partículas alfa, las cuales son débiles pero con una vida relativamente larga. Este aire ionizado favorece generación del canal del rayo hasta tierra. Desafortunadamente, este nivel de ionización es muy pequeño comparado con el nivel de ionización producido por el líder descendente antes de producirse la descarga eléctrica de rayo. La fabricación, instalación e importación de este tipo de pararrayos ha sido prohibido²⁷ por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE en su artículo 44^o debido a los riesgos de exposición del público en general a la radioactividad.

²⁷ CASAS, Ospina y GRAFFE, Héctor. Pararrayos radioactivos: A desmontarlos. En: Mundo Eléctrico: Protección Eléctrica. Vol. 17, No 51. (Abril – junio 2003); p.30-32

 **Tipo ión - corona solar:** Tiene un dispositivo eléctrico emisor de iones y un acelerador de partículas polarizadas. Es más eficaz que el radioactivo ya que este último produce una ionización constante, mientras que la emisión del primero se incrementa en forma proporcional al cuadrado de la disminución de la distancia, lo que aumenta las probabilidades de que el líder descargue en él. No genera una ionización peligrosa a la salud de las personas que viven en la zona o al medio ambiente. Consiste en dos electrodos entre los cuales se producen efluvios eléctricos y una pequeña luminosidad (efecto corona). Necesita energía eléctrica para el ionizador y ésta se consigue generalmente con un panel solar.

 **Pararrayos electrónicos:** Incorporan un dispositivo electrónico sensible compuesto de diodos, bobinas, resistencias y condensadores, inundados en una resina aislante, todo ello blindado. El sistema electrónico aprovecha la influencia eléctrica del aumento de potencial entre la nube y la tierra, para auto alimentar el circuito electrónico y excitar la avalancha de electrones. La excitación del rayo se efectúa ionizando el aire por impulsos repetitivos, según aumente gradualmente la diferencia de potencial aportada por la saturación de cargas eléctrico-atmosféricas aparece la ionización natural o efecto corona, son mini descargas periódicas que ionizan el aire, este fenómeno es el principio de excitación para trazar un camino conductor intermitente que facilitara la descarga del fenómeno rayo (Líder). La desventaja de este tipo de pararrayos es el hecho de que el objetivo de estos es excitar la descarga y capturar el impacto solo de los rayos negativos a tierra.

2. Pararrayos desionizantes

En forma natural, existe la tendencia de mejorar la protección contra rayo a través de un aumento en la eficiencia de las terminales aéreas. Y efectivamente esto se concibe con el concepto de que si se evita la descarga del rayo en la estructura a proteger, se escaparían de los más graves problemas repercutidos de efectos indirectos. Con esto, se cambia totalmente la filosofía de protección, ya que se

pasa de “excitar el rayo para atraer su descarga en la zona de protección”, a todo lo contrario, “compensar eléctricamente la carga entre el suelo y la nube para evitar su formación y descarga en la zona protegida”.



Pararrayos de tecnología CTS²⁸ (*Charge Transfer System*). Las terminales de tecnología CTS que en español quiere decir sistema de transferencia de carga, basan su principio en la desionización por efecto de compensación de carga en un espacio/tiempo; el objetivo es evitar la saturación de carga electrostática en la atmósfera, concretamente compensar pacíficamente la diferencia de potencial entre nube y tierra de la zona durante el proceso de la formación de la tormenta.

El cabezal esférico del pararrayos está constituido por dos electrodos de aluminio separados por un aislante dieléctrico, todo ello soportado por un pequeño mástil de acero inoxidable. (Ver Figura 12)

Se basa esencialmente en canalizar por la toma de tierra la diferencia de potencial entre la nube y el cabezal del pararrayos CTS. Durante el proceso de la tormenta se genera un campo de alta tensión que es proporcional a la carga de la nube; a partir de una magnitud del campo eléctrico natural en tierra, la instalación equipotencial de tierras del pararrayos conduce primero hacia arriba las cargas generadas por la inducción de la tormenta eléctrica, estas cargas indiferentemente de su polaridad se concentran en el electrodo inferior del pararrayos que está conectado al cable de tierras y situado en lo más alto de la instalación. El electrodo inferior del pararrayos, dada su baja resistencia, facilita la captación de cargas opuestas en el electrodo superior del pararrayos para compensar internamente la diferencia de potencial entre los dos electrodos del cabezal. Durante este proceso de transferencia de energía se produce internamente en el pararrayos un pequeño flujo de corriente entre el ánodo y el cátodo que se deriva

²⁸ Comparar también con el archivo pdf: Charge Transfer System de la compañía EES-Group. Pagina web: www.ees-group.co.uk/downloads/Charge%20Transfer%20System%20Spec%20.PDF

a la puesta a tierra de la instalación y es proporcional a la carga de la nube. Durante el proceso de máxima actividad de la tormenta se pueden registrar valores máximos de transferencia de 300 miliamperios por el cable de la instalación del pararrayos.

El efecto de disipar constantemente el campo eléctrico de alta tensión en la zona de protección, garantiza que el aire del entorno no supere la tensión de ruptura de su resistencia dieléctrica evitando posibles chispas.

El pararrayos de tecnología CTS (*Transfer Charge System*), lleva dos años en el mercado con una gran aceptación por parte de los usuarios que lo tienen instalado en el Principado de Andorra en España.

3. Pararrayos reticulares o jaula de Faraday. Se basa en el fenómeno descubierto por el físico inglés Michael Faraday (1791-1867). Si rodeamos un ambiente con una lámina conductora, el campo eléctrico externo redistribuye los electrones libres en el conductor, dejando una carga positiva neta sobre la superficie externa en algunas regiones y una carga negativa neta en otras. Esta distribución de carga ocasiona un campo eléctrico adicional tal que el campo total en todo punto interior es cero, tal como lo predice la ley de Gauss. La jaula de Faraday, la cual es mostrada en la Figura 12, consiste en la recepción del rayo a través de un conjunto de puntas captadoras unidas entre sí por un entramado metálico de conductores horizontales, formando una malla, y derivándola a una red de tierra mediante una red de bajantes conductores.

A pesar de ser el sistema de protección externa más costoso de implementar, de los sistemas pasivos es el que reúne mayores garantías de protección, siendo la opción mas optima cuando se desea proteger edificios cuyos índices de riesgo son muy elevados, o bien por sus características de interés histórico o cultural.

4. Telepararrayos. Los telepararrayos constan de una o varias líneas aéreas conectadas en sus extremos mediante los correspondientes bajantes a tierra sobre la estructura a proteger. Los conductores se deberán unir a tierra mediante las bajantes en cada uno de sus extremos (ver Figura 12). El área protegida vendrá dada por el área formada por el conjunto de conductores aéreos.

Este sistema se utiliza para la protección de líneas aéreas de energía eléctrica, subestaciones eléctricas de distribución y transformación, depósitos de inflamables de pequeñas dimensiones, etc.

5. Puestas a tierra. En el actual estado del arte sobre las puestas a tierra, se aprueba mucho la construcción de tierras dedicadas, es decir una para subestación, otra para protección contra rayos, otra para equipos sensibles etc. Las razones por las cuales algunos fabricantes de equipos sensibles recomiendan tierras "aisladas" es la de evitar que a dichos equipos les lleguen perturbaciones provenientes del sistema eléctrico normal, o por mala interpretación del concepto de tierra aislada. Con tierras "separadas" dentro de una misma edificación se presentan fácilmente elevados potenciales, las cuales se evitan mediante la correcta interconexión de las tierras dedicadas. Para ello un recurso es la instalación de vías de chispas para unir las tierras dedicadas.

En lo que se refiere al tema del mejoramiento de la resistencia de las puestas a tierra existen en el mercado suelos artificiales, los cuales son geles que responden a la necesidad imperativa de obtener de forma efectiva y permanente una baja resistencia de puesta a tierra.

Seguridad Eléctrica²⁹ es la compañía colombiana líder en nuestro país que fabrica y comercializa suelos artificiales con su producto Favigel, con el cual se pueden alcanzar resistividades por debajo de los $0,5\Omega$.

²⁹ Seguridad Eléctrica Ltda. Pagina web: <http://www.seguridadelectricaltda.com/index.htm>

6. Bobinas de Choque. El principio de funcionamiento de una bobina de choque (Ver Figura 12) es el de ofrecer una baja resistencia (casi cero) en servicio normal, logrando que se ayuden las puestas a tierra y una alta impedancia ($X_L=2\pi fL$) ante impulsos de alta frecuencia, que puedan circular en los sistemas de puesta a tierra.

Los objetivos de la bobina de choque son los de: disminuir la tasa de cambio (di/dt) de las corrientes en el conductor de tierra de una instalación originadas por rayos para reducir la magnitud de las sobretensiones en modo diferencial en los cableados de equipos sensibles (computadoras, radios de comunicación, etc.), mantener la equipotencialidad entre Sistemas de Puesta a Tierra en condiciones de funcionamiento normal y optimizar el funcionamiento de la PT del sistema de protección contra rayos.

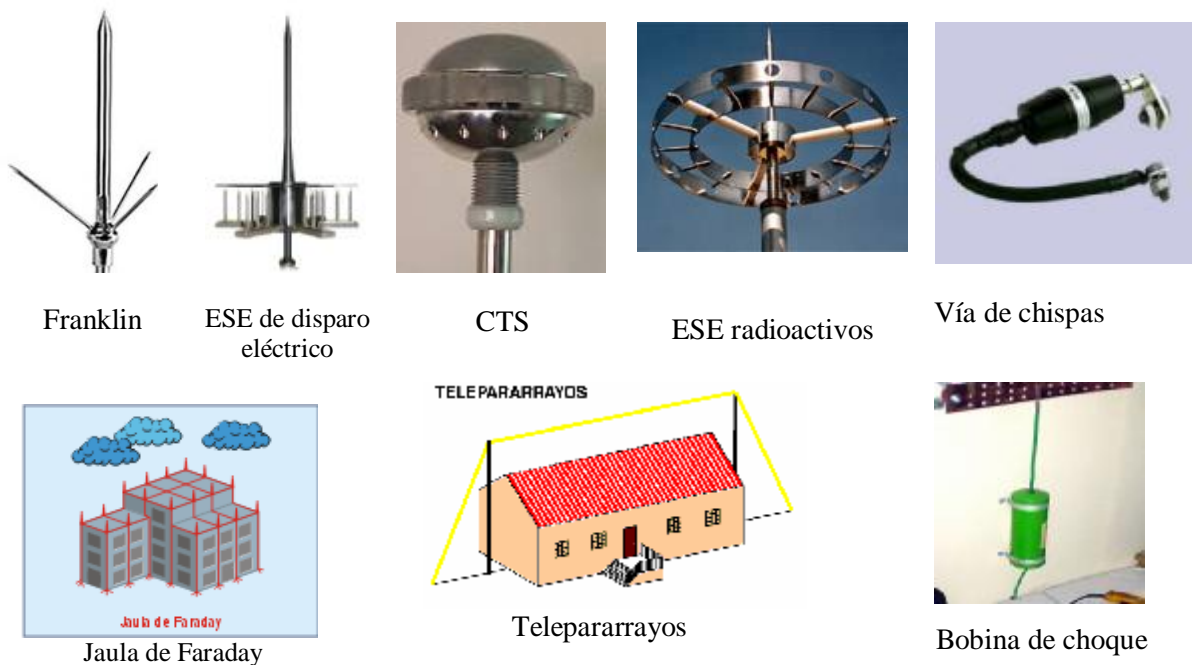
La utilidad de la bobina de choque radica en que permite la reducción de las corrientes de modo común en una instalación y por tanto se requiere menos control en las sobretensiones transitorias inducidas y se pueden reducir considerablemente los costos con el uso de protecciones internas.

7. Vías de chispas (o *spark gaps*). Las vías de chispas (Ver Figura 12) son descargadores diseñados para producir desacoplamiento, es decir para separar eléctricamente las partes conductoras o secciones de una instalación que deban de ser independientes entre sí por razones de funcionamiento. Una vía de chispas pasa de estado aislante a estado conductor cuando, a causa de una sobretensión originada por una descarga atmosférica, se enciende en ella un arco voltaico y, con él, se genera una equipotencialidad temporal entre los dos electrodos que la conforman.

Alguno de los usos más frecuentes de las vías de chispas son:

- En edificios que cuentan con conexiones de puesta a tierra independientes (por ejemplo, una puesta a tierra de equipos electrónicos y una de protección contra rayos) puede emplearse una vía de chispas para unirlos equipotencialmente al momento de la descarga de un rayo. De esta forma, al contrario que lo que ocurriría con una conexión directa, se logra evitar la corrosión electroquímica del conductor de tierra.
- Uniones equipotenciales entre los mástiles de antenas y el sistema de protección contra rayos en caso de que una descarga impacte en una antena.
- Se emplean como puentes entre las palomillas de las acometidas de baja tensión mediante línea aérea y los componentes de sistemas de protección externa contra el rayo cuando la distancia entre ambos es muy reducida.

Figura 12. Tecnologías de dispositivos de protección externa



3.2 DISPOSITIVOS DE PROTECCION INTERNOS

Hoy en día se cuenta con dispositivos que permiten tener una protección totalmente eficaz contra las sobretensiones de origen externo causadas por los

rayos (las más dañinas), las cuales llegan hasta las instalaciones por medio de tres formas:

Sobretensión conducida; El rayo al caer directamente en las líneas aéreas, la sobretensión se propaga a la largo de varios kilómetros, incluso acoplándose capacitivamente entre los arrollamientos de alta a baja tensión de un transformador. Aumento del potencial de tierra; el impacto de un rayo cercano origina la circulación de corrientes en la tierra provocando la elevación de la tensión del terreno afectando a los cables y a las tuberías enterradas (gas, agua), transfiriendo la tensión al interior del edificio. Sobretensión inducida; las corrientes del rayo al caer a tierra mediante pararrayos generan un campo electromagnético que se induce en otros conductores.

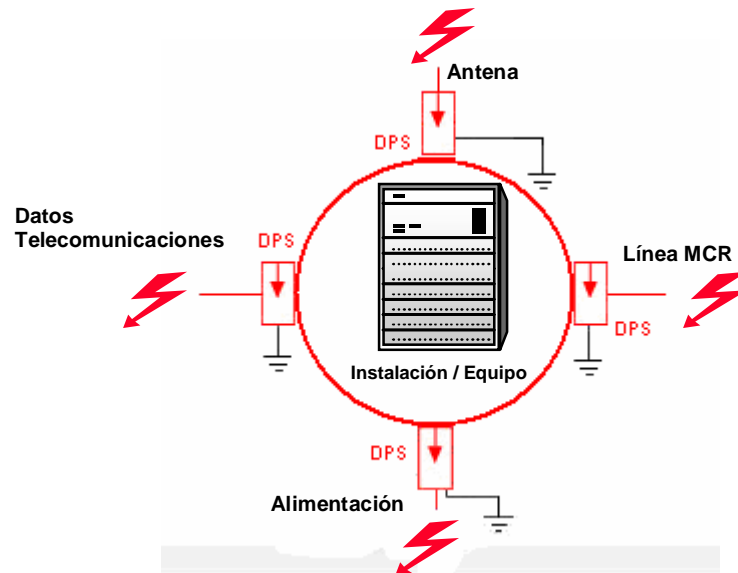
Con la denominación "circulo efectivo de protección " mostrado en la Figura 13. se especifica una medida completa para protección contra sobretensiones. La instalación o aparato a proteger tiene que incluirse dentro de un círculo de protección imaginario, tal que, en todas las líneas que corte el círculo de protección tienen que instalarse protecciones contra sobretensiones que correspondan a los datos nominales del tipo de circuito o a la interfase del aparato a proteger correspondiente.

Fundamentalmente se distinguen cuatro distintos tipos de circuitos por donde las sobretensiones pueden afectar a los equipos o instalaciones: Alimentación de corriente AC y DC, cables de medida, control y regulación (MCR), instalaciones de procesamiento de datos, telecomunicaciones, y equipos emisores-receptores.


Las diferentes tecnologías de dispositivos de protección internos agrupan: los supresores de sobretensiones transitorias o DPS y los filtros. Sin embargo, en ciertas condiciones hay otros aparatos que pueden también cumplir esta función

como son los transformadores, los estabilizadores y los sistemas de alimentación interrumpida (SAI o UPS). En la práctica todos estos dispositivos tienen dos efectos: o limitar la tensión de choque que son las protecciones paralelas (los DPS), o limitar la potencia que se transmite que son las protecciones serie (filtros).

Figura 13. Circulo efectivo de protección contra sobretensiones



Fuente: TRABTECH. Concepto de la protección integral contra sobretensiones transitorias.
http://www3.phoenixcontact.com/ar/info_tt.html

 **DPS (Surge Protective Devices).** Un dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias – DPS o supresor de transitorios TVSS (*Transient Voltage Surge Suppressors*) actúa como un interruptor controlado por tensión. Si la tensión es mayor que la nominal de la línea a proteger, el protector pasa a baja impedancia y deriva a tierra. En estado normal el protector está en alta impedancia y es transparente a la instalación.

Los dispositivos de protección contra las sobretensiones se clasifican según la IEC 61643-1³⁰: protecciones primarias o externas (tipo 1); que actúan ante la caída

³⁰ Recommended practice on surge protective devices connected to low-voltage power distributions systems. Part 1: Performance requirements and testing methods.

directa de un rayo, las protecciones secundarias (tipo 2); se encargan de reducir las tensiones residuales de los descargadores de corrientes de rayo y/o de las sobretensiones de maniobra o a frecuencia industrial, y las protecciones terciarias o finas (tipo 3); las cuales son aplicadas a las líneas de datos, entrada/salida, comunicaciones internas en un equipo electrónico, alimentación de un aparato y de reducir las tensiones residuales de los descargadores tipo 1 y 2.

Actualmente en el mercado se pueden encontrar fácilmente dispositivos de protección que combina eficazmente dos tipos de clases, lo cual le permite, primero, aportar protección contra sobretensiones frecuentes de baja energía ocasionadas por procesos de conmutación o descargas atmosféricas en el entorno, segundo, actuar cuando se trate de dominar una corriente de choque de mayor energía y tercero, resolver problemas de espacio en el lugar de instalación.

Según su funcionamiento, el RETIE nombra dos clases de DPS:

1. DPS del tipo conmutación de tensión (en inglés, *crowbar*): Un DPS que tiene una alta impedancia cuando no esta presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta a un transitorio de tensión. Ejemplos de estos dispositivos son: Los vías de chispas, tubos de gas³¹, tiristores y triacs.

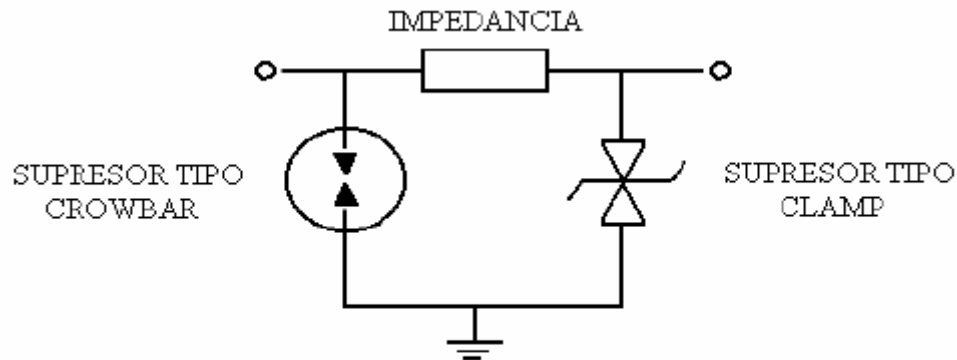
2. DPS del tipo limitación de tensión (en inglés, *clamp*): Un DPS que tiene una alta impedancia cuando no esta presente un transitorio, pero se reduce continuamente con el incremento de la corriente y la tensión transitoria. Ejemplos de estos dispositivos son: Los varistores³³ y los diodos de supresión.

³¹ ROJAS, Aurelio. Protección contra sobretensiones. En: Seminario internacional sobre protección de equipo electrónico y sistemas de puesta a tierra - SIPAT. 2001. Bogota. Universidad Nacional.

La instalación de los DPS en Colombia debe hacerse según el RETIE y la NTC 4552, NTC 2166³² y la NTC 2050.

Los dispositivos comerciales³³ actualmente existentes, llamados en términos generales como supresores, utilizan una de estas dos tecnologías (tubo de gas y varistores) o las combinan, aprovechando la alta capacidad de disipación energética del gas y la regulación la tensión de descarga del óxido metálico. Un ejemplo de estas combinaciones son los supresores multietapas, tal como se muestra en la Figura 14, en donde se visualiza una primera etapa formada por un varistor a base de gas, encargado de disipar la porción importante de energía proveniente de una sobretensión y como segunda etapa se usa un diodo zener, cuya tensión residual es lo suficientemente bajo para asegurar la protección de equipos sensibles.

Figura 14. Dispositivos supresores multietapas



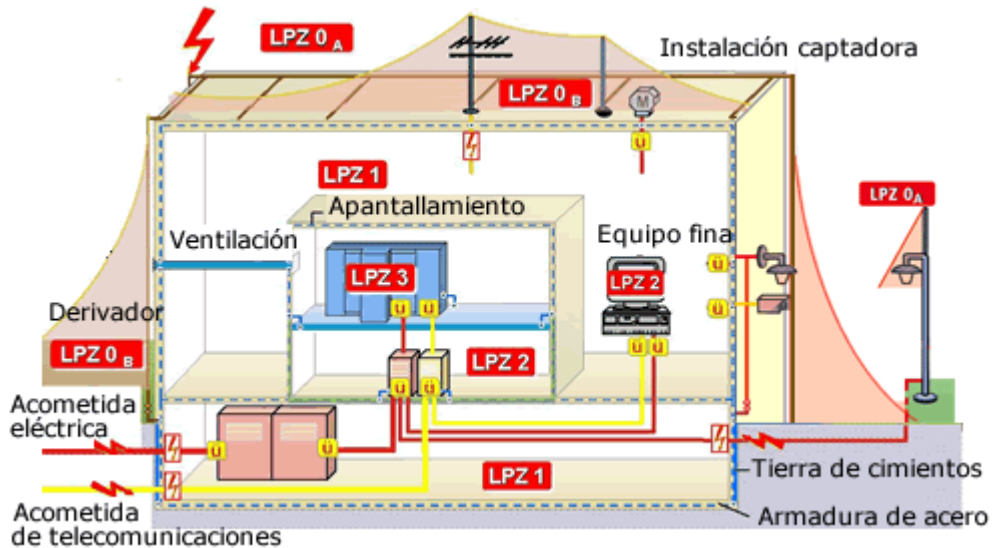
Fuente: LOBODA, Marek. Dispositivos y técnicas reductoras de EMI. En: Congreso SIPAT III. 2001

Las zonas de protección contra sobretensiones, las cuales son contenidas en el documento de la nueva norma internacional IEC 62305-3, son ilustradas en la Figura 15 y descritas a continuación:

³² Icontec. Descargadores de sobretensiones de resistencia variable con explosores para redes de corriente alterna.

³³ Entre las principales marcas de DPS se encuentran: Leviton, Citel, Dhen, Sine Tamer, Simeon, Polyphaser, Cuttler Hammer, Transtector, Polyphaser y Zymax.

Figura 15. Zonas de Protección



Fuente: DEHN. Página web: http://www.dehn.de/www_DE/PAGES_ES_INT/productos/zona.html

- LPZ 0_A: Zona donde los objetos están sujetos a impactos directos, por lo que pueden tener que soportar todo el impulso de corriente de rayo (LEMP) y no existe atenuación del campo electromagnético.
- LPZ 0_B: Zona donde los objetos no están sujetos a impactos directos, pero no existe atenuación del campo electromagnético.
- LPZ 1: Zona donde los objetos no están sujetos a impactos directos y el valor de la corriente en los elementos conductores es menor comparada con la zona 0_B. En esta zona el campo electromagnético está también atenuado y la atenuación depende del tamaño del apantallamiento o blindajes.
- Zonas subsiguientes (LPZ 2, LPZ 3, etc.). Tanto la corriente como el campo electromagnético que llegan a esta zona son reducidas por la zona anterior. En esta zona se atenúan aun más la corriente como el campo que pueda llegar a las otras zonas.

A continuación se describen las diferentes tecnologías de DPS:

Descargadores abiertos o explosores. En los descargadores abiertos el aire ambiente se usa como dieléctrico. La tensión de encendido del descargador no puede definirse exactamente pues depende de la humedad, de las impurezas del aire y de lo brusco del frente de la onda. Generalmente los descargadores abiertos sólo se utilizan en las instalaciones en las que se permite una tensión residual relativamente alta, por ejemplo en instalaciones de pararrayos. Después del paso del transitorio de sobretensión, la conducción cesa y el aislamiento original se reinstaura.

Ventajas: Baja capacidad, alta capacidad de disipación de energía.

Inconvenientes: Lentitud, tensión de encendido depende de la presión atmosférica, la humedad y de impurezas del aire y suciedad, tensión residual elevada, riesgo de fuego.

Descargadores de contorno deslizante. Para la red existen los descargadores abiertos o de contorno-deslizante con electrodos de cobre-wolframio separados por un plástico muy especial que gasea cuando el arco voltaico se encuentra muy cercano al mismo provocando una cierta corriente de aire que empuja al arco voltaico hacia fuera provocando el apagado de la repetición de la red. Al cesar el impulso perturbador el arco voltaico se extingue y la acción aislante del descargador queda de nuevo restablecida.

Ventajas: Nula intensidad de fuga, baja capacidad, alta capacidad de disipación energética, tensión de encendido independiente de la pendiente del impulso.

Inconvenientes: Tensión de encendido muy elevada del orden de 2kV, tensión residual elevada, riesgo de fuego.

Descargadores de gas (GDT, *gas discharge tubes*; tubos de descarga en gas). Un descargador de gas, está formado por un tubo de cerámica o de cristal en el que se encuentran dos electrodos próximos entre sí. La cámara del tubo está llena de gas noble (generalmente argón o neón) y se encuentra a una determinada presión. En su estado normal, el dispositivo es esencialmente un circuito abierto,

pero cuando la tensión aplicada en sus bornes supera la tensión umbral, el gas se ioniza y conduce con una muy baja impedancia. La tensión en bornes del tubo cae al valor de la tensión del arco, el cual es mucho menor que la tensión umbral. Esta característica es conocida como "efecto avalancha". El descargador gaseoso no se utiliza en líneas de potencia de AC, ya que su tensión de arco está por debajo de la tensión nominal de red, poniendo en cortocircuito a la línea de energía y haciendo actuar las protecciones debido a la excesiva corriente drenada. Sin embargo, se usa en las líneas de comunicaciones ya que la tensión de alimentación es lo suficientemente baja como para que el descargador no tenga corriente de fuga después del paso de una sobretensión. Una característica importante de los tubos de gas es su gran capacidad de absorber energía aunque su tiempo de respuesta es muy alto, por ello se los suele utilizar en combinación con los MOV, estos aportan velocidad a la protección y los descargadores de gas una gran capacidad de absorción de energía.

Ventajas: Alto poder de disipación energética, buena resistencia al calentamiento, alta resistencia, baja capacidad, amplio margen de tensiones limitadoras, larga vida, nula intensidad de fuga, baja resistencia en conducción.

Inconvenientes: Lentitud en el tiempo de respuesta, alto costo, pueden estropearse con una tensión excesiva, si tienen fugas puede aumentar su tensión, la tensión de encendido depende de la pendiente del impulso de sobretensión, no son autoextinguibles.

Varistores o MOV (*Metal Oxide Varistors*; varistores de óxido metálico). Los varistores son resistencias no lineales cuyo valor desciende con la tensión en sus extremos. Los varistores tienen dos estados o comportamientos básicos: el estado normal el cual se presenta cuando el dispositivo es sometido a una tensión por debajo de su tensión de limitación (valor a partir del cual el dispositivo empieza a conducir corriente a través de sus terminales, a partir del cual se presenta el estado dinámico). Durante el estado estático el dispositivo presenta entre sus

terminales un alto valor de impedancia y a través de él circula una pequeña corriente llamada corriente de fuga. Durante el estado dinámico, el varistor presenta una baja impedancia manteniendo entre sus terminales una tensión que es relativamente constante, llamada tensión residual. Esta tensión es la que determina el nivel de protección del dispositivo, ya que será la tensión soportada por el circuito protegido en caso de una sobretensión.

Los varistores se presentan la mayor parte de las veces en forma de pastilla cilíndrica, es un sólido cerámico compuesto que puede ser de carburo de silicio (SiC) o de óxido de zinc (ZnO). Estos últimos tienen mejores características de intensidad-tensión que los primeros. Un varistor de óxido de zinc se compone de granos de ZnO cimentados en otros granos de óxidos metálicos. El óxido de zinc es un semiconductor de tipo N, que limita con los demás óxidos metálicos de tipo P. El comportamiento eléctrico del varistor de óxido de zinc queda, pues, limitado por el número de contactos PN, dispuestos en paralelo y en serie. Su tiempo de respuesta es más rápido que el de un descargador de gas, pero más lento que el de un diodo supresor de silicio.

Ventajas: Rapidez en el tiempo de respuesta, buena disponibilidad de tensiones de limitación, buena fiabilidad, baja intensidad de fuga, adecuado para bajas tensiones.

Inconvenientes: Mala disipación de energía, mala resistencia al calentamiento, envejecimiento, alta capacidad.

Los componentes de silicio. Con este nombre se agrupan varios componentes electrónicos (diodos, tiristores, triacs,...). Estos componentes, desde el punto de vista de su baja capacidad de disipación energética, se utilizan principalmente en BT y, sobre todo, en líneas telefónicas, líneas coaxiales, módems, líneas de comunicaciones y redes como RDSI, RS 232 y 422, *Ethernet* y *Token Ring* con conectores RJ 11 y RJ 45, cableado de señales 4-20 mA, y en el hogar en las

alimentaciones de PCs y toda clase de electrodomésticos, entre muchas otras aplicaciones.


Los diodos de avalancha (ABD; *Avalanche Breakdown Diode*) manejan corrientes bajas pero son muy rápidos. Los diodos supresores se fabrican de silicio, los cuales son uniones PN caracterizadas por su aguda característica de avalancha, por su alta capacidad de supresión de sobretensiones, por su extremadamente rápida respuesta (el paso a conducción es del orden de los nanosegundos) y por su baja resistencia de conducción. Las corrientes de derivación de estos componentes pueden ser como máximo de varias centenas de amperios.

Son utilizados frecuentemente en protectores contra sobretensión en línea de datos y comunicación.

Ventajas: Rapidez de respuesta, tensión de conducción muy próxima a la tensión de protección requerida, el mejor factor de limitación, gran fiabilidad, buena disponibilidad de tensiones de limitación.

Inconvenientes: Mala disipación de energía, corriente admisible limitada, alto costo por joule.

Los tiristores supresores de sobretensiones (TSS, *Tyristor surge suppressor*) protegen circuitos en computadoras y equipos electrónicos de audio y video de consumo cotidiano.

 **Filtros.** Este tipo de dispositivos emplea elementos (generalmente bobinas y condensadores) que son colocados entre la línea de CA y el equipo a proteger (configuración serie). Los elementos circuitales están diseñados de forma de dejar pasar la potencia de CA normal de 60 Hz, pero tienen una elevada impedancia eléctrica a las frecuencias más altas, teniendo en cuenta que los tiempos involucrados en una descarga atmosférica son del orden de los microsegundos. Estos componentes actúan como circuito abierto para los picos en lugar de ser solamente desviados como era el caso de los supresores shunt o DPS.

Los filtros tienen muchas configuraciones posibles. Según el esquema, en “L”, “T” o “ π ”, su atenuación es diferente.

Para conseguir una buena adaptación del dispositivo, la elección de los componentes, que se hace a partir de un cálculo en función de las bandas pasantes de las perturbaciones a controlar, requiere conocer bien las impedancias de la instalación.

Los elementos serie normalmente están limitados en tamaño, costo y disipación de calor, por lo cual una de las estrategias actualmente implementadas es la de combinar los filtros con los elementos supresores tipo "shunt" o paralelo para lograr así un desempeño superior en la supresión de sobretensiones.



Los estabilizadores y los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI o UPS). Estos equipos tienen muchas veces varios de los dispositivos descritos anteriormente y por tanto, con ellos, forman parte de las protecciones secundarias.

4. CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Desde el momento en el cual entro en vigencia el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE³⁴, el 7 de abril de 2004 por el Ministerio de Minas y Energía las disposiciones aplicables que este posee son de obligatorio cumplimiento, ya que esta hace parte los objetivos legítimos del gobierno nacional para la protección de la vida y los bienes de las personas. Por esto, debido a su carácter obligatorio, las infracciones al reglamento conllevaran a sanciones por parte de la justicia ordinaria que podrán afectar, entre otros, a las empresas de servicios públicos, a los diseñadores, constructores, interventores, organismos acreditados, fabricantes, comercializadores, importadores y usuarios.

En lo que respecta a los requisitos de protección contra rayos, en su artículo 42 del capítulo VII, el RETIE adopta la metodología para evaluar el riesgo debido a descargas eléctricas atmosféricas y las disposiciones de la NTC 4552. En el reglamento, se establece que todas las instalaciones nuevas deben cumplir con el artículo mencionado. Y a pesar de que las instalaciones ya construidas no están obligadas, las instalaciones con alto riesgo deberán realizar las modificaciones por exigencia de las autoridades.

Por todo lo anterior, teniendo en cuenta la futura expansión de la infraestructura y el nivel de riesgo ante rayos de algunas de las edificaciones en la Universidad Tecnológica de Bolívar la idea de aplicación de la norma técnica colombiana de protección contra rayos NTC 4552 en la universidad surge debido a su

³⁴ Para conocer mas a cerca del RETIE, visitar la pagina web del Ministerio de Minas y Energía de la presidencia de Colombia: <http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/pages/retie1>

desconocimiento de carácter obligatorio por parte de la mayoría de los propietarios y compañías del sector de la construcción.

4.1 APLICACIÓN DE LA NORMA NTC 4552

La metodología para evaluar de la necesidad de un sistema de protección contra rayos se encuentra establecida en el diagrama de flujo de la Figura 3. En el, al determinar el nivel de riesgo contra rayos de una estructura, esta debe poseer como mínimo una guía de seguridad personal y un Sistema de Protección Interno (SPI). El diseño del SPE (Sistema de Protección Externo) y la necesidad de contar con una alarma de detección de tormentas dependen del nivel de riesgo de la estructura.

Teniendo en cuenta el hecho de que todas las edificaciones en estudio deberían de contar con un sistema de protección interno y solo el edificio de Aulas 1 posee protección externa, se realizara en primer lugar la evaluación del riesgo sin tener en cuenta ninguna protección y luego, mediante el modelo electrogeométrico, recomendado en la norma NTC 4552, se evaluara la eficiencia del pararrayos instalado en el edificio de Aulas 1.

A continuación se presentan los objetivos de la aplicación de la norma técnica colombiana NTC 4552:

- Establecer y dar recomendaciones a cerca de la necesidad de utilizar o no un sistema de protección contra rayos en las edificaciones a partir de la evaluación del nivel de riesgo de acuerdo a la norma NTC 4552
- Hacer un análisis comparativo de los resultados obtenidos de la norma colombiana con respecto a las normas internacionales y determinar la aplicabilidad de las internacionales en un país como Colombia, el cual posee diferentes parámetros de incidencia de rayos a los estimados en muchos de los países de origen.

Antes de empezar a realizar la aplicación de la norma colombiana de protección contra rayos en las edificaciones más importantes de la UTB, se definen varios conceptos a utilizar:

La densidad de rayos a tierra, DRT. Para determinar el valor de densidad de descargas a tierra la norma recomienda tomar los datos estimados por el RECMA a partir de los tres sistemas de medición y localización: Interconexión Eléctrica SA (6 sensores tecnología LPATS³⁵), Empresas Publicas de Medellín (4 sensores tecnología LLP) y el programa de Adquisición y Análisis de señales de la Universidad Nacional; PAAS-UN³⁶ (1 sensor TSS420). La Figura 16 muestra la probabilidad acumulada vs. DRT para Cartagena.

I_{abs} , Corriente pico absoluta promedio. Para determinar el valor de corriente pico absoluta promedio se utilizo la distribución de frecuencia acumulada de amplitudes de corriente de retorno del rayo según el comité Cigre.

Debido a que el índice de los parámetros del rayo en la zona en consideración (Cartagena); que se determina de acuerdo a la Tabla 2 (Indicador de parámetros del rayo), cubre a todas las edificaciones de la Universidad Tecnológica de Bolívar, a continuación se determina este índice, el cual se tendrá en cuenta en cada uno de los casos a estudiar.

En primer lugar, para determinar la densidad de descargas a tierra, DDT y la corriente pico absoluta promedio, I_{abs} se sigue la recomendación de la norma colombiana, la cual recomienda utilizar para diseños de protección contra rayos en Colombia valores de parámetros de rayo con baja probabilidad de ser superados.

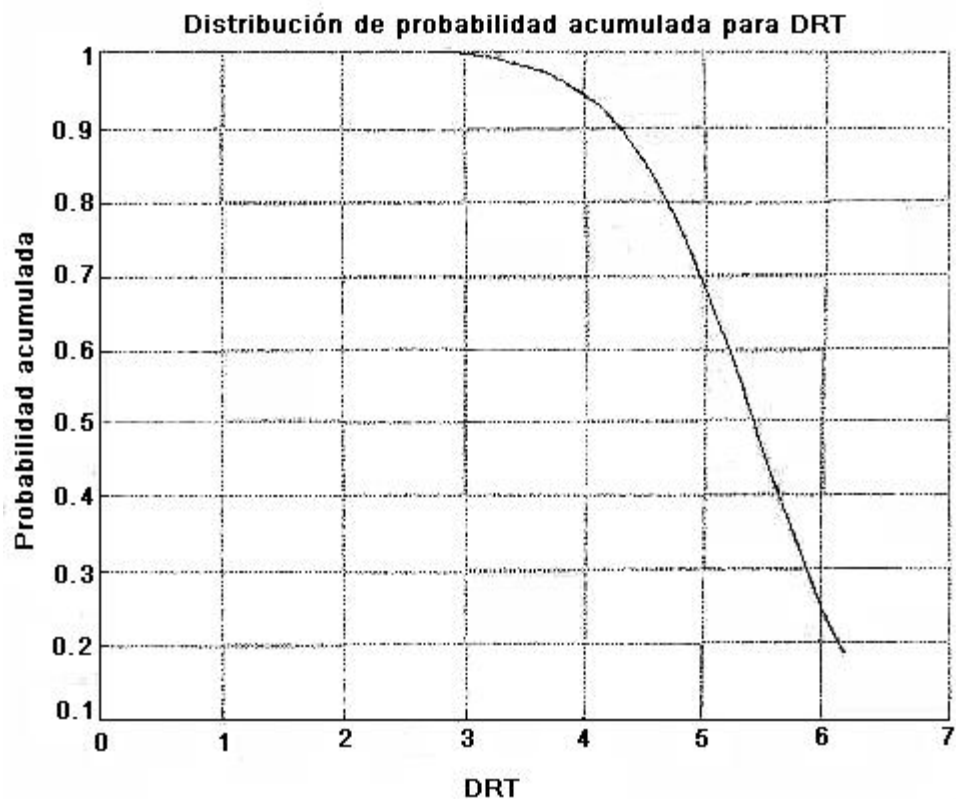
³⁵ Tecnologías de medición y localización de rayos, ir a la Monografía: Investigaciones sobre descargas eléctricas atmosféricas en Colombia de SIERRA, Leonardo.

³⁶ Para mas información sobre las investigaciones del programa PASS-UN de la Universidad Nacional de Colombia, visitar la pagina web: <http://www.paas.unal.edu.co>

De esta forma, la norma sugiere en el numeral 1.3.2 que los valores de I_{abs} y DDT deben tener el 50% de probabilidad de ocurrencia, o menos.

Teniendo en cuenta lo anterior, y con base a la Figura 16, para Cartagena se escoge la DDT con un valor de 6.2 rayos por $\text{km}^2\text{-año}$, el cual tiene menos del 21% de probabilidad de ocurrencia.

Figura 16. Distribución de probabilidad acumulada Vs. DRT para Cartagena.



Fuente: TORRES S. Horacio. El rayo: Mitos, leyendas, ciencia y tecnología. Unibiblos. Bogota D.C. Colombia. Pág. 381.

Siguiendo también la anterior recomendación de la norma, se determina el valor de I_{abs} , el cual se escoge de una probabilidad de ocurrencia de I_{abs} del 50%. Esta probabilidad se muestra en la figura del Anexo E y corresponde a una corriente de 48kA.

Así, los dos datos anteriores, llevados a la Tabla 2 dan como resultado que el indicador del parámetro del rayo en la zona sea considerado *Alto*.

Realizando el cálculo total del indicador de los parámetros del rayo, se utiliza la siguiente expresión dada por la norma, en la que se le dan proporciones de 0,7 para la DDT y de 0,3 para la I_{abs} .

$$\text{Riesgo} = 0.7 * R_{DDT} + 0.3 * R_{I_{abs}}$$

Siendo R_{DDT} el aporte al riesgo debido a la densidad de descargas a tierra, y $R_{I_{abs}}$ el aporte al riesgo ocasionado por la magnitud de la corriente pico absoluta promedio.

Reemplazando los porcentajes de las probabilidades, se tiene que el riesgo es:

$$\text{Riesgo} = 0.7 \times R_{DDT} + 0.3 \times R_{I_{abs}} = 0.7 \times 21 + 0.3 \times 40 = 26.7 \%$$

Teniendo en cuenta que $DDT=6,2$ y $I_{abs}=48\text{kA}$, se puede ver (según la Tabla 2) que el resultado del indicador de parámetros del rayo arroja un nivel de *riesgo alto*.

4.1.1 Biblioteca Luís Enrique Borja Barón



Características técnicas:

Nombre	Biblioteca Luís Enrique Borja Barón
Localización	Cartagena – Bolívar – Colombia
Ubicación geográfica	75°31' Longitud O 10°27' Latitud N
Uso de la estructura	Consulta bibliográfica, consulta en Internet, zona de estudio, salón de conferencias y servicios varios
Capacidad	300 personas
Área de la estructura	490 m ²
Altura de la estructura	11,1 m
Estructura	Concreto

Debido a que en el anterior numeral se determinó el índice por parámetros del rayo que aplica a la zona donde se encuentran las edificaciones de la universidad,

a continuación se determina el otro índice, el que muestra la gravedad de la edificación para recibir un impacto directo o indirecto por rayos.



Determinación del índice de gravedad de riesgo por rayos. Para encontrar el índice de gravedad se tienen en cuenta tres subindicadores, clasificados dentro de las características que están relacionadas con la estructura.

El valor del subindicador relacionado con el uso que se le da a la estructura, según la Tabla 4, se le asignó el valor de 20, que corresponde a una estructura tipo C de uso como bibliotecas.

El valor del subindicador relacionado con el tipo de estructura: por el material con el cual esta construida la estructura (concreto), se clasifica como no metálica, que tiene un valor asignado según la Tabla 5 de 40.

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40

El valor del subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura: teniendo en cuenta los datos de la biblioteca:

Área de la estructura	490 m ²
Altura de la estructura	11.1 m

Según la tabla 6 se le da a este subindicador el valor mínimo (5).

Sumando los subindicadores relacionados con la estructura, se obtiene la gravedad que se puede presentar en la estructura. $I_G = I_{USO} + I_r + I_M$

En donde:

I_{USO} = Subindicador relacionado con el uso de la estructura = 20


I_r = Subindicador relacionado con el tipo de estructura = 40


I_M = Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura = 5

Reemplazando los valores anteriores, $I_G = 20 + 20 + 5 = 65$

Según la Tabla 3, el indicador de gravedad de la estructura corresponde a un nivel *Bajo*.

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
51 a 65	Media

 **Evaluación del nivel de riesgo del edificio.** Teniendo el índice debido a los parámetros del rayo (alto) y el nivel de gravedad debido a las características de la estructura (medio), se establece el nivel de riesgo *medio* en la matriz de riesgo de acuerdo a la Tabla 7 del primer capítulo.

 **Recomendaciones de la norma NTC 4552.** Según la norma técnica colombiana NTC 4552, se encuentra un factor de riesgo *medio* y se dan las siguientes recomendaciones a tener en cuenta en el sistema integral de protección contra rayos, SIPRA.

NIVEL DE RIESGO MEDIO	Se debe contar con un sistema de protección interna, SPI Se deben tener el cableado y el diseño de la puesta a tierra según las normas NTC 2050 y IEEE 1100 Se debe instalar un sistema de protección externo, SPE Se debe contar con un plan de prevención y contingencia: Guía de seguridad personal durante tormentas
------------------------------	--

4.1.2 Edificio de Bienestar Universitario

 **Características técnicas:**

Nombre	Bienestar Universitario
Localización	Cartagena – Bolívar – Colombia
Ubicación geográfica	75°31' Longitud O 10°27' Latitud N
Uso de la estructura	Oficinas de deportes, gimnasio, tenis, tenis de mesa
Capacidad	100 personas
Área de la estructura	1150 m ²
Altura de la estructura	7,4 m
Estructura	Concreto

Nuevamente se determinara el índice que muestra la gravedad de la edificación para recibir un impacto directo o indirecto por rayos, ya que en un principio de encontró el otro índice; el de los parámetros del rayo.



Determinación del índice de gravedad de riesgo por rayos. Igual que para el anterior caso, para encontrar el índice de gravedad de riesgo se tienen en cuenta tres subindicadores, clasificados dentro de las características que están relacionadas con la estructura.

Al subindicador relacionado con el uso que se le da a la estructura, según la Tabla 4, se le asigna el valor de 30, que corresponde a una estructura tipo B de uso como edificio de oficinas y áreas deportivas cubiertas.

Subindicador relacionado con el tipo de estructura: el material con el cual esta construida la estructura (concreto) se clasifica como no metálica y tiene un valor asignado según la Tabla 5 de 40.

El valor del subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura: teniendo en cuenta la altura y el área de la estructura en estudio:

Área de la estructura	1150 m ²
Altura de la estructura	7,4 m

Teniendo en cuenta los datos anteriores la tabla 6 le da a este subindicador el valor de 10.

Entonces, sumando los subindicadores relacionados con la estructura, se obtiene la gravedad que se puede presentar en la estructura. $I_G = I_{USO} + I_r + I_M$

En donde:

I_{USO} = Subindicador relacionado con el uso de la estructura = 30

I_r = Subindicador relacionado con el tipo de estructura = 40

I_M = Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura = 10

Reemplazando, se tiene: $I_G = 30 + 40 + 10 = 80$

Según la Tabla 3, el indicador de gravedad de la estructura corresponde a un nivel *Alto*.

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
66 a 80	Alta



Evaluación del nivel de riesgo del edificio. Teniendo el resultado del índice debido a los parámetros del rayo (alto) y el resultado del índice de gravedad debido a las características de la estructura (alto), se establece de acuerdo a la Tabla 7 el nivel de riesgo en la matriz de riesgo, el cual se encuentra que es alto.



Recomendaciones de la norma NTC 4552. Según la norma técnica colombiana NTC 4552, para un nivel de riesgo *alto* se dan las siguientes recomendaciones a tener en cuenta en el sistema integral de protección contra rayos, SIPRA.

NIVEL DE RIESGO ALTO	<p>Se debe instalar un Sistema de Protección Interno, SPI Los cableados y la Puesta a Tierra deben ir de acuerdo a las normas NTC 2050 – IEEE 1100</p> <p>Se debe instalar un Sistema de Protección Externo, SPE Se debe de instalar una alarma de detección de rayos Se debe contar con un plan de prevención y contingencia: Guía de seguridad personal durante tormentas</p>
---------------------------------	---

4.1.3 Edificio de Aulas 1



Características técnicas:

Nombre	Aulas 1
Localización	Cartagena – Bolívar – Colombia
Ubicación geográfica	75°31' Longitud O 10°27' Latitud N
Uso de la estructura	Aulas de clases, oficinas, salas de computo, decanaturas, laboratorios de redes y de comunicación social
Capacidad	1440 personas (45 por aula, 8 aulas por piso, 4 pisos)
Área de la estructura	740.5 m ²
Altura de la estructura	19 m (incluyendo la parte mas alta)
Estructura	Concreto



Determinación del índice de gravedad de riesgo por rayos. Se tienen en cuenta tres subindicadores para encontrar el índice de gravedad que posee la estructura.

El valor del subindicador relacionado con el uso que se le da a la estructura, según la Tabla 4, se le asigna el valor de 40, que corresponde a una estructura Tipo A de uso como centros educativos.

Clasificación de la estructura	Ejemplos de estructuras	Indicador
A	Teatros, <u>centros educativos</u> , iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones	40

El subindicador relacionado con el tipo de estructura; el material con el cual esta construida la estructura (concreto), la cual se clasifica como no metálica, se le asigna un valor de 40 según la Tabla 5.


El subindicador relacionado con la altura y el área del edificio de Aulas 1, establecido por la norma NTC 4552 en la Tabla 6 corresponde a un valor de 5 como se muestra a continuación:


Altura y área de la estructura	Indicador
Área menor a 900 m ²	5
Altura menor a 25 m	

Así, sumando los subindicadores relacionados con la estructura, se obtiene la gravedad que se puede presentar en la estructura. Reemplazando los anteriores valores, se tiene: $I_G = I_{USO} + I_r + I_M = 40 + 40 + 5 = 85$

Según la Tabla 3 de la norma colombiana, el indicador de gravedad del edificio de Aulas 1 corresponde a un nivel *Severo*.

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
81 a 100	Severa

 **Evaluación del nivel de riesgo del edificio.** Teniendo el resultado del índice debido a los parámetros del rayo (Alto) y el resultado del nivel de gravedad debido a las características del edificio de Aulas 1 (Severo), se establece de acuerdo a la Tabla 7 el factor de riesgo en la matriz de riesgo, el cual es Alto.

 **Recomendaciones de la norma NTC 4552.** Según la norma técnica colombiana NTC 4552, para un factor de riesgo *alto* se dan las siguientes recomendaciones a tener en cuenta en el sistema integral de protección contra rayos, SIPRA.

NIVEL DE RIESGO ALTO	<p>Se debe instalar un Sistema de Protección Interno, SPI Los cableados y la Puesta a Tierra deben ir de acuerdo a las normas NTC 2050 – IEEE 1100</p> <p>Se debe instalar un Sistema de Protección Externo, SPE Se debe de instalar una alarma de detección de rayos Se debe contar con un plan de prevención y contingencia: Guía de seguridad personal durante tormentas</p>
---------------------------------	---

4.1.4 Edificio de Aulas 2

 **Características técnicas:**

Nombre	Aulas 2
Localización	Cartagena – Bolívar – Colombia
Ubicación geográfica	75 ⁰ 31' Longitud O 10 ⁰ 27' Latitud N
Uso de la estructura	Aulas de clases, oficinas, decanaturas, salas de computo laboratorios electrónica, comunicaciones, digitales
Capacidad	1800 personas (45 por aula, 8 aulas por piso, 5 pisos)
Área de la estructura	750 m ²
Altura de la estructura	21,7 m
Estructura	Aluminio – Concreto



Determinación del índice de gravedad de riesgo por rayos. Se determina en índice del nivel de riesgo que posee la estructura en base a sus tres subindicadores:

El valor del subindicador del uso que se le da a la estructura, según la Tabla 4, se le asigna el valor de 40, que corresponde a una estructura Tipo A de uso como centros educativos.

Clasificación de la estructura	Ejemplos de estructuras	Indicador
A	Teatros, <i>centros educativos</i> , iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones	40

El valor del subindicador relacionado con el tipo de estructura: por el material con el cual esta construida la estructura (aluminio y concreto), se clasifica como mixta, que tiene un valor asignado según la tabla 5 de 20.

Tipo de estructura	Indicador
Mixta	20


El subindicador relacionado con la altura y el área del edificio de Aulas 2, establecido por la norma NTC 4552 en la Tabla 6 corresponde a un valor de 5 como se muestra a continuación:


Altura y área de la estructura	Indicador
Área menor a 900 m ²	5
Altura menor a 25 m	

Sumando los subindicadores relacionados con la estructura, se obtiene la gravedad que se puede presentar en la estructura. $I_G = I_{USO} + I_r + I_M = 40 + 20 + 10 = 65$

Según la Tabla 3 de la norma colombiana, el indicador de gravedad del edificio de Aulas 2 corresponde a un nivel *Media*.

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
51 a 65	Media

 **Evaluación del nivel de riesgo del edificio.** Teniendo el resultado del índice debido a los parámetros del rayo (Alto) y el resultado del nivel de gravedad debido a las características del edificio de Aulas 2 (Medio), se establece de acuerdo a la Tabla 7 el factor de riesgo en la matriz de riesgo, el cual es medio.


 **Recomendaciones de la norma NTC 4552.** Según la norma técnica colombiana NTC 4552, para un factor de riesgo *medio* se dan las siguientes recomendaciones a tener en cuenta en el sistema de protección contra rayos del edificio Aulas 2.

NIVEL DE RIESGO MEDIO	<p>Se debe contar con un sistema de protección interna, SPI</p> <p>Se deben tener el cableado y el diseño de la puesta a tierra según las normas NTC 2050 y IEEE 1100</p> <p>Se debe instalar un sistema de protección externo, SPE</p> <p>Se debe contar con un plan de prevención y contingencia: Guía de seguridad personal durante tormentas</p>
------------------------------	--

4.1.5 Auditorio Napoleón de la Rosa

 **Características técnicas:**

Nombre	Auditorio Napoleón de la Rosa
Localización	Cartagena – Bolívar – Colombia
Ubicación geográfica	75°31' Longitud O 10°27' Latitud N
Uso de la estructura	Presentación de conferencias, seminarios, actos, ceremonias de grado y exposiciones de la universidad
Capacidad	900 personas
Área de la estructura	926 m ²
Altura de la estructura	18,5 m
Estructura	Concreto

 **Determinación del índice de gravedad de riesgo por rayos.** Se determina el índice de gravedad del edificio del auditorio de la UTB que tiene en cuenta tres

subindicadores que están relacionados con la altura y el área, el tipo y el uso del auditorio.

Como se muestra en el recuadro debajo, el valor del subindicador relacionado con el uso que se le da al auditorio, según la tabla 4, se le asigna el valor de 40, que corresponde a una estructura Tipo A de uso como teatros.

Clasificación de estructuras	Ejemplos de estructuras	Indicador
A	<u>Teatros</u> , centros educativos, iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre.	40

El valor del subindicador relacionado con el tipo de estructura según la Tabla 5, teniendo en cuenta de que el auditorio esta construido con concreto, y clasificándose como no metálica, tiene un valor asignado según se muestra a continuación.

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40

El valor del subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura: teniendo en cuenta la altura y el área del auditorio, y según la tabla 6 se le da a este subindicador el valor de 10.

Altura y área de la estructura	Indicador
Área mayor a 900 m ²	10
Altura menor a 25 m	

Sumando entonces los subindicadores relacionados con la estructura, se obtiene la gravedad que se puede presentar en la estructura. $I_G = I_{USO} + I_r + I_M$

En donde:

I_{USO} = Subindicador relacionado con el uso de la estructura = 40

I_r = Subindicador relacionado con el tipo de estructura = 40

I_M = Subindicador relacionado con la altura y el área de la estructura = 10

Reemplazando los valores anteriores, se tiene: $I_G = 40 + 40 + 10 = 80$

Según la Tabla 3, el indicador de gravedad de la estructura corresponde a un nivel *Severo*.

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
66 a 80	Alta



Evaluación del nivel de riesgo del edificio. Teniendo que el índice debido a los parámetros del rayo es alto (determinado en el numeral 3.1) y que el índice de gravedad debido a las características de la estructura es alto también (determinado anteriormente), se establece que el nivel de riesgo en la matriz de riesgo de acuerdo a la Tabla 7 de la norma es alto.



Recomendaciones de la norma NTC 4552. Teniendo en cuenta la Tabla 8 de la norma colombiana, para un nivel de riesgo *alto* en una edificación, se dan las siguientes recomendaciones a tener en cuenta en el sistema integral de protección contra rayos.

NIVEL DE RIESGO ALTO	<p>Se tener un Sistema de Protección Interno, SPI</p> <p>Los cableados y la Puesta a Tierra deben ir de acuerdo a las normas NTC 2050 – IEEE 1100</p> <p>Se debe contar con un Sistema de Protección Externo, SPE</p> <p>Se debe tener una alarma de detección de rayos</p> <p>Se debe contar con un plan de prevención y contingencia: Guía de seguridad personal durante tormentas</p>
---------------------------------	--

4.2 APLICACIÓN DE LA NORMA INTERNACIONAL IEC 61662

A continuación se aplica solo al edificio de la biblioteca las normas IEC 61662, BS 6651 y NFPA 780 con el fin de establecer las diferencias entre los resultados y la aplicabilidad de estas normas en nuestro país.

Para empezar, se reúnen los siguientes datos de la estructura, los cuales son necesarios para iniciar el procedimiento de evaluación del riesgo.

Localización	Cartagena – Bolívar – Colombia
Densidad de rayos a tierra (N_g)	6,2 rayos por km^2 -año (tomada de la Figura 16)
Uso de la estructura y contenido	Consulta bibliográfica, prensa, Internet, zona de estudio, salón de conferencias y servicios varios
Capacidad	300 personas
Área	490 m^2
Largo (a), Ancho (b), Altura (h)	a = 43 m, b = 11,4 m, h = 11,1 m
Estructura	Aluminio-Concreto
Objetos a su alrededor	Edificio Aulas1 a 13 m de distancia
Servicios entrada de Energía	Cable de BT subterráneo sin apantallamiento
Servicio de entrada de Internet	Cable subterráneo UTP apantallado
Servicio de entrada de Telefonía	Cable subterráneo sin apantallamiento
Resistividad del suelo	50 Ωm (asumido mucho mas alto que el valor promedio = 9,61 Ωm ³⁷)
Tiempo de servicio al año	3024 horas al año (42 semanas de labores, 6 días 12 horas continuas, menos los días festivos; 12)
Tiempo y número de usuarios afectados por pérdida de servicio al público	300 durante 24 horas al año (2 días al año en la cual no se dispone de los servicios)
Tipos de superficie en su alrededor	Asfalto y Concreto
Medidas proveídas para limitar la propagación de incendios (Tabla 17)	Extinguidores pequeños
Tipo de edificación (Tabla 18) y circuitos principales y de comunicaciones dentro de la edificación (Tabla 19)	Estructura construida en concreto reforzado sin LPS y cables en canaletas

A continuación se seleccionan los componentes del riesgo o tipo de daños que pueden ocurrir en la biblioteca y sus respectivas fuentes o causas que los producen:

Tipos de daños:

R_1 : Lesiones o pérdidas de vidas humanas

R_2 : Fallas inadmisibles de servicios públicos

Debido a que el componente del riesgo, R_4 (perdidas de valores económicos) no es determinado en las demás normas, este no se evaluara, ya que la idea es hacer una comparación de los resultados con las demás normas estudiadas.

Fuentes que lo producen:

S_1 : Tensiones de paso y de contacto por impactos directos de rayos,

³⁷ Valor promedio fue tomado de la tesis de grado: Diseño del sistema de puestas a tierra en la CUTB de Arturo Pérez. 2000

S₂: Incendios, explosiones, efectos mecánicos y químicos por impactos directos de rayos,

S₃: Sobretensiones en equipos por impactos directos de rayos,

S₄: Sobretensiones en equipos por impactos indirectos de rayos,

S₅: Incendios, explosiones, efectos mecánicos y químicos por impactos indirectos de rayos.

Tipo de daño	Fuente de daño				
	Por rayos directos			Por rayos indirectos	
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
1	x	x			x
2		x	x	x	x

A pesar de que las pérdidas de valores económicos aplican para la edificación, esta es una cantidad que debe ser estimada

1. Frecuencia de rayos, N_x . El primer paso es la determinación de la frecuencia de rayos directos y cercanos a la que esta sometida la edificación.

- Rayos directos, N_d . Se evalúa por la expresión: $N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6}$

Antes de determinar A_e , se verifica si el edificio de Aulas 1 influye sobre la biblioteca mediante la relación $d < 3(h_s + h)$ siendo d la distancia entre las dos estructuras, h_s la altura del edificio cercano y h la altura de la biblioteca.

Teniendo que $d = 17$ m, $h_s = 19$ m y $h = 11,1$, se puede concluir que el lado derecho de la desigualdad es mayor con lo cual, el edificio de Aulas 1 influye sobre la biblioteca.

Debido a que se va a considerar la influencia que ejerce el edificio de Aulas 1, la norma IEC 61024-1-1 establece la distancia X_s a la que se reduce el área efectiva del edificio de Aulas 1.

$$X_s = \frac{d + 3(h_s - h)}{2} = \frac{17 + 3(19 - 11,1)}{2} = 20,35 \text{ m}$$

Por lo tanto, el área efectiva quedaría así:

$$A_e = ab + 6h(a+b) + \pi 9h^2 - a(3H - d + X_s)$$

$$A_e = 43 \times 11,4 + 6 \times 11,1 \times (43 + 11,4) + \pi \times 9 \times 11,1^2 - 43(3 \times 11,1 - 17 + 20,35)$$

$$A_e = 490,2 + 3623 + 3484 - 1575,95 = 6021,25 \text{ m}^2$$

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} = 6,2 \times 7597,2 \times 10^{-6} = 0,037 = 3,7 \times 10^{-2} \text{ rayos por año}$$

- Rayos cercanos, N_n . Se evalúa por la expresión: $N_n = N_g A_g \times 10^{-6}$

$$A_g = ab + 2(d_s \times a) + 2(d_s \times b) + \pi d_s^2 - A_e$$

$$A_g = 43 \times 11,4 + 2(50 \times 43) + 2(50 \times 11,4) + \pi \times 50^2 - 6021,25 = 7763 \text{ m}^2$$

$$N_n = N_g A_g \times 10^{-6} = 6,2 \times 7763 \times 10^{-6} = 0,0481 = 4,81 \times 10^{-2} \text{ rayos por año}$$

- Rayos sobre un servicio de entrada, N_k . se evaluar por $N_k = N_g A_k \times 10^{-6}$

En donde A_1 es el área de influencia sobre la acometida de la biblioteca

$$A_1 = 2 \times d_s \times (L - d_s) \times 10^{-6} = 2 \times 50 \times (1000 - 50) \times 10^{-6} = 0,095 \text{ km}^2$$

Entonces,

$$N_1 = N_g A_1 = 0,59 \text{ rayos por año}$$

El área de influencia de la línea telefónica, A_2 es:

$$A_2 = 2 \times d_s \times (L - d_s) \times 10^{-6} = 2 \times 50 \times (1000 - 50) \times 10^{-6} = 0,095 \text{ km}^2$$

Entonces,

$$N_2 = N_g A_2 = 0,59 \text{ rayos por año}$$

El área de influencia de la línea de Internet, A_3 es:

$$A_3 = 2 \times d_s \times (L - d_s) \times 10^{-6} = 2 \times 50 \times (1000 - 50) \times 10^{-6} = 0,095 \text{ km}^2$$

Entonces,

$$N_3 = N_g A_3 = 0,59 \text{ rayos por año}$$

Sumando N_1 , N_2 , y N_3 se obtiene el valor total de N_k .

$$N_k = N_1 + N_2 + N_3 = 0,59 + 0,59 + 0,59 = 1,77 \text{ rayos por año}$$

2. Probabilidades de daños. Se calculan todos los términos r_x referentes a las probabilidades de daños.

Daño tipo 1: Lesiones o pérdidas de vidas humanas

En este tipo de riesgo, las fuentes que la pueden generar son S_1 y S_2 debido a rayos directos y S_5 debido a rayos indirectos como se muestra a continuación:

$$R_1 = R_{d1} + R_{i1}$$

Siendo

$$R_{d1} = R_{S1} + R_{S2} \text{ y } R_{i1} = R_{S5}$$

R_{S1} es debida a r_h que es la probabilidad de daños debido a tensiones de paso y de contacto, la cual es determinada por la siguiente formula:

$$r_h = k_h r'_h$$

Según la Tabla 16 el valor de r'_h es de 10^{-2} (nota2) y el de k_h es de 1 (sin LPS).

Por lo tanto, reemplazando:

$$r_h = k_h r'_h = 1 \times 10^{-2} = 10^{-2} = 0,1$$

R_{S2} es debida a r_{fd} que es la probabilidad de daños debido a incendio o explosión y es evaluada así:

$$r_{fd} = r_t(r_1 + r_2 + r_3 + r_4)$$

Donde,

$$r_t = k_t r'_t, r_1 = k_1 r'_1, r_2 = k_2 r'_2, r_3 = k_3 r'_3, r_4 = k_4 r'_4$$

Así, tomando los valores de las tablas 17, 18, 19, 20 y 21, quedaría:

$$r_t = k_t r'_t = 0,9 \times 10^{-1} = 0,09$$

$$r_1 = k_1 r'_1 = 1 \times 0,5 = 0,5$$

$$r_2 = k_2 r'_2 = 1 \times 0,5 = 0,5$$

$$r_3 = k_3 r'_3 = 1 \times 0,8 = 0,8$$

$$r_4 = k_4 r'_4 = 1 \times 0,8 = 0,8$$

Así, reemplazando, se tiene:

$$r_{fd} = r_t(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) = 0,09 \times (0,5 + 0,5 + 0,8 + 0,8) = 0,234 = 23,4 \times 10^{-2}$$

R_{S5} es debida a r_{fi} que es la probabilidad de daños debido a incendio o explosión, el cual es:

$$r_{fi} = r_t r_3 = 0,09 \times 0,8 = 0,072 = 7,2 \times 10^{-2}$$

Daño tipo 2: Fallas inadmisibles de servicios públicos

En este tipo de riesgo, las fuentes que la pueden generar son S_2 y S_3 debido a rayos directos y S_4 y S_5 debido a rayos indirectos como se muestra a continuación:

$$R_2 = R_{d2} + R_{i2}$$

Siendo

$$R_{d2} = R_{S2} + R_{S3} \quad \text{y} \quad R_{i2} = R_{S4} + R_{S5}$$

Habiendo ya evaluado los índices R_{S2} y R_{S5} , se pasa a evaluar R_{S3} y R_{S4} .

R_{S3} es debida a r_{od} que es la probabilidad de daños debido a sobretensiones debido a rayos directos, la cual se determina así:

$$r_{od} = r_2 + r_3 = 0,5 + 0,8 = 1,3$$

R_{S4} es debida a r_{oi} que es la probabilidad de daños debido a sobretensiones debido a rayos indirectos, y se determina así:

$$r_{oi} = r_3 = 0,8$$

3. Probabilidades de pérdidas. Se determinan los componentes según el tipo de daños

Daño 1: Lesiones o pérdidas de vidas humanas. La probabilidad de pérdidas de vidas humanas esta dado por:

$$d = \frac{n}{n_t} \times \frac{t}{8760}$$

Donde,

n es el posible número de victimas de un rayo en el lugar = 1 (siendo muy pesimistas)

n_t es el número total de personas en la edificación = 300 personas

t es el tiempo anual, en horas, de la presencia de personas en el lugar = 3024

Reemplazando, se tiene:

$$d = \frac{1}{300} \times \frac{3024}{8760} = 1,15 \times 10^{-3}$$

- Daño 2: Perdidas inadmisibles de servicios a el publico. La cantidad relativa de pérdidas esperadas, por daño esta dada por:

$$d = \frac{n't'}{n_t 8760}$$

Donde,

n' es el promedio de número de usuarios afectados por la pérdida del servicio = 100 (promedio de usuarios en la biblioteca que serían afectados por falla en el servicio de internet)

t' es el tiempo anual, en horas, de pérdida de servicio, por daño = 24 (siendo pesimistas, lo que equivaldría a 2 días seguidos sin servicio)

n' es el número total de usuarios involucrados en el servicio = 300

Reemplazando, se tiene:

$$d = \frac{100 \times 24}{300 \times 8760} = 9,13 \times 10^{-4}$$

4. Evaluación del riesgo y selección de las medidas de protección. En primer lugar se calcula el valor del riesgo en la edificación para los dos tipos de daños y posteriormente se compara con su nivel máximo tolerable para así luego determinar las medidas de protección adecuadas.

Daño 1: Lesiones o pérdidas de vidas humanas.

$$R_1 = R_{d1} + R_{i1} = N_d \times r_d \times d + N_n \times r_i \times d$$

En donde,

$$N_d = 3,7 \times 10^{-2}$$

$$r_d = r_h + r_{fd} = 0,1 + 0,234 = 0,33$$

$$d = 1,15 \times 10^{-3}$$

$$N_n = 4,81 \times 10^{-2}$$

$$r_i = r_{fi} = 7,2 \times 10^{-2}$$

Reemplazando, se tiene

$$R_1 = (3,7 \times 10^{-2})(0,33)(1,15 \times 10^{-3}) + (4,81 \times 10^{-2})(7,2 \times 10^{-2})(1,15 \times 10^{-3})$$

$$R_1 = 1,4 \times 10^{-5} + 3,9 \times 10^{-6}$$

$$R_1 = 0,000017 = 1,7 \times 10^{-5}$$

Para el tipo de daño 1 (pérdidas de vidas humanas), el valor del riesgo tolerable es de 10^{-5} , lo que quiere decir que $R_1 > R_a$, por lo que se requieren adoptar medidas de protección contra rayos con el fin de que se cumpla $R_1 \leq R_a$. Teniendo en cuenta los aportes de los componentes del riesgo según rayos directos e indirectos, el componente de rayos directos es un poco mayor ($1,4 \times 10^{-5}$) que el límite tolerable (1×10^{-5}) por lo que la norma aconseja un sistema de protección externo contra rayos. Sin embargo, al observar que la altura de los árboles en su alrededor es mayor o igual, se podría obviar la instalación del LPS. Asimismo, teniendo en cuenta de que la biblioteca es un lugar con un contenido altamente inflamable, se podría instalar un sistema automático de incendios.

Daño 2: Pérdidas inadmisibles de servicios a el publico.

$$R_2 = R_{d2} + R_{i2} = N_d \times r_d \times d + N_k \times r_i \times d$$

En donde,

$$N_d = 3,7 \times 10^{-2}$$

$$r_d = r_{fd} + r_{od} = 0,234 + 1,3 = 1,53$$

$$d = 9,13 \times 10^{-4}$$

$$N_k = 1,77$$

$$r_i = r_{oi} + r_{fi} = 0,8 + 7,2 \times 10^{-2} = 0,872$$

Reemplazando, se tiene

$$R_2 = (3,7 \times 10^{-2})(1,53)(9,13 \times 10^{-4}) + (1,77)(0,872)(9,13 \times 10^{-4})$$

$$R_2 = 5,16 \times 10^{-5} + 1,4 \times 10^{-3}$$

$$R_2 = 0,00145 = 1,45 \times 10^{-3}$$

Para el tipo de daño 2 (falla de servicios públicos), el valor del riesgo tolerable es de 10^{-3} , lo que quiere decir que $R_2 > R_a$, por lo que se requieren adoptar medidas de protección contra rayos con el fin de que se cumpla $R_2 \leq R_a$. Teniendo en cuenta los aportes del riesgo según rayos directos e indirectos, estos últimos

contribuyen muchísimo a que esa relación no se cumpla, por lo que la norma aconseja dotar a la edificación de medidas (componente) para reducir los componentes r_{oi} (probabilidad de sobretensiones) y r_{fi} (probabilidad de incendio o explosión). Entre las medidas a adoptar se encuentran: la instalación de DPS en el punto de acceso a la edificación de todos los servicios de entrada e instalación de DPS en los equipos internos.

4.3 APLICACIÓN DE LA NORMA BRITÁNICA BS 6651

El primer paso para la aplicación de la norma británica BS 6651 en la biblioteca de la UTB del campus de Ternera es determinar el valor de N_g (densidad de rayos a tierra), el cual se obtiene de la figura del Anexo A y de la Tabla 27.

De la figura del Anexo D se obtiene el nivel ceráuneo para Cartagena, el cual es de 60. Llevando entonces este valor a la Tabla 27 de la norma, se obtiene un valor medio de N_g igual a 4.7 rayos $\text{km}^2 - \text{año}$.

Nivel Ceráuneo	60 (tomado de la figura del Anexo D)
Uso de la estructura	Consulta bibliográfica, consulta en Internet, zona de estudio, salón de conferencias y servicios varios
Área	490 m^2
Largo (L)	43 m
Ancho (W)	11,4 m
Altura (H)	11,1 m
Estructura	Concreto

El segundo paso es el cálculo del área efectiva total del conjunto

Según los datos anteriores, A_C , el área efectiva total del conjunto es igual a:

$$A_C = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2 = 43 \cdot 11,4 + 2 \cdot 43 \cdot 11,1 + 2 \cdot 11,4 \cdot 11,1 + \pi \cdot 11,1^2$$

$$A_C = 2085 \text{ m}^2$$

El tercer paso es el cálculo del número probable de impactos a la estructura, por año, p , el cual está dado por:

$$p = A_c \times N_g \times 10^{-6} = 2085 \times 4.7 \times 10^{-6}$$

$$p = 0.0098$$

El cuarto paso es calcular el riesgo total mediante la estimación de cada uno de los factores que caracterizan a la estructura. Los siguientes son los factores A, B, C, D y E obtenidos de las Tablas 29, 30, 31, 32 y 33 respectivamente.

Factor de peso A: Uso de la estructura = 1.3

Factor de peso B: Tipo de construcción = 0.4

Factor de peso C: Contenido = 1.3

Factor de peso D: Grado de Aislamiento = 0.4

Factor de peso E: Tipo de terreno = 1.7

A continuación, se determina el riesgo total por medio del producto del valor de p y cada uno de los factores estimados anteriormente.

$$R = p \times A \times B \times C \times D \times E = 0.0098 \times 1.3 \times 0.4 \times 1.3 \times 1.0 \times 1.7$$

$$R = 0.0045 = 4.5 \times 10^{-3}$$

Teniendo en cuenta el anterior resultado, la norma aconseja que como es mucho mayor que 10^{-5} , la edificación debe contar con un sistema de protección contra rayos.

4.4 APLICACIÓN DE LA NORMA NORTEAMERICANA NFPA 780

A continuación se procede a la aplicación de la norma NFPA en el edificio de la biblioteca Luís Enrique Borja Barón. Para ello se tiene en cuenta los siguientes datos de la estructura:

Localización	Cartagena – Bolívar – Colombia
Densidad de rayos a tierra (Ng)	6.2 rayos por km ² -año (tomado de la Figura 16)
Uso de la estructura	Consulta bibliográfica, consulta en Internet, zona de estudio, salón de conferencias y servicios varios
Área	490 m ²
Largo (L)	43 m
Ancho (W)	11,4 m
Altura (H)	11,1 m
Estructura	Concreto

Teniendo en cuenta los anteriores datos se pasa a calcular en primer lugar N_d , la cual esta dada por la siguiente expresión:

$$N_d = (N_g)(A_e)(C_1)(10^{-6})$$

Donde:

C_1 = El coeficiente del ambiente que rodea a la estructura, al escogerlo de la Tabla 35, se selecciona un valor de 0.25 teniendo en cuenta que esta rodeada de una estructura mas alta; el edificio de Aulas 1.

$$N_g = 6.2 \text{ rayos km}^2 - \text{año}$$

A_e = El área efectiva equivalente de la estructura (m²), se calcula a continuación teniendo en cuenta la figura D.

$$A_e = LW + 6H(L+W) + \pi 9H^2 = 43 \times 11,4 + 6 \times 11,1 \times (43+11,4) + \pi \times 9 \times 11,1^2$$

$$A_e = 490,2 + 3623 + 3547 = 7660,2$$

Reemplazando los valores anteriores en la expresión para el cálculo de N_d , se tiene:

$$N_d = 6.2 \times 7760,2 \times 0.25 \times 10^{-6} = 0.012$$

A continuación se calcula el otro parámetro, la frecuencia tolerable de rayos N_c , de la siguiente expresión:

$$N_c = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{C}$$

Donde,

$$C = (C_2)(C_3)(C_4)(C_5).$$

C_2 = El coeficiente del tipo de la estructura se considera según la Tabla 36 como 1.0, debido a que esta posee un techo no metálico y el material de la estructura es no metálica

C_3 = El coeficiente del contenido de la estructura según la Tabla 37 tiene un valor de 3.0, ya que, por ser una biblioteca esta contiene mucho papel y equipos de computo.

C_4 = El coeficiente de la ocupación de la estructura según la Tabla 38 tiene un valor de 1.0 debido a que la edificación esta normalmente ocupada por estudiantes, docentes y trabajadores de ella.

C_5 = El coeficiente de las consecuencias de los rayos tiene un valor de 5.0 según la Tabla 39, en donde a pesar del impacto de un rayo se necesita de la continuidad de los servicios requeridos.

Reemplazando los valores anteriormente estimados, se tiene:

$$N_c = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{C} = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{1.0 * 3.0 * 1.0 * 5.0} = 0.0001$$

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de N_d y N_c se concluye que se debe contar con un sistema de protección contra rayos debido a que $N_d > N_c$

4.5 APLICACIÓN DEL MÉTODO ELECTROGEOMÉTRICO AL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO ACTUAL DE LA UTB

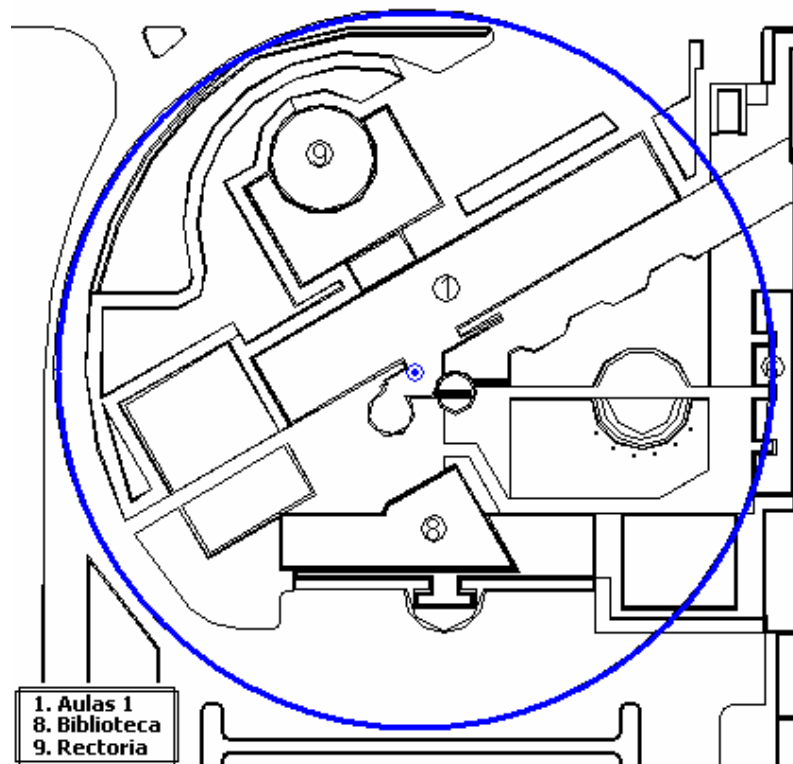
El sistema de protección externo instalado actualmente en la UTB esta conformado por un pararrayos ubicado en el edificio de Aulas 1. El objetivo de este numeral es el de evaluar la eficiencia de protección de dicho pararrayo instalado, mostrando su volumen protegido.

La ciencia en torno a la instalación de un pararrayos y su volumen protegido, muestran de que se debe utilizar el modelo electrogeométrico de la esfera rodante.

Sin embargo, luego de haber estudiado el modelo electrogeométrico³⁸, se llega a la conclusión de que si se evaluara al edificio según este modelo, el resultado sería de que la mayor parte del área del edificio se encuentra desprotegida, ya que solo existe un elemento apantallador en la edificación y ese es el pararrayos.

Por ello, se decidió evaluar la protección del pararrayos según el método de la sombra (modelo obsoleto no recomendado por ninguna norma), el cual establece que el volumen protegido por un elemento apantallador está formado por un cono con un radio igual a dos veces la altura del elemento captador. Así, la Figura 17 muestra los resultados obtenidos en Autocad, los cuales dicen de que el pararrayos del edificio de Aulas 1 fue instalado según el método de sombra, ya que, se puede observar que el área protegida por la base del cono con radio de 50 m contiene en su interior el edificio de aulas 1, rectoría y biblioteca.

Figura 17. Área protegida por el pararrayos de la UTB



³⁸ Para más información, buscar en los anexos del CD-ROM

4.6 ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A pesar de la no obligatoriedad de implementar las recomendaciones dadas por la norma colombiana en las estructuras evaluadas (teniendo en cuenta de que la fecha en la cual el RETIE entro en vigencia fue después de su construcción), estas son para tener muy en cuenta, ya que las normas utilizadas en la evaluación son el resultado de los últimos estudios a nivel mundial en la protección contra rayos y la Universidad Tecnológica de Bolívar ha descuidado y subestimado este aspecto.

Los siguientes son los análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de las normas en cada uno de los edificios bajo estudio:

- Biblioteca Luís Enrique Borja Barón: A pesar de que la norma colombiana, la norma británica y la norma norteamericana recomiendan instalar un sistema de protección externo, se podría decidir no optar por el, teniendo en cuenta de que el edificio esta fuertemente influenciado por el edificio de aulas 1 y por los árboles en su alrededor, los cuales en su mayoría poseen una altura igual o mayor a ella. Sin embargo, la norma IEC encontró que se debe proteger la acometida eléctrica mediante la instalación de un DPS.
- Bienestar universitario: A pesar de que la norma colombiana recomienda instalar un sistema de protección externo en el edificio de Bienestar Universitario, se podría ignorar ello considerando de que el edificio esta influenciado por los árboles en su alrededor, los cuales igualan o superan su altura.
- Edificio de Aulas 1: En este edificio la norma colombiana recomienda la instalación de un sistema de protección externo, el cual es indispensable, ya que no existen ni edificaciones, ni árboles alrededor con una altura igual que lo puedan influenciar. Sin embargo, y a pesar de que hay un pararrayos instalado actualmente, en el siguiente párrafo se dan las recomendaciones para mejorar su eficiencia de protección, ya que este no se encuentra instalado según el modelo

electrogeométrico y resultado de ello el edificio presenta lugares desprotegidos ante rayos directos a la edificación.

- La norma colombiana recomienda la instalación de un sistema de protección externo tanto en el edificio de Aulas 2, como en el Auditorio Napoleón de la Rosa, lo cual es imprescindible debido a que estas edificaciones no se encuentran influenciadas por otras más altas o por árboles a su alrededor con alturas iguales o mayores.

Las siguientes son las recomendaciones dadas por la norma colombiana de acuerdo al sistema de protección externo (pararrayos) instalado actualmente en el edificio de aulas 1 y que se ilustran en el Anexo F:

- Instalar un anillo de apantallamiento montado sobre aisladores el cual rodee el techo del edificio.
- Instalar varios terminales de captación aparte del pararrayos (preferiblemente varillas sólidas o tubulares con una altura por encima de las partes altas de la edificación no menor a 0,25 m en intervalos de 6m entre las puntas), los cuales deberán ir unidos al anillo de apantallamiento.
- El número mínimo de bajantes debe ser de dos, por lo que se debe instalar otra en el edificio de aulas 1. Cada bajante debe estar separada de la otra mínimo por 10 m y se deberán conectar al anillo de apantallamiento.
- Instalar un DPS en la entrada de la acometida eléctrica al edificio (esto es para todos los edificios que no están protegidos).
- Los elementos metálicos que sobresalgan o se encuentren expuestos al impacto directo de un rayo como antenas, tuberías, deberán estar unidos al anillo de apantallamiento siempre y cuando estos objetos se encuentren a una distancia no menor o igual a 1.8m de los terminales de captación o de las bajantes.
- Se deben conectar las puestas a tierra del pararrayos con la del edificio mediante una vía de chispas.

5. GUÍA DE SEGURIDAD PERSONAL EN LA UTB DURANTE TORMENTAS ELÉCTRICAS

Luego de lo tratado en capítulos anteriores, esta claro que el rayo como fenómeno natural no es posible evitarlo. Lo que si se puede es establecer medidas de control que permitan la seguridad a las personas y bienes, y en esto una de las cosas que mas prima es la actitud personal, que es fundamental para evitar accidentes fatales. Por tal razón, en edificaciones donde se tienen niveles de riesgo medio y alto se deben establecer técnicas para desarrollar comportamientos seguros en las personas.

El presente capitulo no pretende ser una guía detallada de las todas las técnicas de seguridad personal durante una tormenta eléctrica, sin embargo tomando en cuenta la infraestructura existente y los futuros cambios proyectados en las instalaciones del campus de Ternera, se darán a conocer las estrategias que se deben seguir al momento de presentarse una tormenta eléctrica sobre la UTB.

La prevención es una responsabilidad de todos, para ello tenemos que conocer las actuaciones a seguir y aplicarlas en cada caso para reducir los riesgos del impacto del rayo tanto en perdidas irremplazables humanas, como en la destrucción de bienes y equipos.

A continuación se dan a conocer por medio de ejemplos ilustrativos³⁹ los lugares apropiados, los no apropiados, las actitudes personales que hay que adoptar cuando se presenta una tormenta eléctrica y así como una tabla de verificación

³⁹ Todas las imágenes a continuación fueron tomadas de la pagina web del grupo de investigación PAAS de la Universidad Nacional de Colombia <http://www.paas.unal.edu.co>

para evaluar periódicamente todas siguientes las recomendaciones.

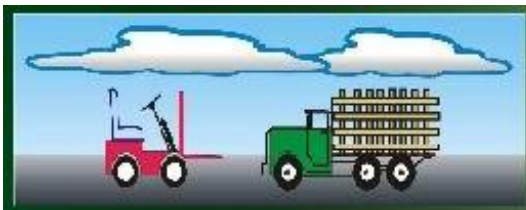
5.1 LUGARES DE ALTO RIESGO DURANTE UNA TORMENTA EN LA UTB

Los siguientes sitios te ofrecen poca o ninguna protección contra rayos:



Las edificaciones y lugares no protegidos alejados de otras como la torre de señalización de tráfico aéreo.

Los refugios de descanso tales como los kioscos ubicados en los campos deportivos o en las zonas despobladas



Todos los vehículos que son descubiertos o no metálicos

5.2 LUGARES QUE SE DEBEN ABANDONAR EN CASO DE UNA TORMENTA ELÉCTRICA

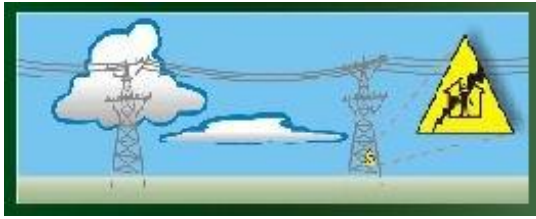
De los siguientes sitios te debes alejar ante una tormenta eléctrica:



Las canchas de fútbol, softball, microfútbol, tenis y demás lugares donde se este a campo abierto

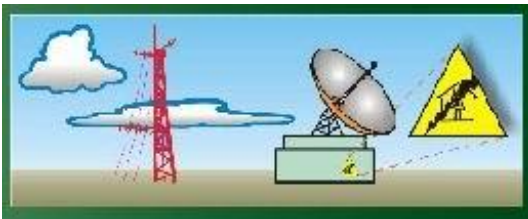
Los lagos y las piscinas (incluidos ambos en el futuro crecimiento de la infraestructura de la UTB)





Las cercanías a líneas de transmisión eléctrica, cables aéreos, cercas ganaderas y mallas eslabonadas que rodean la universidad.

Los árboles solitarios



Torres metálicas: Las de las lámparas en los parqueaderos de la entrada, las astas de las banderas, la antena parabólica del edificio Aulas 1, etc.

5.3 LUGARES ADECUADOS PARA PROTEGERSE DE UN RAYO

Los siguientes sitios son los únicos recomendados para protegerte efectivamente contra el impacto directo o indirecto de un rayo:

Los edificios con un sistema adecuado de protección contra rayos identificados con un símbolo parecido al de la figura



Automóviles, buses y demás vehículos cerrados con carrocería metálica

5.4 ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Si estas aislado en una zona donde se esta presentando una tormenta y no te puedes refugiar en una edificación provista con un sistema de protección contra rayos, deberás seguir las siguientes recomendaciones.

Si debes permanecer en una zona de tormenta se recomienda:



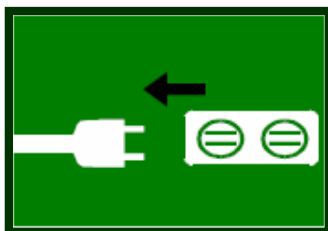
Buscar las zonas bajas

Evitar estar en edificaciones sin la protección adecuada o en refugios elevados



Preferir las zonas pobladas de árboles, evitando los árboles solitarios

Buscar las edificaciones y refugios en zonas bajas



Desconectar todos los aparatos eléctricos y electrónicos sensibles que no se encuentran protegidos contra sobretensiones

Si te encuentras aislado en una zona donde se este presentando una tormenta:



No te acuestes sobre el suelo



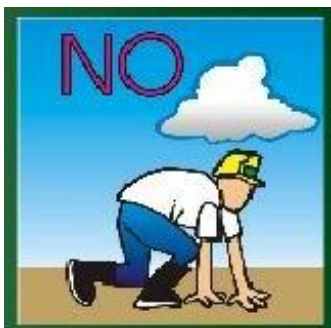
Junta los pies



No escampes bajo un árbol solitario



Busca grupos de árboles



No coloques las manos sobre el suelo, colócalas sobre las rodillas



Adopta la posición de cuclillas

Otras recomendaciones son:

⚡ En caso de tener que caminar bajo la tormenta, se debe intentar conservar seca la ropa utilizando calzado de goma y no caminar a pasos largos para evitar las tensiones de paso.

⚡ En caso de no encontrar a tiempo un mejor refugio que un árbol solitario, se debe mantenerse alejado a una distancia no menor a tres veces la altura del árbol. Por fuera de este radio, permaneceremos agachados.

⚡ Apartarse de otras personas por lo menos tres metros para evitar arcos laterales.

⚡ Bajo un grupo de árboles, apartarse de los troncos y las ramas bajas para evitar riesgos mecánicos que son el resultado de la explosión de los árboles.

Una recomendación muy importante a tener en cuenta es la regla 30-30⁴⁰ del rayo, la cual sirve para determinar la amenaza de un rayo en la zona en donde se encuentra una persona, en nuestro caso es en el campus de Ternera de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

30 segundos: Contar los segundos entre la aparición de un rayo y la escucha del trueno. Si este tiempo es menor de 30 segundos, los rayos son todavía una amenaza potencial, por lo que se recomienda buscar refugio inmediatamente.

30 minutos: Después de la caída del último rayo, esperar 30 minutos antes de salir del refugio, ya que la mitad de todas las muertes ocurren después del paso de una tormenta. Permanecer en un área segura hasta que este seguro que la amenaza ha pasado.

5.5 TABLA DE VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE RECOMENDACIONES

Para comprobar que las anteriores recomendaciones de la guía personal se conviertan en acciones preventivas, la siguiente lista de verificación puede ser implementada y evaluada periódicamente en la UTB para tomar los correctivos que sean necesarios. Si las respuestas son afirmativas en todos los casos se puede concluir que se están tomando las medidas adecuadas para la protección del personal contra rayos. La Tabla 37 muestra cada uno de los ítems de verificación que deberán ser revisados en la UTB.

⁴⁰ Recomendación tomada de la página web de la Federal Alliance for Safe Homes – Flash. 2006. Página web: <http://www.flash.org/activity.cfm?currentPeril=4&activityID=141>

TABLA 37. Lista de verificaciones de las recomendaciones ante una tormenta eléctrica

PREGUNTA	R/TA
¿Durante una tormenta eléctrica se evita que haya estudiantes y personal de la UTB trabajando al aire libre?	
¿Durante una tormenta eléctrica se evita que haya estudiantes y personal de la UTB caminado al aire libre?	
¿Durante una tormenta eléctrica se evita que estudiantes y personal de la UTB permanezcan al aire libre?	
¿Durante una tormenta eléctrica permanecen estudiantes y personal de la UTB, dentro de vehículos y edificaciones?	
¿Durante una tormenta eléctrica se evita la cercanía de los estudiantes y personal de la UTB a terrenos deportivos y campo abierto?	
¿Durante una tormenta eléctrica se evita escampar en árboles solitarios?	
¿Se aleja a los estudiantes y personal de la UTB durante una tormenta, de mallas eslabonadas, postes y cercas metálicas?	
¿Durante una tormenta se evita la cercanía a ducterías metálicas?	
¿Durante una tormenta se aleja a los estudiantes y personal de la UTB de las partes altas?	
¿Se evita el uso de vehículos no metálicos durante una tormenta?	
¿Se utilizan automóviles y otros vehículos cerrados con carrocería metálica, como refugio ante tormentas?	
¿Al encontrarse aislado mientras se esta presentando una tormenta, se evita acostarse en el suelo?	
¿Al encontrarse aislado mientras se esta presentando una tormenta, se evita colocar las manos en el suelo?	
¿Al encontrarse aislado mientras se esta presentando una tormenta, se juntan los pies?	
¿Al encontrarse aislado mientras se esta presentando una tormenta, los estudiantes y el personal de la UTB adoptan la posición de cucullas?	
¿Se evita la cercanía de árboles cuyas ramas están próximas a las redes eléctricas?	
¿Se desconectan los equipos eléctricos y telefónicos en edificaciones con alto riesgo que no poseen alguna protección contra rayos?	
¿Se evita el contacto con cables, alambres y tubería metálica de agua, energía, gas, etc., durante una tormenta?	
Total de respuestas (SI)	
Porcentaje de acciones positivas	

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los rayos representan un problema más serio de lo que piensa la gente en general. De hecho, el instituto norteamericano NLSI establece que los rayos representan un peligro subestimado, ya que la mayoría de las muertes anuales de personas ocurren por el desconocimiento de los comportamientos adecuados en el momento que se presenta una tormenta eléctrica.

Si bien la norma técnica colombiana de protección contra rayos NTC 4552 existe desde el año de 1999, solo hasta que se estableció el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) se le da el carácter obligatorio que esta merecía, debido a que este último toma las disposiciones de la NTC 4552 para referirse al tema de la protección contra rayos.

En todo diseño de protección contra rayos se debe hablar en primer lugar de la evaluación del riesgo para el sitio en particular donde se ubique la instalación, pues este llevara a la necesidad de tener que instalar o no un sistema de protección externo y/o establecer las medidas de protección contra las sobretensiones. Es por ello que en una norma el método de evaluación del riesgo de una edificación debe ser efectivo y relativamente simple. Y la norma colombiana, la NTC 4552, la NFPA 780 y la BS 6651 cumplen estos dos requisitos. Pero por otro lado, la IEC profundiza mucho los aspectos a evaluar y el método se vuelve más complejo al definir el riesgo en varios componentes probabilísticos que a su vez dependen de ciertas causas de daños por rayos.

A pesar de lo expuesto anteriormente, si bien la norma colombiana difiere un poco

de la norteamericana y la británica, y la IEC (siendo esta la norma estándar en el mundo) se aleja totalmente de todas, los resultados obtenidos en este y muchos otros trabajos de aplicación muestran resultados similares.

Además, en la planificación y realización de una protección contra rayos y sobretensiones es preciso contemplar un concepto de protección integral. En su elaboración debe procederse con rigor y guiarse por las normas que regulan esta materia tanto en lo que se refiere a su diseño, como a los niveles de protección, características de los materiales, etc., con objeto de aportar la mayor seguridad posible a personas, instalaciones y equipos.

Es tanto así, que obviar la no protección de los equipos contra las sobretensiones no se considera como un tema de garantías, ni de seguros, sino una responsabilidad del propietario, ya que las paradas de una producción o el costo ante la imposibilidad de contar con los equipos puede ser mucho mayor que el sistema de protección a instalar en la edificación.

Realizando una síntesis, la protección contra rayos tiene seis criterios generales de aceptación general que hay que seguir:

- 1- Capturar el impacto del rayo directo mediante la instalación de uno o más terminales aéreos de captación en los edificios.
- 2- Conducir la descarga a tierra de una forma segura instalando uno o más sistemas de conducción o bajantes a tierra.
- 3- Disipar a tierra las descargas del rayo mediante la instalación y mantenimiento de un sistema de puesta a tierra efectivo y de baja impedancia.
- 4- Eliminar inducciones a través de tierra o lazos de tierra. Para ello se requiere la planificación cuidadosa de un único sistema de puesta a tierra. Una red de tierras de baja impedancia es esencial.
- 5- Proteger todas las líneas de potencia que entren en la estructura o edificio contra sobretensiones. Se requiere la instalación de DPS's, filtros reductores

específicos contra sobretensiones y otras medidas dependiendo de las circunstancias de cada lugar.

6- Proteger todas las líneas de datos y de señales que entren o salgan de la estructura o edificio contra sobretensiones. Esto implica la instalación de DPS`s y la correcta puesta a tierra de los cables apantallados.

Este trabajo aplicativo ha mostrado una investigación exhaustiva de la ciencia de la protección contra rayos. Sin embargo, a lo largo de su desarrollo hay temas en los cuales se podría investigar e implementar, tal como:

- La implementación de un sistema detector de tormentas para la UTB según las características que describe la norma colombiana.
- El diseño del sistema de protección contra rayos externo tanto del auditorio, los edificios de aulas 1 y aulas 2, como de las futuras edificaciones que hacen parte de la expansión de la infraestructura de la UTB.
- El desarrollo de un software que con base a datos de entrada de una edificación cualquiera, pueda calcular el nivel de riesgo en edificaciones (según la NTC 4552 y la nueva IEC 62305) y asimismo permita mediante Autocad mostrar resultados de la aplicación del modelo electrogeométrico de la esfera rodante.

BIBLIOGRAFÍA

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Protection of structures against lightning: British Standard Code of practice. BSI, 2005. 140 p.: il. (BS 6651)

CARRASQUILLA, Claudia. Diagnóstico del sistema eléctrico actual de la cutb-Tenera. Cartagena de Indias, 2004. Tesis de grado. Ingeniero Electricista. Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de ingeniería.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Protección contra rayos: Principios generales. Bogotá: ICONTEC, 2004. 45 p.: il. (NTC 4552)

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Assessment of the risk of damage due to lightning. Geneve, Suiza: IEC, 1995. 132 p.:il. (CEI/IEC 61662)

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. REGLAMENTO. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas: RETIE. Bogotá. MinMinas, 2004. 119p.:il (RETIE)

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. Standard for the Installation of Lightning Protection Systems. Salt Lake City, UT: NFPA, 2004. 52 p.:il. (NFPA 780)

SIERRA, Leonardo y ESCOBAR, Gonzalo. Investigaciones sobre descargas eléctricas atmosféricas en Colombia. Cartagena de Indias, 2004. Monografía. (Ingeniero Electricista). Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería.

TORRES SANCHEZ, Horacio. El Rayo: Mitos, Leyendas, Ciencia y Tecnología. Unibiblos. Santa Fe de Bogota, 410 páginas. 2002.

PAGINAS WEBS

<http://www.paas.unal.edu.co> Programa de investigación en adquisición y análisis de señales electromagnéticas y metereológicas de la Universidad Nacional de Colombia.

http://www.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gipud/produccion_archivos/evaluacion.pdf Software para la evaluación del riesgo de daño en sistemas eléctricos de baja tensión a causa de los rayos, bajo la metodología IEC 61662.

<http://www.pararrayos.org> Página española en la cual se presenta un estudio amplio del fenómeno del rayo, mostrando entre otros sus efectos y repercusiones.

<http://thunder.msfc.nasa.gov> Página de la NASA dedicada a la investigación de la ciencia de las descargas eléctricas atmosféricas.

<http://www.ingesco.com> Compañía líder en la fabricación de los pararrayos Franklin, pararrayos ESE o PDC, detector de rayos, contador de rayos, y DPS.

<http://www.lightningsafety.com> Página norteamericana que presenta las investigaciones actuales que se dan en el mundo de la protección contra rayos tanto de personas como de edificaciones comunes.

http://www.dehn.de/www_DE/frameset_ES_int.html Empresa alemana líder en toda Europa con artículos científicos y guías en la instalación de dispositivos de protección externos (pararrayos) e internos (DPS's).

<http://www.furse.com> Compañía líder a nivel mundial en protección contra sobretensiones y terminales de captación aéreas.

http://www.sertec.com.py/telergia/telergia/indice_sistemas_proteccion.html Cursos a cerca de la ciencia de la protección contra rayos interno y externo.

<http://www.lightningeliminators.com> Compañía fabricante de pararrayos de tecnología *Charge Trasfer System* - CTS y de la protección contra sobretensiones.

<http://www.erico.com> Compañía líder fabricante de DPS presente en 25 países

<http://www.flash.org> Pagina web norteamericana de la Federal Alliance for Safe Homes la cual presenta guías para la seguridad personal ante fenómenos naturales.

<http://www.ees-group.co.uk/index.html> Compañía británica líder en soluciones de instalación de sistema de protección externo.

<http://www.zymax.com/home.htm> Empresa fabricante de DPS para las acometidas eléctricas, acometidas de comunicaciones y líneas de datos y señales.

<http://www.superb.org/tools/tech/paper/ias02-tvss.pdf> Documento de la IEEE con teoría a cerca de los dispositivos de protección contra sobretensiones y su aplicación.

ANEXOS

Anexo A. Mapa colombiano de niveles ceráuneos.

Anexo B. Área efectiva equivalente, A_e de una estructura según la norma IEC 61024-1-1.

Anexo C. Mapa de la actividad de rayos en el mundo según la NASA.

Anexo D. Mapa mundial de niveles ceráuneos según la norma BS 6651.

Anexo E. Curva para determinar el valor pico de la corriente de retorno del rayo.

Anexo F. Figura ilustrativa de las recomendaciones al actual SPE del edificio de Aulas 1.