

## MEMORIAS DE DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO DEL COLEGIO BOITÁ.

Julio de 2020

### DESCRIPCIÓN BREVE

Este documento contiene las memorias del diseño eléctrico de Protección contra el rayo del Coegio Boitá, ubicado en la Calle 45 SUR # 72 Q-20, Barrio Santa Catalina, Localidad 8 Kennedy, Bogotá.

Ing. Nelson Saavedra T.

## Contenido

## Pagina

1. ANALISIS DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS DEL EDIFICIO Y MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA EL RAYO. ....	3
1.1 NORMATIVIDAD APLICADA.....	3
1.2 EVALUACION DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS APLICANDO LA METODOLOGIA DE IEC 62 305-2 y NTC 4552-2 .....	3
1.2.1 Determinación de la Densidad de Descargas a Tierra (DDT). ....	4
1.2.2 Corriente pico absoluta promedio:.....	4
1.2.3 Evaluación del riesgo de las estructuras.....	4
1.2.3.1 Evaluación del riesgo del edificio sin medidas de protección. ....	5
1.2.3.1 Evaluación del riesgo del edificio con medidas de protección. ....	6
1.2.4 Resultados de la Evaluación del Riesgo. ....	6
Conclusiones:.....	7
TABLA 4. Resumen de La Evaluación del Riesgo por Rayos para el Edificio.....	8
TABLA 5. Resumen Medidas de Protección.....	8
2. DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA EL RAYO.....	10
2.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	10
2.2 SISTEMA DE BAJANTES.....	11
2.3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.....	12
2.3.1 Cálculo de la Resistencia de Puesta a Tierra de la malla de pararrayos. ....	13
2.3.2 Cálculo del calibre del conductor de la Bajante y del Sistema de Puesta a Tierra.....	13
2.1.3.3 Disposición Del Sistema. ....	13
TABLA 6 : Cálculos del sistema de Proteccion contra pararrayos. ....	14
2.3.4 Verificación De Condiciones De Tensiones De Paso Y De Toque. ....	15
3. SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNA (SPI).....	15
3.1. DPS Para Tablero Principal. ....	16
3.1.2 DPS Para Equipos Sensibles Importantes. ....	16
4. RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION .....	16
5. RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO.....	17
6. GUÍA GENERAL DE SEGURIDAD PERSONAL DURANTE TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA LOS EDIFICIOS.....	18
7. LIMITACIONES .....	19
ANEXO 1. MAPA ISOCERAUNICO DE COLOMBIA.....	20

## 1. ANALISIS DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS DEL EDIFICIO Y MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA EL RAYO.

### 1.1 NORMATIVIDAD APLICADA

Para la evaluación del riesgo por rayos seguimos los lineamientos de las siguientes normas:

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE
- Protección contra Rayos, Serie NTC 4552-2
- Protection of structures against lightning, IEC 62 305-2

### 1.2 EVALUACION DE NIVEL DE RIESGO POR RAYOS APLICANDO LA METODOLOGIA DE IEC 62 305-2 y NTC 4552-2

Para dar cumplimiento al RETIE y de acuerdo con la norma IEC 62 305-2 y NTC 4552-2, antes de diseñar el apantallamiento de una estructura o de una instalación, debe evaluarse el nivel de riesgo para el sitio en particular donde se construirá el proyecto.

El nivel de riesgo se evaluará a partir de la corriente del rayo, la cual es la fuente primaria de daños, de las características de la estructura, de los servicios que llegan a ella y de las estructuras que la rodean.

Las características principales del edificio correspondiente al Colegio Boitá, ubicado en la Calle 45 Sur # 72 Q -20, Barrio Santa Catalina, Localidad 8 Kennedy, Bogotá, son:

TABLA 1. Características del Colegio Boitá.		Valor
Longitud promedio de la estructura	71,90 m	
Anchura promedio del tejado	27,00 m	
Altura del mayor saliente de la estructura	26,95 m	
Altura del promedio del plano del tejado	22,75 m	
Area aproximada de cubiertas	1.945,35 m <sup>2</sup> .	
Riesgo de incendio y daños fisicos	Normal	
Tipo de cubierta	Losa en la que funcionan canchas de deportes al aire libre.	
Tipo de estructura	Estructura con columnas de hormigón armado.	
Tipo de cable interno	No Apantallado	
Ubicación de la estructura	Estructura con arboles y otras alrededor de menor o igual altura.	
Ambiente	Urbano.	
Nivel Ceraunico/Dendidad de descargas a tierra	180 días de tormenta/año / 5,6 flashes/km <sup>2</sup>	
Clase de SIPRA	Ninguno	
Protección contra fuego	Sistemas Automáticos contra incendio.	
Protección interna	DPS de M.T. y de baja tension en tablero de distribucion.	
Linea que llega a la estructura	Subterranea.	
Tipo de cableado externo	Apantallado apantallado	

Existencia de transformador MT/BT	Si
Riesgos especiales para la vida	Estructura de 6 pisos, que puede presentar problemas de evacuacion ante un incendio.
Sistemas criticos	Ascensores
Prestacion de Servicios esenciales	No
Uso de la estructura	Edificio para Educacion para infantes y adolescentes (Peescolar, Primaria, Secundaria).

### 1.2.1 Determinación de la Densidad de Descargas a Tierra (DDT).

$DDT = 0.0017 * NC^{1.56}$ , NC= Nivel Cerámico de Bogotá = 180

DDT= 5.6 Descargas/Km -año.

### 1.2.2 Corriente pico absoluta promedia:

I > 40 KA para Colombia.

### 1.2.3 Evaluación del riesgo de las estructuras.

La corriente del rayo es la fuente primaria de daños. Se distinguen tres tipos básicos de daños los cuales pueden aparecer como consecuencia de una descarga eléctrica:

D1: Lesiones a seres vivos.

D2: Daños físicos.

D3: Fallos de sistemas eléctricos y electrónicos.

Cada tipo de daño, solo o en combinación con otros, podría producir diferentes pérdidas en el objeto a proteger. Pueden presentarse los siguientes tipos de pérdidas:

L1: Pérdida de vida humana.

L2: Pérdida de servicio público.

L3: Pérdida de patrimonio cultural.

L4: Pérdida económica (Estructura y contenido, lucro cesante).

A continuación calcularemos el riesgo de la estructura sin medidas de protección y con medidas de protección contra el rayo.

### 1.2.3.1 Evaluación del riesgo del edificio sin medidas de protección.



**NORME**  
**INTERNATIONALE**  
**INTERNATIONAL**  
**STANDARD**

**CEI**  
**IEC**  
**62305-2**  
Edition-1  
2005-01

Project: COLEGIO BOITA SIN MPCR

#### Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura (m): 72  
Anchura de la estructura (m): 27  
Altura del plano del tejado (m)\*: 23  
Área de colección (m2): 30.563 m2

#### Características de la estructura:

Riesgo de incendio y daños físicos: Normal  
Eficacia del apantallamiento: Media  
Tipo de cableado interno: No apantallado

#### Influencias ambientales:

Situación respecto a los alrededores: Altura similar  
Factor ambiental Urbano  
Nº de días de tormenta: 56 days/year  
Densidad anual equivalente de rayos 5,6 flashes/km2

#### Medidas de protección:

Clase de SPCR: Sin SPCR  
Protección contra incendios: Sistemas automáticos  
Protección contra sobretensiones: Sólo en entrada de servicio

#### Líneas de conducción eléctrica:

##### Línea eléctrica:

Línea que llega a la estructura: Cable enterrado  
Tipo de cable externo: Apantallado  
Existencia de transformador MT/BT: Transformador

##### Otros servicios aéreos:

Número de servicios conducidos: 0  
Tipo de cable externo: No apantallado

##### Otros servicios enterrados:

Número de servicios conducidos: 2  
Tipo de cable externo: No apantallado

#### Tipos de las pérdidas:

##### Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas:

Riesgos especiales para la vida: Problemas de evacuación  
Por incendios: Comercios, colegios, ...  
Por sobretensiones: Hay sist. de seguridad críticos

##### Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales:

Por incendios: No hay servicios esenciales  
Por sobretensiones: No hay servicios esenciales

##### Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural:

Por incendios: Sin valor histórico

##### Tipo 4 - Pérdidas económicas:

Riesgos económicos especiales: Sin riesgos especiales  
Por incendios: Propiedad comercial  
Por sobretensiones: Museo, escuela  
Por tensión de paso/contacto Sin riesgo de shock  
Riesgo tolerable de pérd. económ.: 1 en 1000 años

#### Riesgos calculados:

	<b>Tolerable Risk Rt</b>	<b>Direct Strike Risk Rd</b>	<b>Indirect Strike Risk Ri</b>	<b>Calculated Risk R</b>
Pérdidas de vidas humanas	1,00E-05	4,37E-05	8,02E-05	1,24E-04
Pérdidas de serv. público	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pérdidas de patrimonio	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pérdidas económicas	1,00E-03	1,20E-04	1,99E-03	2,11E-03

### 1.2.3.1 Evaluación del riesgo del edificio con medidas de protección.



**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL 62305-2  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

Edition-1  
2005-01

Project: COLEGIO BOITA CON MPCR

#### Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura (m): 72  
Anchura de la estructura (m): 27  
Altura del plano del tejado (m)\*: 23  
Área de colección (m2): 30.563 m2

#### Características de la estructura:

Riesgo de incendio y daños físicos: Normal  
Eficacia del apantallamiento: Media  
Tipo de cableado interno: No apantallado

#### Influencias ambientales:

Situación respecto a los alrededores: Altura similar  
Factor ambiental Urbano  
Nº de días de tormenta: 56 days/year  
Densidad anual equivalente de rayos 5,6 flashes/km2

#### Medidas de protección:

Clase de SPCR: Nivel III  
Protección contra incendios: Sistemas automáticos  
Protección contra sobretensiones: Coord. según IEC62305-4

#### Líneas de conducción eléctrica:

##### Línea eléctrica:

Línea que llega a la estructura: Cable enterrado  
Tipo de cable externo: Apantallado  
Existencia de transformador MT/BT: Transformador

##### Otros servicios aéreos:

Número de servicios conducidos: 0  
Tipo de cable externo: No apantallado

##### Otros servicios enterrados:

Número de servicios conducidos: 2  
Tipo de cable externo: No apantallado

#### Tipos de las pérdidas:

##### Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas:

Riesgos especiales para la vida: Problemas de evacuación  
Por incendios: Comercios, colegios, ...  
Por sobretensiones: Hay sist. de seguridad críticos

##### Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales:

Por incendios: No hay servicios esenciales  
Por sobretensiones: No hay servicios esenciales

##### Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural:

Por incendios: Sin valor histórico

##### Tipo 4 - Pérdidas económicas:

Riesgos económicos especiales: Sin riesgos especiales  
Por incendios: Propiedad comercial  
Por sobretensiones: Museo, escuela  
Por tensión de paso/contacto Sin riesgo de shock  
Riesgo tolerable de pérd. económ.: 1 en 1000 años

#### Riesgos calculados:

	<b>Tolerable Risk Rt</b>	<b>Direct Strike Risk Rd</b>	<b>Indirect Strike Risk Ri</b>	<b>Calculated Risk R</b>
Pérdidas de vidas humanas	1,00E-05	4,39E-06	2,52E-06	6,91E-06
Pérdidas de serv. público	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pérdidas de patrimonio	1,00E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pérdidas económicas	1,00E-03	5,99E-06	6,08E-05	6,67E-05

### 1.2.4 Resultados de la Evaluación del Riesgo.

Al aplicar la metodología para la evaluación del nivel de riesgo por rayo a la estructura sin medidas de protección, hemos encontrado que los riesgos ( $R_{\text{CALCULADO}}$ ) que superan los niveles establecido por las autoridades colombianas ( $R_T$ ) son los siguientes:



**TABLA 2. RIESGO POR RAYOS PARA EL EDIFICIO sin medidas de protección.**

Tipos de pérdidas	$R_T$	$R_{CALCULADO}$	NIVEL DEL RIESGO
Pérdidas de vida humana o daños permanentes.	$1 \times 10^{-5}$	$1.19 \times 10^{-4}$	MAYOR que el tolerable. <b>Necesita Medidas de protección.</b>
Pérdidas de servicio público	$1 \times 10^{-3}$	0.0	Bajo
Pérdidas de patrimonio cultural	$1 \times 10^{-3}$	0.0	Bajo
Pérdidas económicas	$1 \times 10^{-3}$	$2.11 \times 10^{-3}$	MAYOR que el tolerable. <b>Necesita Medidas de protección.</b>

**TABLA 3. RIESGO POR RAYOS PARA EL EDIFICIO con las siguientes medidas de protección: SPCR CLASE III, SISTEMAS AUTOMÁTICOS CONTRA INCENDIO Y PROTECCIONES COORDINADAS.**

Tipos de pérdidas	$R_T$	$R_{CALCULADO}$	NIVEL DEL RIESGO
Pérdidas de vida humana o daños permanentes	$1 \times 10^{-5}$	$6.4 \times 10^{-6}$	Bajo
Pérdidas de servicio público	$1 \times 10^{-3}$	0.0	Bajo
Pérdidas de patrimonio cultural	$1 \times 10^{-3}$	0.0	Bajo
Pérdidas económicas	$1 \times 10^{-3}$	$6.63 \times 10^{-5}$	Bajo

**CONCLUSIÓN:** La estructura en estudio, por sus características constructivas, de uso, concentración de personas, estructuras circundantes, tipo de redes de servicios que llegan y equipos instalados, necesita medidas de protección Nivel III. Por tanto se debe construir un apantallamiento externo Clase III, Sistemas Automáticos contra Incendios y Protecciones de Sobretensión Coordinadas.

## Conclusiones:

Las acciones recomendadas son:

1. Es necesaria la construcción de un sistema de protección externa contra rayos (Apantallamiento) de Clase III para el edificio del Colegio Boitá.
2. Debe tener Sistemas Automáticos Contra incendios.
3. Debe Construirse un Sistema de Protección Interna (SPI) mediante DPS clase I+II en el tablero principal. También deben realizarse equipotencializaciones mediante cables; usar tuberías metálicas y/o cables apantallados para equipo sensible donde existiese, utilizar gabinetes eléctricos metálicos y protecciones de sobretensión.
4. Debe realizarse la construcción del Cableado y Sistema de Puesta a tierra según norma NTC 2050.
5. Se recomienda especialmente la implementación de un sistema de protecciones de sobretensión coordinadas, lo cual implica Instalar protecciones contra sobretensión

(DPS) Clase I+II en la subestación y en los tableros de distribución eléctrica que alimenten sistemas electrónicos regulados y no regulados, así como protecciones clase III en los equipos sensibles más críticos a criterio del área de sistemas todo ello para proporcionar una completa protección interna contra descargas indirectas y directas del rayo.

**TABLA 4. Resumen de La Evaluación del Riesgo por Rayos para el Edificio.**

Posible Punto de Impacto.	Fuente de Daño	Tipo de Daño	Tipo de Pérdida	Observaciones
<b>Edificio COLEGIO BOITÁ</b>	Impacto Directo	D1	L1	En caso de presencia de personas en el momento de la descarga.
		D2	L1,L4	Debido a la posibilidad de incendio.
		D3	L4	Posible falla de operación por fallo en sistemas eléctricos y electrónicos.
	Impacto Cercano		L4	Posible falla de operación por fallo en sistemas eléctricos y electrónicos.
	Impacto Cercano	D3	L4	Posible suspensión de operaciones por fallo en sistemas eléctricos y electrónicos.

**TABLA 5. Resumen Medidas de Protección.**

Estructura	Tipo de pérdida	Medidas de Protección							
		Protección Externa IEC 62305-3				Sistema de Extinción de Incendios		Protección contra sobretensiones	
		Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Manual	Automático	Acometida	Coordinado
<b>Edificio COLEGIO BOITÁ</b>	L1, L4			x			x	x	x



⚡ **Impactos de rayo a las áreas de colección**



**Categorías de las pérdidas**

**Resultados del área de colección:**

Ad - Área de colección de impactos directos a la estructura	30.563 m2
Nd - número medio de impactos directos a la estructura por año	,086 flashes/year
Am - Área de colección de la estructura afectada por sobretensiones inducidas por impactos indirectos.	247.794 m2
Nm - núm. de impactos directos a tierra o a objetos cercanos a la estructura conectados a tierra que inducen sobretensiones	1,302 flashes/year
Ac1 - área de colección de las líneas aéreas a impactos directos.	33.516 m2
NL1 - número medio de impactos directos por año a las líneas aéreas que sean potencialmente peligrosos	,094 flashes/year
Al1 - área de colección de la línea aérea a los impactos indirectos	1.000.000 m2
NI1 - número medio impactos directos anuales a la tierra cercana a la línea aérea que pueda causar daños por sobretensiones	,560 flashes/year
Ac2 - área de colección de la línea enterrada a impactos directos	20.818 m2
NL2 - número esperado de impactos directos anuales a la línea enterrada que sean potencialmente peligrosos	,058 flashes/year
Al2 - área de colección de la línea enterrada a impactos indirectos.	559.017 m2
NI2 - número de impactos indirectos anuales a la tierra cercana a la línea enterrada que induzcan sobretensiones peligrosas	,313 flashes/year

⚡ **Impactos de rayo a las áreas de colección**



**Categorías de las pérdidas**

**Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas:**

RA1 - riesgo de tensiones de paso y contacto peligrosas dentro y fuera de la estructura causadas por un impacto directo a la estructura.	8,56E-08
RB1 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a la estructura	4,28E-06
RC1 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto directo a la estructura.	2,57E-08
RM1 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto indirecto a la estructura.	3,91E-07
RU1 - riesgo de tensiones de paso y contacto peligrosas dentro y fuera de la estructura causadas por un impacto directo a las líneas.	3,85E-09
RV1 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a las líneas.	1,92E-06
RW1 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto directo a las líneas.	3,85E-08
RZ1 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto indirecto a las líneas.	1,63E-07

**Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales:**

RB2 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a la estructura.	0,00E+00
RC2 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto directo a la estructura	0,00E+00
RM2 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto indirecto a la estructura	0,00E+00
RV2 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a las líneas.	0,00E+00
RW2 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto directo a las líneas.	0,00E+00
RZ2 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto indirecto a las líneas.	0,00E+00

**Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural:**

RB3 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a la estructura	0,00E+00
RV3 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a las líneas.	0,00E+00

**Tipo 4 - Pérdidas económicas:**

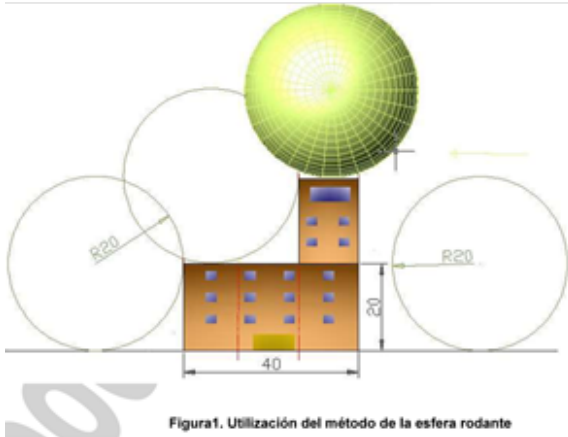
RA4 - riesgo de tensiones de paso y contacto peligrosas dentro y fuera de la estructura causadas por un impacto directo a la estructura	0,00E+00
RB4 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a la estructura	3,42E-06
RC4 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto directo a la estructura	2,57E-06
RM4 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto indirecto a la estructura	3,91E-05
RU4 - riesgo de tensiones de paso y contacto peligrosas dentro y fuera de la estructura causadas por un impacto directo a las líneas.	0,00E+00
RV4 - riesgo de destrucción debida a incendio, explosión, daños físicos o daños químicos causados por un impacto directo a las líneas.	1,54E-06
RW4 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto directo a las líneas.	3,85E-06
RZ4 - riesgo de fallo de equipos eléctricos o electrónicos debido a sobretensiones causadas por un impacto indirecto a las líneas.	1,63E-05

## 2. DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA EL RAYO.

El SPCR Externo comprende básicamente el sistema de captación, las bajantes y la puesta a tierra de pararrayos. Para el diseño del apantallamiento, utilizamos los principios del modelo electrogeométrico, con los cuales se determina la ubicación efectiva de los terminales de captación y el cubrimiento que ellos ofrecen.

Según el RETIE el procedimiento a utilizar para diseñar el apantallamiento, se basa en la metodología desarrollada por Gilman y Whitehead, conocido como el modelo electrogeométrico, según el cual se ubican los terminales de captación dentro de la estructura de manera que sean más atractivos a los rayos que las personas, equipos o cualquier tipo de estructura. Esto se logra determinando la llamada distancia de impacto del rayo a una estructura u objeto.

Un corolario del método electrogeométrico corresponde al método de la esfera rodante (Rolling Ball) que consiste en imaginar una esfera de radio igual a la distancia de impacto rodando sobre los volúmenes de las estructuras a proteger contra rayos. La distancia de impacto depende del Nivel de Riesgo y los parámetros del rayo asociados a este. Todas las estructuras que logre tocar la esfera estarán expuestas a descargas directas. El propósito es que las únicas estructuras que toque la esfera sean los dispositivos de protección o apantallamiento.



Como vimos antes, el análisis de riesgo realizado mediante la metodología de IEC 62 305 para el edificio COLEGIO BOITÁ, da como resultado la necesidad de construir una protección contra el rayo NIVEL III.

### 2.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN.

Tiene la función de interceptar los rayos que puedan impactar directamente sobre la estructura.

En el edificio utilizaremos como sistema de captación varios tipos de electodos:

1. Puntas de aluminio de 1.5 m montadas mediante una base sobre la alfagia o losa de concreto, según se indica en oplanos.
2. Puntas de Aluminio de 2.5 m montadas sobre distanciadores en “V” instaladas en las 4 esquinas del edificio a nivel de azotea, para garantizar que no se presente toque accidental o intensional de personas, ya se trata de un area esparcimiento de acceso al personal que ocupa el edificio.
3. Puntas aisladas, con mastil aislado para montar sobre la estructura metálica que soporta la malla que cubre la cancha de la torre 1.
4. Alambro de aluminio desnudo de 8 mm, que une las puntas. En los lugares accesibles se instalará el conductor en la parte exterior del edificio, sobre la fachada y a 1m de distancia de la alfagia, como se indica en los planos.

Los conectores a utilizar deben ser de fabricación garantizada para soportar corrientes del rayo.

## **2.2 SISTEMA DE BAJANTES.**

El objetivo de los bajantes es derivar de manera controlada la corriente del rayo, que incide sobre la estructura e impacta en los terminales de captación, y se diseña con estricto cumplimiento de la norma IEC 62 305-3 y NTC 4552-3.

Se construirán 14 bajantes naturales, 7 por torre. Este sistema brinda una excelente protección, reduce la probabilidad de chispas peligrosas y facilita la protección interna, según establece la norma internacional IEC 62305-3, la NTC 4552-3 y el RETIE en el artículo 16.3.2. f

Las bajantes denominadas bajantes naturales se diseñan así:

Se instalará un conductor de acero embebido en cada columna perimetral o pantalla indicada en planos, que actuara como bajante natural.. Estos conductores se instalaran como un electrodo adicional, no estructural, en cada columna y pantalla, en la ubicación definida en los planos.

Los conductores serán cable de acero galvanizado de 3/8”, cuya área transversal de 71,2 mm<sup>2</sup> y diámetro de 9,5 mm excede los 50 2 mm<sup>2</sup> y diámetro de 8 mm que exige la norma del rayo y el RETIE, se equipotencializarán a las varillas estructurales de las columnas, cada 1.75 m (o dicho de otra manera: a nivel de losa y a nivel de punto medio entre losas), con unión mediante conector especial tal como se indica en los dibujos.

La unión entre el conductor de Acero de 3/8” y el cable de cobre de la malla de puesta a tierra se hará con grapa especial a nivel de la base de la columna según se indica en los planos y detalles constructivos.

Cada bajante termina conectada a una varilla de cobre del sistema del sistema de puesta a tierra general.

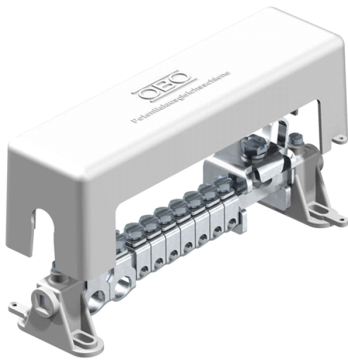
El constructor del apantallamiento debe asegurar la correcta instalación y verificar la continuidad entre el sistema de captación y la puesta a tierra, poniendo especial cuidado en la continuidad de las bajantes.

Cada conductor bajante del sistema de apantallamiento deberá llegar al electrodo de tierra (cable o varilla).

### 2.3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.

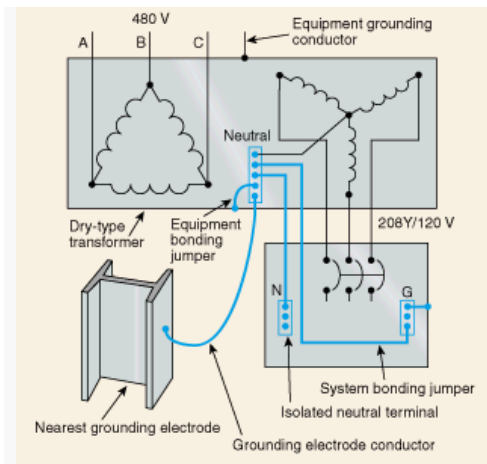
El Sistema de Puesta a tierra es una parte fundamental del sistema de protección contra rayos que contribuye de forma sustancial a la seguridad del personal, de las instalaciones y de los equipos en caso de la incidencia de un rayo, ya que provee una equipotencialidad a los equipos y estructuras y ofrece una trayectoria de baja impedancia a la corriente del rayo, permitiendo su dispersión y disipación en el terreno sin causar daño.

En el edificio se usará un sistema de puesta a tierra tipo B, o anillo, para cada torre instalado directamente en el terreno bajo el sótano o primer nivel en cada una de las 2 torres. A cada anillo van conectadas las siete (7) bajantes por torre, mediante soldadura exotérmica, según se indica en los planos y dibujos. Los dos (2) anillos se interconectan mediante dos tramos de cable de cobre desnudo. En el sistema de puesta a tierra se utilizará cable de cobre desnudo calibre 2/0 AWG, para garantizar mayor resistencia a ataques químicos del terreno.

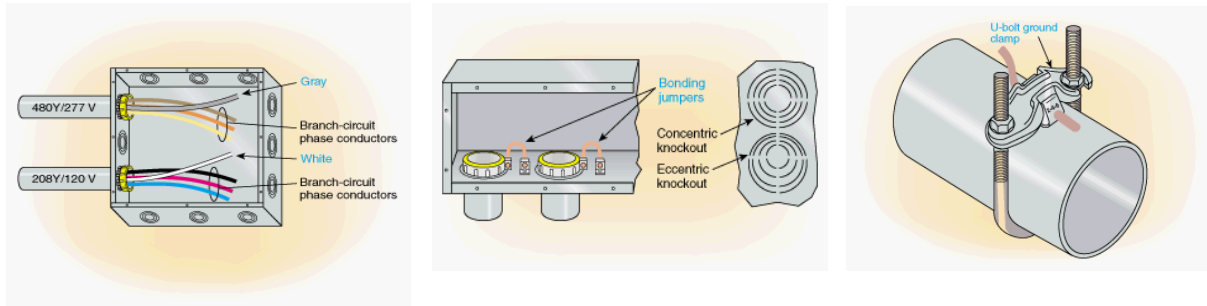


Para la protección de las instalaciones eléctricas y electrónicas se debe garantizar la interconexión a tierra de todos los sistemas; con ello se obtiene un potencial común y se logra que las instalaciones se eleven al mismo potencial, evitando accidentes y daños en los equipos eléctricos y electrónicos, debido a las peligrosas diferencias de potencial y los arcos que pueden aparecer en las instalaciones. En consecuencia se instalará un barraje equipotencial en la subestacion, hasta donde llegaran las colas de la malla de potencia, la malla del pararrayos y la mala de equipos sensibles.

*Ilustración 1: Barraje equipotencial con 10 posibilidades de conexión.*



Todas las partes metálicas no portadoras de corriente, como ductos, tubos conduit, tanques, vigas, columnas de la estructura metálica, bandejas portacables y carcasas de equipos se deben conectar directamente al sistema de puesta a tierra para garantizar el mismo potencial (Equipotencialización).



La varilla de tierra más de la malla de tierra de potencia más próxima a la malla de protección contra el rayo, se conectará a ella mediante cable de Cu 1/0.

En el punto de la malla de puesta a donde se deriva una cola de equipotencialización, se debe construir un registro de tierra de 40x40 cm, como se indica en los planos.

### 2.3.1 Cálculo de la Resistencia de Puesta a Tierra de la malla de parrayos.

Tomaremos como resistividad del terreno  $\rho = 54,08 \Omega \cdot m$ , de acuerdo al “Estudio de la Resistividad del Terreno”, que se presenta en informe aparte.

La resistencia de puesta a tierra de la malla de pararrayos, calculada con esta resistividad nos da como resultado una resistencia  $R = 0,91 \Omega$ .

Este valor de resistencia de tierra es muy bueno, y no supera el valor máximo que recomiendan la norma del rayo y el RETIE, el cual es de  $10 \Omega$ ; en consecuencia cumple RETIE. Ver **Tabla 6** para examinar el cálculo de la resistencia del sistema de tierra.

La resistencia de puesta a tierra deberá ser medida por el constructor una vez esté terminado el apantallamiento.

### 2.3.2 Cálculo del calibre del conductor de la Bajante y del Sistema de Puesta a Tierra.

Debe calcularse el calibre de los conductores bajantes y de la puesta a tierra para garantizar que durante el tiempo de despeje de la corriente, de una eventual descarga directa, estos conductores la soporten, sin que se produzca una elevación de la temperatura a niveles destructivos.

Ver **Tabla 6** para el cálculo de los calibres de las bajantes y del sistema de tierra.

### 2.1.3.3 Disposición Del Sistema.

Se construirá un sistema de puesta a tierra Tipo B para el edificio, según aparece en los planos.

El conductor de tierra debe ir enterrado a 0.5 m de profundidad, medidos descontando la capa de concreto.

En cuanto a los conductores de Cu, se utilizarán exclusivamente uniones exotérmicas para las conexiones bajo tierra, que garanticen una temperatura de fusión igual o superior a la del conductor. La malla de potencia deben ser equipotencializadas a la malla de pararrayos más cercana.

En los planos se presentan detalles constructivos, y en el Presupuesto los materiales y las cantidades de obra requeridas para la construcción del sistema de tierra.

**TABLA 6 : Cálculos del sistema de Protección contra pararrayos.**

<b>TABLA 6 : CÁLCULO DE CONDUCTORES DE BAJANTES, DISTANCIAS DE SEGURIDAD, Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL PARARRAYOS DEL COLEGIO BOITÁ.</b>		
<b>1. PARAMETROS DEL RAYO</b>		
CORRIENTE PICO ABSOLUTA PROMEDIO PARA COLOMBIA (KA):		COLEGIO BOITÁ 45,3
NIVEL DE PROTECCION CONTRA RAYO:		NPR III
MAXIMA CORRIENTE DE PICO (KA):		100
MINIMA CORRIENTE DE PICO (KA):		26
CARGA (Q):		50
ENERGIA ESPECIFICA (W/R):		2.500
<b>2. CALCULO DEL CONDUCTOR DE BAJANTES Y CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA</b>		
El calibre mínimo para bajantes según RETIE es de 50 mm <sup>2</sup> (Art 18), que corresponde a un conductor No:		1/0
Corriente Pico (KA):		100,00
Constante del Conductor ALUMINIO:		12,12
Constante del Conductor Cu:		7,06
Constante del Conductor Acero:		28,96
Tiempo de disipación de la primera descarga positiva del rayo (S):		0,0053
Tiempo de disipación del impulso de corriente de larga duración (S):		0,5
<b>2.1. CONDUCTOR DE BAJANTE Y DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN</b>		
Area del conductor de Aluminio (mm <sup>2</sup> ):		26,66
Esta area corresponde aproximadamente a un conductor No:		AL 3 AWG
Area del conductor de Cobre (mm <sup>2</sup> ):		11,07
Esta area corresponde aproximadamente a un conductor No:		Cu 6 AWG
Area mínima del conductor de Acero (mm <sup>2</sup> ):		36,05
Esta area corresponde aproximadamente a un conductor cable de acero de diametro (mmm):		6,8
El conductor seleccionado para bajantes de Aluminio: Alambón (Diametro-Sección)		8mm-50 mm <sup>2</sup>
El conductor seleccionado para bajantes de Cobre: Cable		Cu 1/0 AWG
El conductor seleccionado para bajantes de Acero: Columnas metálicas de acero de 12.890,0 mm <sup>2</sup> >> 50 mm <sup>2</sup> que exige la norma y el Retie		12.890,0 mm <sup>2</sup>
El conductor seleccionado para sistema de captación: Puntas de Aluminio de 16 mm		Puntas de Aluminio ø= 16 mm.
<b>2.2. CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA</b>		
Area del conductor de Cu (mm <sup>2</sup> ):		11,07
Esta area corresponde aproximadamente a un conductor No:		Cu 8 AWG
El conductor de puesta a tierra seleccionado es No:		CU 2/0 AWG
<b>3. VOLTAJE DE CONTACTO Y DE PASO</b>		
Aplicando la metodología de la IEC, para puesta a tierra de pararrayos, en disposicion tipo :		B
Resistividad aparente de capa superficial (GRAVA , 15 cm de espesor, hasta 3 m de la bajante).	ps :	5.000
Resistividad del terreno para terreno sin tratamiento (Ω-m)	p :	54,08
Espesor de la capa superficial (m)	hs :	0,15
Tiempo de disipación del impulso de corriente de larga duración (S):	tc :	0,500
Numero de bajantes para el edificio	N :	14
Coefficiente en funcion del numero de bajantes ( PARA EL CASO DE MULTIPLES CONDUCTORES BAJANTES)	Kc :	0,071
El voltaje de paso es tolerable si cumple la siguiente condicion de seguridad:	ps >=	f(k <sub>c</sub> , Z, p)
<b>Resultado : El Voltaje de paso es tolerable</b>	ps >=	100,0
El voltaje de toque es tolerable si cumple la siguiente condicion de seguridad:	ps >=	f(k <sub>c</sub> , Z)
<b>Resultado : El Voltaje de Toque si es tolerable</b>	ps >=	161
<b>4. DISTANCIA MINIMA , EN EL SUELO, ENTRE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA Y OTROS CONDUCTORES</b>		
Distancia minima en metros (D)	D:	0,5
<b>5. DISTANCIA MINIMA DE LAS BAJANTES A VENTANAS, PUERTAS O ESTRUCTURAS METALICAS para no equipotencializar o AISLAR la bajante.</b>		
Distancia de seguridad a 3 m de altura ,(d en metros). Según norma para Bajanetes naturales.	d>	NO SE REQUIERE
Distancia de seguridad a 5,0 m de altura ,(d en metros). Según norma para Bajanetes naturales.	d>	NO SE REQUIERE
Distancia de seguridad a 1,5m de altura ,(d en metros). Según norma para Bajanetes naturales.	d>	NO SE REQUIERE
Distancia de seguridad a 26,95m de altura ,(d en metros) ( Altura de la mallade la cancha en la azotea).	d>	0,09
<b>6. RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA</b>		
Tipo de sistema de Puesta a Tierra:		B
Tipo de electrodo:		Cable y varilla.
Longitud de cable 1/0 enterrado	L <sub>c</sub> =	235,0
Numero de varillas de puesta a tierra	N=	14,0
Resistencia de Sistema de Puesta a tierra del Sistema (Ω):	R <sub>spt</sub> =	0,91



### **2.3.4 Verificación De Condiciones De Tensiones De Paso Y De Toque.**

Los voltajes de paso y de toque pueden ser peligrosos para la vida. Un SPCR diseñado y construido de acuerdo a las normas minimiza estos voltajes a niveles tolerables.

De acuerdo a la norma IEC, para asegurar el mínimo riesgo deben garantizarse niveles adecuados de tensiones de paso y de toque, se deben cumplir unas condiciones de seguridad, considerando la resistividad superficial del terreno y la impedancia al impulso del suelo (que depende del NPR : Nivel de protección contra el rayo). Los resultados de estos cálculos se pueden ver en la **Tabla 6**.

## **3. SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNA (SPI).**

El rayo como fuente de daño es un fenómeno de alta energía. Las descargas liberan muchos cientos de mega-julios de energía. Cuando se compara con los mili-julios de energía que pueden ser suficientes para producir daños en los equipos electrónicos sensibles y en los sistemas eléctricos y electrónicos que se encuentran en las estructuras, está claro que serán necesarias medidas adicionales de protección para proteger estos equipos.

La protección externa contra rayos es inocua frente a perturbaciones causadas por el impulso electromagnético del rayo que impacta en las cercanías de la estructura y contra las perturbaciones causadas por impactos directos en las redes eléctricas, telefónicas, etc. que alimentan la estructura, por ello debe implementarse un sistema de protección externa que cubre este aspecto de la protección. A continuación se harán algunas recomendaciones con relación a la protección interna.

Para evitar chispas o arcos eléctricos que puedan ser originados por sobretensiones debidas a una descarga directa o indirecta sobre la estructura, al igual que por tensiones inducidas por impactos directos o lejanos, se deben alejar una distancia de seguridad específica o equipotencializar a las bajantes y/o a al sistema de puesta a tierra de las acometidas de servicio, pantallas de cables y otras partes metálicas normalmente no energizadas, como las siguientes:

- Las partes metálicas de la estructura.
- Las partes metálicas de la piscina.
- Las instalaciones metálicas.
- Los ductos metálicos.
- Las partes conductoras externas y líneas de servicio conectadas a la estructura, como servicios de Agua, Energía, Gas, Teléfonos y TV.
- Los sistemas eléctricos y electrónicos dentro de la estructura a ser protegida.

Las bajantes en la disposición utilizada en este proyecto requieren una distancia de seguridad igual a 0.00m debido a que usan bajantes naturales, se usan mas 10 bajantes, se utiliza aislamiento para tensión tipo impulso en las bajantes aisladas.

Deben instalarse barrajes equipotenciales para conectar todas las pantallas de cables, estructuras metálicas, etc. con el sistema de puesta a tierra. Los conductores que llevan corriente (Fases) en el cambio de red aérea a subterránea y en los tableros principales y



secundarios, deben conectarse a los barrajes equipotenciales mediante dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias, DPS.

### 3.1. DPS Para Tablero Principal.

Con el fin de minimizar daños sobre el sistema eléctrico y los equipos, se recomienda instalar un DPS Clase I+II de las siguientes características mínimas, en el tablero general de Distribución en baja tensión, ubicado en la subestación, con las siguientes características mínimas:

- Tensión Nominal: 230 V.
  - Clasificación según norma IEC61643-1 : Clase I+II
  - Valor de cresta de corriente del rayo: 50 KA (10/350  $\mu$ s) y 100 KA (8/20  $\mu$ s)
  - Coordinado con otras protecciones.
  - Nivel de Tensión de protección: menor a 1.3 Kv
  - Temperatura de operación: -40°C a 85°C
  - Tiempo de respuesta: menor a 25 ns.
- Sugerencia: DPS Clase I+II Tipo PS4-B+C+TT/TNS, Código 5089 76 1, marca OBO.

### 3.1.2 DPS Para Equipos Sensibles Importantes.

Se recomienda instalar DPS clase II y/o III para proteger de sobretensiones equipos sensibles tales como computadores, sistemas de circuito cerrado de TV, telefonía mediante cables BCH, monitoreo, registro y control etc. Para ello es necesario consultar con el proveedor de los equipos la protección recomendada o en su defecto, investigar sobre las características de voltaje, conexiones, sistema de control, etc., para definir el DPS adecuado en el equipo que se requiera.

## 4. RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION

De acuerdo con el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas mostrado en los planos, el constructor deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- De acuerdo al Art 18 de RETIE, "el diseño de la protección contra rayos debe realizarse aplicando el método electrogeométrico.", por tal razón, todos aquellos sistemas no convencionales tales como pararrayos radiactivos, entre otros, que utilizan una metodología diferente al modelo electrogeométrico quedan sin validez y por ende no está avalado su uso.
- La distancia mínima entre los conductores enterrados o varillas de puesta a tierra y otros conductores debe ser la que se indica en la **Tabla 6**.
- El radio de curvatura de los conductores del sistema de apantallamiento en ningún caso debe ser inferior a 0.2 metros.

## 5. RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO

Después de realizada la instalación, recomendamos realizar labores de mantenimiento periódicas con el fin de mantener el correcto funcionamiento del SIPRA y garantizar la protección tanto a los equipos como al personal que labora en este edificio. Esta inspección la debe guiar un especialista en protección contra rayos de acuerdo a las recomendaciones de la norma NTC 4552-3.

El SIPRA debe ser inspeccionado durante su instalación, después de concluir la instalación y regularmente de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 7. Máximo periodo entre inspecciones de un Sistema de protección Externo contra rayos.**

Nivel de Protección	Inspección Visual (año)	Inspección completa (año)	Sistemas críticos Inspección completa (año)
I y II	1	2	1
III y IV	2	4	1

El mantenimiento debe incluir las siguientes actividades:

- Realizar mediciones de resistencia de puesta a tierra 4 años, o cuando se modifique el SIPRA o se instalen nuevos equipos al sistema, que requieran de ciertas condiciones especiales, en este caso determinadas por el fabricante.
- Las medidas de resistencia de la puesta a tierra deben ser iguales o menores a la resistencia final tomada cuando se terminó de construir.
- Realizar pruebas de continuidad, especialmente en las partes del Sipra que serán visibles para la inspección durante la instalación inicial y no estarán disponibles después para la inspección visual.
- Revisión cada dos años del estado físico de los conectores con los cuales se realizan las derivaciones y las interconexiones del sistema de puesta a tierra. Estos elementos por tener ajuste mecánico tipo perno, generan regularmente capas de óxido las cuales presentan resistencia al buen contacto entre los conductores. Igualmente se debe verificar su ajuste.
- Inspección visual cada 2 años de todo el sistema. Esta comprende:
- Asegurarse que el proyecto está de acuerdo con la norma:
- El SIPRA está en buenas condiciones;
- No hay pérdida de conexión o roturas accidentales en los conductores ni en sus conexiones;
- Ninguna parte del sistema se ha debilitado por corrosión, en especial a nivel del suelo;
- Todas las conexiones de tierra están intactas;

- No ha habido adiciones o alteraciones en la estructura protegida que requieran protección adicional;
- No hay daños en los DPS o fallo en sus protecciones;
- Los conductores equipotenciales y las conexiones dentro de la estructura están intactos.

## **6. GUÍA GENERAL DE SEGURIDAD PERSONAL DURANTE TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA LOS EDIFICIOS.**

Durante una tormenta eléctrica son evidentes los peligros a los que se exponen no solo las edificaciones y los sistemas eléctricos y electrónicos, sino las personas. Es por ello que se deben conocer algunas recomendaciones para tener en cuenta durante una tormenta.

El riesgo de ser alcanzado por un rayo es mayor para las personas que trabajan, juegan, caminan o permanecen al aire libre durante una tormenta eléctrica; por ello deben instalarse y verificarse periódicamente la existencia de avisos que ordenen a las personas, ante la evidencia de lluvia o tormenta eléctrica, que despejen áreas descubiertas.

En la zona central colombiana (Cundinamarca, Antioquia; Boyacá, Santander, Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y los llanos) la actividad de rayos es más intensa durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre.

La actividad de rayos se presenta generalmente en las zonas descritas entre las 2 y las 6 de la tarde.

Cuando se tengan indicios de tormenta eléctrica es recomendable, como medida de protección, tener en cuenta las siguientes instrucciones:

- Deben estar aterrizados y protegidos adecuadamente los equipos sensibles de uso eléctrico, electrónico, telefónico o de comunicaciones contra sobretensiones de acuerdo con los criterios y recomendaciones presentadas en la norma, de lo contrario desconéctelos retirando el enchufe del tomacorriente evitando así el uso de ellos.
- Busque refugio en el interior de vehículos, edificaciones y estructuras que ofrezcan protección contra rayos.
- A menos que sea absolutamente necesario, no salga al exterior ni permanezca a la intemperie durante una tormenta eléctrica.
- Permanezca en el interior del vehículo, edificación o estructura hasta que haya desaparecido la tormenta.

Protéjase de los rayos en:

- Contenedores totalmente metálicos.
- Refugios protegidos o refugios subterráneos.
- Automóviles y otros vehículos cerrados con carrocería metálica.
- Viviendas y edificaciones con un sistema adecuado de protección contra rayos.

Los siguientes sitios ofrecen poca o ninguna protección contra rayos:

- Edificaciones no protegidas alejadas de otras viviendas.
- Tiendas de campaña y refugios temporales en zonas despobladas.
- Vehículos descubiertos o no metálicos.

Aléjese de estos sitios en caso de tormenta eléctrica:

- Terrenos deportivos y campo abierto. Específicamente de las canchas en las azoteas del edificio del Colegio Boitá.
- 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, de líneas de alta tensión, de perforación, etc.
- Piscinas, playas y lagos.

Si debe permanecer en una zona de tormenta:

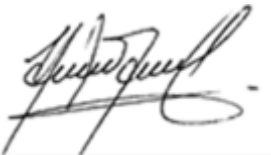
- Busque zonas bajas.
- Evite edificaciones sin protección adecuada y refugios elevados.
- Prefiera zonas pobladas de árboles, evitando árboles solitarios.
- Busque edificaciones y refugios en zonas bajas.

Si se encuentra aislado en una zona donde se esté presentando una tormenta:

- No se acueste sobre el suelo.
- Junte los pies.
- No escampe bajo un árbol solitario.

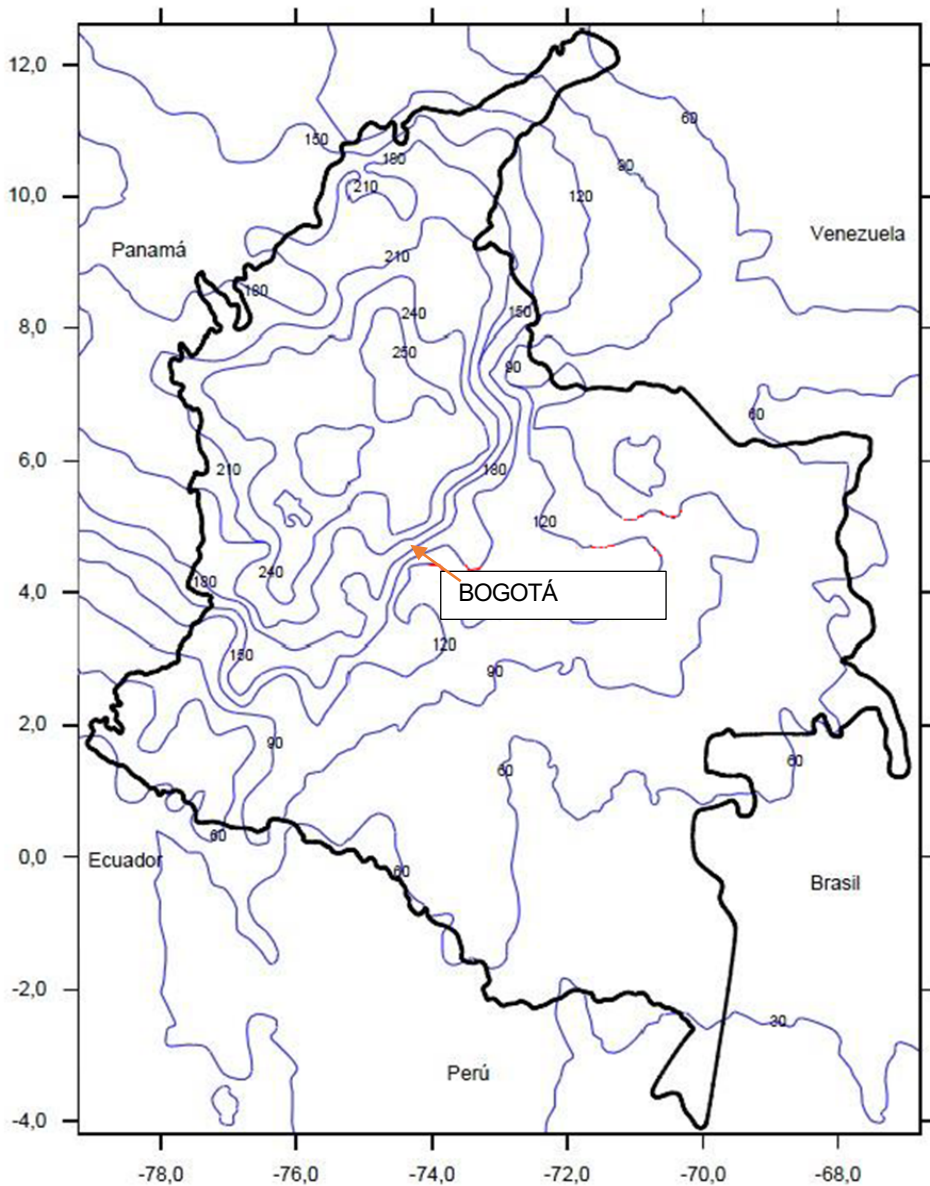
## 7. LIMITACIONES

Las conclusiones y recomendaciones dadas en este estudio se basaron en los diseños arquitectónicos originales del edificio, específicamente en lo referente a planos de las estructuras y edificio, dimensiones, geometría y uso. Si durante la construcción o el uso de las estructuras o edificios se presentan variaciones en las características de estas, se debe verificar las implicaciones derivadas de estos cambios en el Sistema de Protección Externo.



NELSON SAAVEDRA T.  
Ing. Electricista U.N.  
M.P. 17205-19368

**ANEXO 1. MAPA ISOCERAUNICO DE COLOMBIA.**



Mapa de niveles cerámicos para Colombia del Anexo A.5, de la Norma Técnica Colombiana NTC 4552-1