DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ELÉCTRICAS

Proyecto:

CANCHA POLIDEPORTIVA I.E SAN ANTONIO JARDIN

G&L Ingenieria Especializada S.A.S

Elaborado por:

I.E. ALEJANDRO LOTERO L.
MP AN205-61434

VERSIÓN 01

ABRIL DE 2022

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3
2. PROCEDIMIENTO 3
3. EVALUACIÓN DEL FACTOR DE RIESGO PARA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS 3
3.1. RECOMENDACIONES PARA MITIGAR EL RIESGO CALCULADO 7
3.1.1. SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO CONTRA RAYOS 7
3.1.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERIOR 7
3.1.3. SISTEMA CONTRA INCENDIOS 7
3.1.4. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA 7
4. MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD 7
4.1. MÉTODO DE WENNER 8
4.2 CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA 11
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA 13
5.1. METODO ELECTROGEOMÉTRICO 12
5.2 ELEMENTOS DE CAPTACIÓN 14
5.3 ELEMENTOS CONDUCTORES DE LA DESCARGA A TIERRA (BAJANTES): 15
6. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES 17
7. CANTIDADES DE OBRA 19
REFERENCIAS 21

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Desde la entrada en vigencia del Reglamento técnico de instalaciones Eléctricas – RETIE, toda instalación donde se tenga concentración de personas debe poseer un sistema de protección contra rayos, siempre y cuando la evaluación de riesgo así lo determine. Dicho sistema, se debe basar en la implementación de un Sistema Integral de Protección que apunte a mitigar los riesgos asociados con la exposición directa e indirecta a los rayos. Esto cobra mayor relevancia al considerar que Colombia presenta una de las mayores actividades de rayos en el mundo.

Además, es importante recalcar el carácter probabilístico del diseño de protección contra descargas atmosféricas, debido al comportamiento aleatorio de este fenómeno, es por esto que, todas las normas en mayor o menor grado, aceptan que no existe una protección absoluta sino una protección adecuada, basada en estudios estadísticos y en la experiencia obtenida a través del tiempo.

En este informe se presenta la metodología utilizada y los resultados obtenidos en el diseño, así como las conclusiones y recomendaciones del caso; utilizando los criterios establecidos en las normas: RETIE, NTC 4552 de 2008. Se realizó un diseño partiendo de cero y tratando de acondicionar la instalación actual a las condiciones de la nueva simulación con el fin de aprovechar al máximo lo existente.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra son garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos, permitir a los equipos de protección despejar rápidamente la falla, servir de referencia al sistema eléctrico, conducir y disipar las corrientes de falla con suficiente capacidad y transmitir señales de RF en onda media.

El objetivo principal de este informe es argumentar el diseño del sistema de puesta a tierra para baja tensión, y se presenta la metodología utilizada y los resultados obtenidos en el diseño, así como las conclusiones y recomendaciones del caso particular; utilizando los criterios establecidos en las normas antes mencionadas.

2. PROCEDIMIENTO

Luego de haber recolectado la información necesaria para la caracterización del sitio, se realiza la evaluación del nivel de riesgo; se busca definir si es necesario un sistema de protección externa para la edificación; de confirmarse la necesidad, se procederá a realizar el diseño del sistema de protección contra rayos, utilizando el modelo electro geométrico de Wenner, recomendado por el RETIE.

3. EVALUACIÓN DEL FACTOR DE RIESGO PARA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

El propósito de esta evaluación es establecer las medidas que se deben implementar con el fin de mitigar el nivel de riesgo y llevarlo a un valor aceptable, o, en otras palabras, llevarlo por debajo del valor de riesgo tolerable.

El cálculo del nivel de riesgo abarca los factores más relevantes que determinan pérdidas debidas al rayo. No es posible cubrir todos los elementos especiales de una estructura que puedan hacer que sufra más o menos daños debido al rayo. En casos especiales hay factores económicos y personales que podrían ser muy

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

importantes y considerarse junto con el índice presentado en este informe. Se realiza el análisis de riesgo por descargas atmosféricas externas cómo se muestra a continuación:

ANÁLISIS DE RIESGO NORMA TÉCNICA NTC 4552 - 2 CANCHA POLIDEPORTIVA I.E SAN ANTONIO JARDIN	
DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA A PROTEGER	
LARGO DE LA ESTRUCTURA L (m)	34
ANCHO DE LA ESTRUCTURA W (m)	22
ALTURA MAXIMA DE ESTRUCTURA H (m)	7
ESTRUCTURA CON PARTE SOBRESALIENTE (m)	10
ÁREA DE COLECCIÓN EQUIVALENTE (M^2)	4
CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA	
RIESGO DE INCENDIO Y DAÑOS FÍSICOS	NORMAL
EFICACIA DEL APANTALLAMIENTO	ESCASA
TIPO DE CABLEADO INTERNO	NO APANTALLADO
INFLUENCIAS AMBIENTALES	
LOCALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA A SER PROTEGIDA	ALTURA SIMILAR
AMBIENTE DONDE ESTAN LAS ACOMETIDAS	URBANO
NÚMERO DE DIAS DE TORMENTA (NC)	88 DÍAS TORMENTOSOS/AÑO
DENSIDAD ANUAL EQUIVALENTE DE RAYOS	8,8 RAYOS/Km^2
CARACTERISTICAS DE LAS ACOMETIDAS DE SERVICIOS	
ACOMETIDA ELÉCTRICA	
LLEGADA DE LA LÍNEA A LA ESTRUCTURA	LINEA ENTERRADA
TIPO DE CABLE DE LA ACOMETIDA	NO APANTALLADO
TRANSFORMADOR MT/BT EN LA ACOMETIDA	SIN TRANSFORMADOR
OTROS SERVICIOS CONDUCIDOS	
SERVICIOS CONDUCIDOS AÉREOS	0
TIPO DE CABLE EXTERNO	NA
SERVICIOS CONDUCIDOS SUBTERRÁNEOS	0
TIPO DE CABLE EXTERNO	NA
EVALUACION DE PÉRDIDAS	
PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS	
RIESGOS ESPECIALES PARA LA VIDA	SIN RIESGOS ESPECIALES
PÉRDIDAS POR INCENDIO EN LA ESTRUCTURA	COLEGIOS
PÉRDIDAS POR SOBRETENSIONES EN INSTALACIONES	NO APLICA
PÉRDIDA DE SERVICIOS ESENCIALES	
PÉRDIDAS POR INCENDIO EN LOS SERVICIOS	NO HAY SERVICIOS ESENCIALES
PÉRDIDAS POR SOBRETENSIONES EN SERVICIOS	NO HAY SERVICIOS ESENCIALES
PÉRDIDA DE PATRIMONIO CULTURAL	
PÉRDIDAS POR INCENDIO	SIN VALOR HISTÓRICO
PÉRDIDAS ECONÓMICAS	
RIÉSGOS ECONÓMICOS ESPECIALES	SIN RIESGOS ESPECIALES
PÉRDIDAS POR INCENDIO	ESCUELA
PÉRDIDAS POR SOBRETENSIONES	ESCUELA
PÉRDIDAS POR TENSIÓN DE TOQUE Y DE PASO	SIN RIESGO DE SHOCK
RIÉSGO TOLERABLE DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS	1 EN 1000 AÑOS

Tabla 1. Parámetros de entrada

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

Para realizar la evaluación se cuantifica el riesgo para los factores potencialmente peligrosos, apreciados en la estructura del proyecto y se compara con el nivel de riesgo tolerable; esto se hace suponiendo que, en la actualidad, la edificación no cuenta con un sistema de protección externa, con el fin de evaluar el nivel de protección con el que se hará el sistema de protección contra rayos.

EVALUACIÓN DE RIESGO SIN MEDIDAS DE PROTECCIÓN				
RIESGO	**RIESGO TOLERABLE (RT)**	**IMPACTO DIRECTO (RD)**	**IMPACTO INDIRECTO (RI)**	**RIESGO CALCULADO (R)**
PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS	1.00E-05	9,89E-06	4,83E-05	5,81E-05
PÉRDIDAS DE SERVICIOS PÚBLICOS	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PÉRDIDAS EN PATRIMONIO CULTURAL	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PÉRDIDAS ECONÓMICAS	1.00E-03	5,92E-05	2,65E-03	2,70E-03

Tabla 2. Evaluación del riesgo sin medidas de protección

Tipo de pérdida	RT
Pérdida de vidas o lesiones permanentes	1,00E-05
Pérdida de servicio público	1,00E-03
Pérdida de patrimonio Cultural	1,00E-03

Tabla 3. Riesgo tolerable RT (NTC 4552-2)

Como se aprecia en los resultados de la tabla 2 comparados con la tabla 3, el riesgo de pérdidas de vidas humanas y económicas en la estructura es superior al riesgo tolerable (R1>RT) por lo que es necesario adoptar las siguientes medidas mínimas:

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

MEDIDAS RECOMENDADAS PARA EL TRATAMIENTO DEL APANTALLAMIENTO DE ACUERDO AL RIESGO CALCULADO		
MEDIDAS TOMADAS FRENTE A LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO	AISLAMIENTO ELÉCTRICO PARA BAJANTES EXPUESTAS	SI
	EQUIPOTENCIALIZACIÓN EFECTIVA A NIVEL DEL SUELO	SI
	AVISOS DE ADVERTENCIA	NO
	REFUERZOS ESTRUCTURALES COMO BAJANTES O RESTRICCIONES FÍSICAS	NO
PROTECCION EXTERNA	SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERIOR NIVEL IV	SI
PROTECCION INTERNA	SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	SI
TIPO DE CABLEADO INTERNO	SIN APANTALLAMIENTO Y SIN LAZOS INDUCTIVOS	SI
TIPO DE CANALIZACIÓN	METÁLICA PUESTA A TIERRA	SI
EQUIPOTENCIALIZACIÓN EN EL SISTEMA	SISTEMA DEBIDAMENTE EQUIPOTENCUALIZADO	SI
MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA	EXTINTORES, ALARMA AUTOMÁTICA O	SI
REDUCIR LAS CONSECUENCIAS POR FUEGO	MANUAL,HIDRANTES Y RUTAS DE EVACUACIÓN	SI

Tabla 4. Medidas para mitigar el riesgo

El radio de la esfera rodante depende del nivel de protección adoptado según la evaluación del nivel de riesgo y se estima aplicando la expresión propuesta en la tesis doctoral Vargas, M "Nuevo Modelo Integral Del Canal De La Descarga Eléctrica Atmosférica Y Su Enlace Con Estructuras En Tierra" cuya expresión es la siguiente.

$$S=3{,}9(i_p)^{0.78}\ [m]$$

S: Distancia de impacto para terreno plano (sin estructura)

En donde, la i_p es la corriente pico mínima en la zona tropical citada en la tabla 6 para cada nivel de protección en la NTC 4552 - 1. Para el caso en estudio la distancia de impacto para terreno plano o radio de la esfera rodante es de 55 m, a partir de un corriente pico de impacto de 30kA, cualquier corriente igual o superior, será interceptada por el SPE. Estos parámetros del rayo de acuerdo a la Norma NTC 4552 – 1, tienen una probabilidad del 97% de ser superados.
Con estas medidas, los nuevos niveles de riesgo son:

EVALUACIÓN DE RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN				
		OFICINAS	OFICINAS	OFICINAS
RIESGO	RIESGO TOLERABLE (RT)	IMPACTO DIRECTO (RD)	IMPACTO INDIRECTO (RI)	RIESGO CALCULADO (R)
PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS	1,00E-05	2,17E-07	4,91E-06	5,13E-06
PÉRDIDAS DE SERVICIOS PÚBLICOS	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PÉRDIDAS EN PATRIMONIO CULTURAL	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PÉRDIDAS ECONÓMICAS	1.00E-03	2,05E-05	5,11E-04	5,32E-04

Tabla 5. Evaluación del riesgo utilizando las medidas de protección

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

3.1. RECOMENDACIONES PARA MITIGAR EL RIESGO CALCULADO

Con el fin de disminuir aún más el riesgo por pérdidas de vidas humanas y el riesgo de pérdidas económicas, es conveniente implementar medidas de protección con el fin de disminuir la probabilidad de impacto en la estructura y de esta forma mitigar los daños que se presentan en esta.
Teniendo en cuenta las características de evaluación de riesgo para la cancha polideportiva del municipio de Jardín– Choco y los resultados obtenidos, las siguientes son las medidas de protección recomendadas para mejorar y controlar el riesgo.

3.1.1. SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO CONTRA RAYOS

Instalar un sistema de protección externa contra rayos **(apantallamiento)** con nivel de protección **IV.** Este sistema debe contar con las especificaciones de materiales indicados en el reglamento técnico de instalaciones eléctricos (RETIE) y se deben tener presente las recomendaciones expresadas en la Norma Técnica Colombiana (NTC 4552 1-2-3).

3.1.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERIOR

Instalar Dispositivos de protección contra sobretensiones debidamente coordinados, tanto en el gabinete principal, como en la entrada de servicios, además, instalar dispositivos de protección fina contra sobretensiones en los gabinetes o tableros donde se alimentan los equipos de electrónicos y de telecomunicaciones.

3.1.3. SISTEMA CONTRA INCENDIOS

Para mitigar el riesgo que presenta la estructura frente a posibles conatos de incendio, se recomienda instalar sistemas de alarmas y sistemas manuales de extinción de incendio como extintores manuales siguiendo las indicaciones del capítulo V artículo 29.4 del RETIE.

3.1.4. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

El sistema de puesta a tierra de la instalación debe cumplir con todos los requisitos del artículo 15 (Puesta a Tierra) del RETIE.

4. MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD

Se realizó una medida de resistividad del terreno a través del método de los cuatro puntos con un equipo marca **METREL MI 3123**, este método consiste en medir la resistencia mutua entre dos electrodos de potencial y dos electrodos de corriente; estos últimos se encuentran conectados a una fuente de corriente de unos pocos miliamperios con una forma de onda cuadrada a una frecuencia de 128 Hz; los electrodos se localizan a suficiente distancia unos de otros en una línea recta. Existen muchas variaciones a este método, pero el que más presión suministra es el método de Wenner.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com



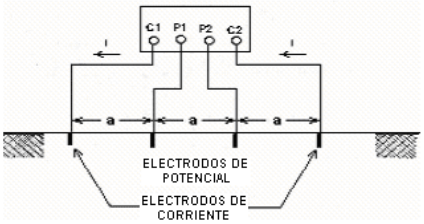

DISTANCIA (m)	RUTA 1
1	
2	
4	
6	

4.1. MÉTODO DE WENNER

Es ampliamente reconocido que el método de cuatro electrodos o de Wenner es la técnica más usada para esta medición; además, es la metodología sugerida por el RETIE. Consiste en cuatro electrodos de prueba dispuestos de manera rectilínea como en la Gráfica 1, con distancias de separación iguales a, y enterrados una profundidad igual. La tensión entre los dos electrodos internos (de potencial) se mide y se divide entre la

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

corriente que circula por los dos electrodos externos (de corriente) para dar un valor de resistencia R, que es el que se lee en el telurómetro.



Gráfica 1. Método de Wenner

La ecuación exacta para el cálculo de la resistividad a partir de la lectura es:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

En donde:

ρ : Resistividad aparente del suelo [$\Omega \bullet m$]

a: distancia entre electrodos adyacentes [m]

b: profundidad de enterramiento de los electrodos [m]0

R: resistencia eléctrica medida [Ω], calculada por el equipo de medición como V/I

Cuando la separación entre electrodos *a* es bastante mayor (más de 10 veces) que su profundidad de enterramiento *b*, se obtiene la resistividad según la siguiente expresión:

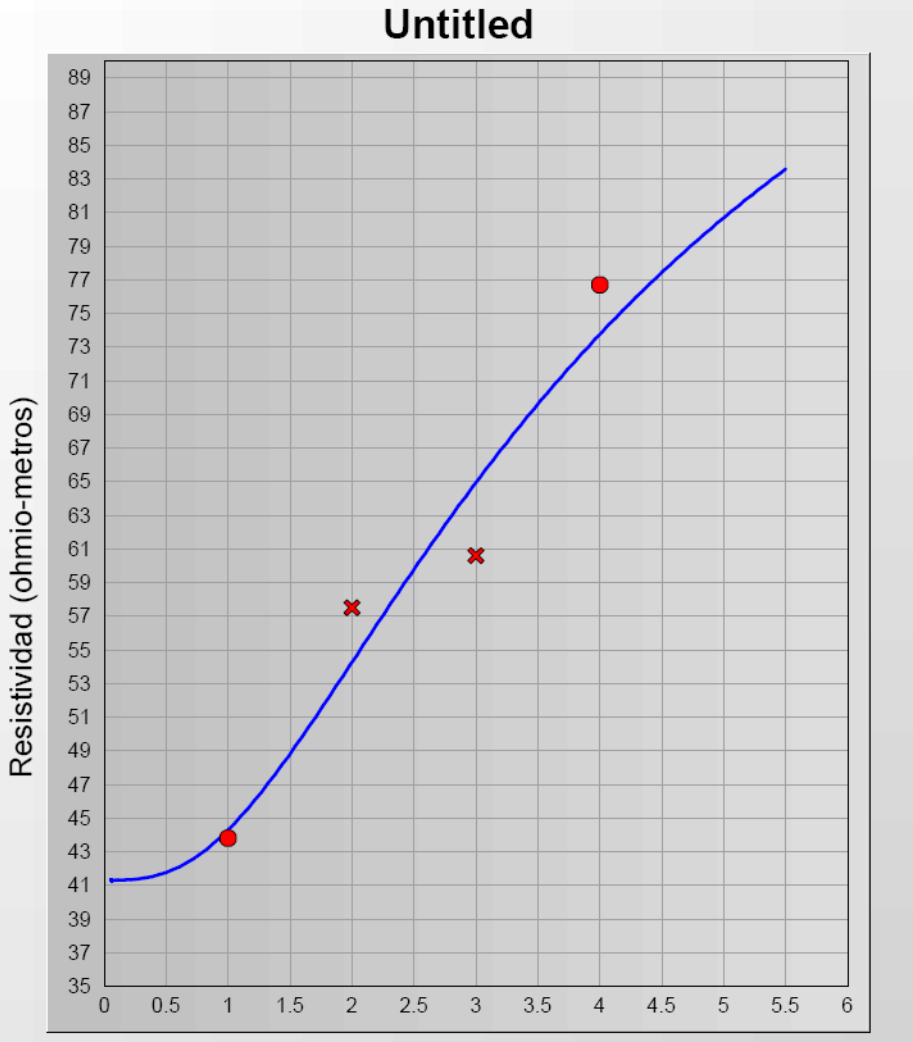
$$\rho = 2\pi a R$$

Un conjunto de medidas realizadas a diferentes espaciamientos nos proporciona una idea de qué modelo del terreno se debe escoger.

MEDIDA DE RESISTIVIDAD		
CANCHA POLIDEPORTIVA I.E SAN ANTONIO		
RESISTENCIA APARENTE MEDIDA [Ohmios]		
DISTANCIA [m]	RUTA 1	PROMEDIO
1	13,0	13,03
2	5,08	5,08
4	1,31	1,31
6	0,84	0,84
RESISTIVIDAD APARENTE		
PROFUNDIDAD	RUTA 1	PROMEDIO
1	81,90	81,90
2	63,80	63,80
4	32,90	32,90
6	31,70	31,70

Tabla 6. Medida de Resistividad

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com



Gráfica 2. Gráfico de Resistividades

4.2. CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA

La aplicación CYMGRD de CYME para el análisis y diseño de puestas a tierra en subestaciones y sistemas de protección externa contra rayos funciona conforme a las normas IEEE 80-2000,81-1983,837-2002.
El CYMGRD trabaja mediante algoritmos que realizan análisis de elementos finitos de conductores, varillas y ensamble de cables que en conjunto con el análisis de los modelos de suelo uniforme o de dos capas obtenidas de mediciones de campo; realizan un cálculo muy aproximado de la resistencia de puesta a tierra, teniendo en cuenta que las propiedades suelo están sujetas a cambios químicos en condiciones climáticas adversas.

Según los valores obtenidos en la medición, al simularlos en el software, el valor de resistencia de puesta a tierra se desarrolla como sigue:

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

Reporte del análisis de suelo

Wednesday, April 06, 2022, 14:19:04

Nombre de la subestación	Untitled
Proyecto	CANCHA POLIDEPORTIVA INSTITUCION EDUCATIVA SAN ANTONIO
Estudio	CANCHA POLIDEPORTIVA INSTITUCION EDUCATIVA SAN ANTONIO

Parámetros

Título	Untitled
Modelo de suelo	Estratificado en 2 capas
Modelo securitario	IEEE Std. 80-2000
Espesor de la capa superficial	0.2 metros
Resistividad de la capa superficial	2500 ohm-m
Duración del choque eléctrico	0.5 secs
Peso corporal	50 kg

Resultados de salida

Espesor de la capa superior	1.28 metros
Resistividad de la capa superior	95.1 ohm-m
Resistividad de la capa inferior	27.09 ohm-m
Tensión máxima de contacto	670.54 voltios
Tensión máxima de paso	2190 voltios
Factor Cs de reducción	0.823313

Valores supuestos

Reporte de análisis de la malla

Wednesday, April 06, 2022, 14:23:07

Nombre de la subestación	Untitled
Proyecto	CANCHA POLIDEPORTIVA INSTITUCION EDUCATIVA SAN ANTONIO
Estudio	CANCHA POLIDEPORTIVA INSTITUCION EDUCATIVA SAN ANTONIO

Parámetros

Spec. Z paralelo equivalente	Z infinito
Frecuencia nominal	60 hz
Nombre de la barra	Desconocido
Corriente de falla LG	1000 amps
Contribución a distancia	100 %
Espesor de la capa superior	1.28 metros
Resistividad de la capa superior	95.1 ohm-m
Resistividad de la capa inferior	27.09 ohm-m

Resultados de salida

Elementos del electrodo primario

X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud	Radio	Corriente	Electrodo
(metros)							(mm)	(amps)	(#)
0	0	0.5	0	0	1.28	0.78	7.9	121.8583	Asy 1
0	0	1.28	0	0	2.9	1.62	7.9	876.8015	Asy 1

Longitud total de las varillas primarias	2.4 metros
Número total de elementos	2
Elevación del potencial de tierra	13750.9 voltios
Resistencia de tierra calculada	13.4181 ohmios
Impedancia equivalente	13.4001 ohmios

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

Reporte de análisis de la malla Wednesday, April 06, 2022, 14:27:35

Nombre de la subestación	Untitled
Proyecto	CANCHA POLIDEPORTIVA INSTITUCION EDUCATIVA SAN ANTONIO
Estudio	CANCHA POLIDEPORTIVA INSTITUCION EDUCATIVA SAN ANTONIO

Parámetros

Spec. Z paralelo equivalente	Z infinito
Frecuencia nominal	60 hz
Nombre de la barra	Desconocido
Corriente de falla LG	1000 amps
Contribución a distancia	100 %
Espesor de la capa superior	1.28 metros
Resistividad de la capa superior	95.1 ohm-m
Resistividad de la capa inferior	27.09 ohm-m

Resultados de salida

Elementos del electrodo primario

X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud	Radio	Corriente	Electrodo
(metros)							(mm)	(amps)	(#)
0	0	0.5	5	0	0.5	5	4.7	219.0551	Asy 1

Longitud total de los conductores primarios 5 metros

0	0	0.5	0	0	1.28	0.78	7.9	39.7217	Asy 1
0	0	1.28	0	0	2.9	1.62	7.9	350.45	Asy 1
5	0	0.5	5	0	1.28	0.78	7.9	39.7219	Asy 2
5	0	1.28	5	0	2.9	1.62	7.9	350.4499	Asy 2

Longitud total de las varillas primarias 4.8 metros

Número total de elementos 5

Elevación del potencial de tierra	6170.05 voltios
Resistencia de tierra calculada	6.01624 ohmios
Impedancia equivalente	6.01262 ohmios

Se realizó el análisis de la medida de resistencia de puesta a tierra esperada, partiendo de las medidas de resistividad tomadas en terreno e ingresadas al software CYMGRD, se hizo el análisis para una sola varilla encontrando que el valor esperado según simulación para ésta configuración es de 13.4181Ω, valor que supera el máximo de referencia para sistemas de puesta a tierra según los requisitos técnicos esenciales contemplados en la tabla 15.4 del RETIE 2013. Por lo anterior realizamos la simulación con un contrapeso por bajante de 5 metros y el resultado para ésta configuración es de 6.01624 Ω, valor que cumple con el requisito mencionado y con el cuál se diseñará el sistema de apantallamiento para éste proyecto.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

Tabla 7. Tabla 15.4 RETIE Valores de referencia para sistemas de puesta a tierra.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA

El apantallamiento permite minimizar los efectos del rayo e incrementar las condiciones de seguridad en las edificaciones ante una descarga atmosférica directa o indirecta. El diseño del sistema de apantallamiento está estructurado de acuerdo a las normas aplicables incluidas las NTC 4552-1-2-3.

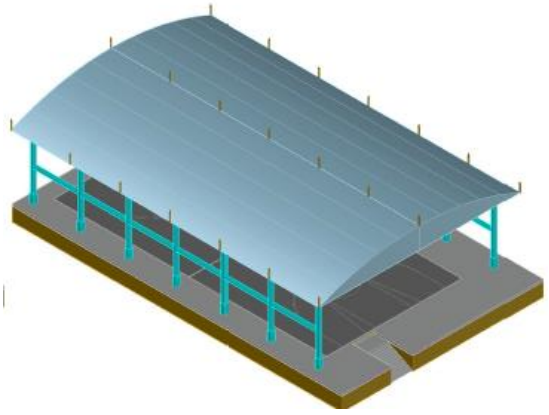
5.1. METODO ELECTROGEOMÉTRICO

El objetivo de este método electro geométrico es determinar el punto de impacto de una descarga teniendo en cuenta su intensidad máxima de corriente y la localización del canal de esta descarga, que se supone tiene una trayectoria vertical.
Al acercarse una descarga a tierra hay un momento en que se supera la rigidez dieléctrica del aire y se produce el salto hacia el objeto más cercano, que puede ser un árbol, una línea o la misma tierra. La distancia de ruptura, o distancia a la que salta el arco, depende de la magnitud de la corriente de la descarga.
Para determinar gráficamente la altura mínima de los elementos de captación, se trazan superficies del contorno de paso de la esfera rodante y estos no deben tocar la estructura. El radio de la esfera se determina con los cálculos en la evaluación del riesgo 4552-2.

Criterio de interceptación			NPR			
	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente pico mínima	I	KA	17	21	26	30
Radio esfera rodante	R	m	35	40	50	55

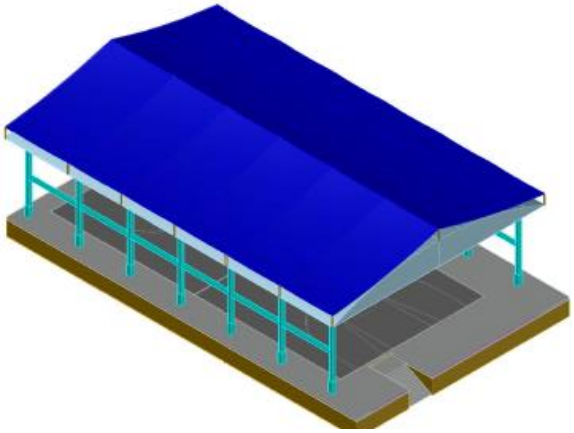
Tabla 8. Valores mínimos de parámetros del rayo relativos al radio de la esfera rodante correspondiente a cada nivel de riesgo.

Para la CANCHA POLIDEPORTIVA I.E SAN ANTONIO, la distancia de impacto para terreno plano o radio de la esfera rodante es de 55, a partir de un corriente pico de impacto de **30kA**, cualquier corriente igual o superior, será interceptada por el sistema de apantallamiento externo SPE.
La distribución del sistema de protección externo al igual que la comprobación del método de la esfera rodante, podrán observarse en las siguientes gráficas, resaltando que toda estructura que se encuentre debajo de un contorno de protección se encontrará correctamente protegida ante impacto directos de las descargas atmosféricas.

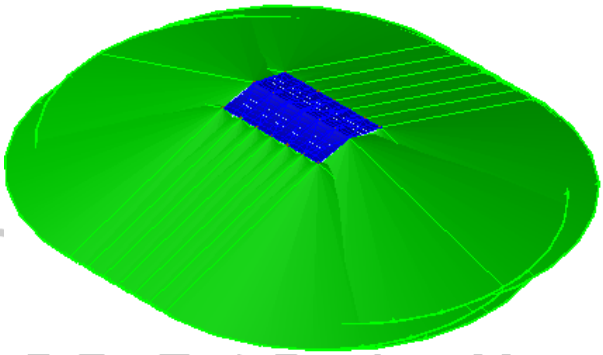


Gráfica 4. Isométrico con puntas (no están a escala)

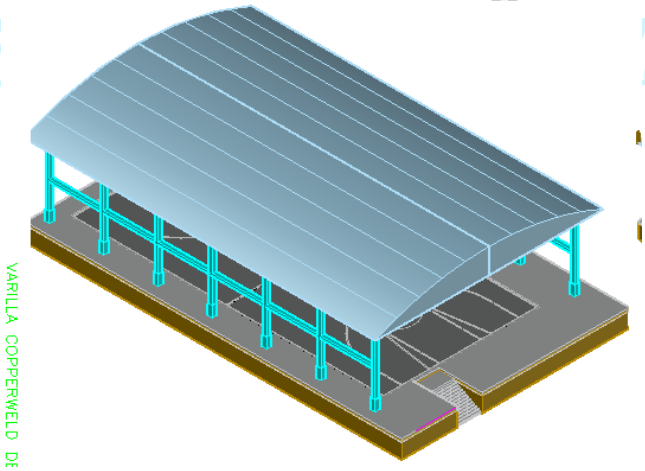
G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com



Gráfica 5. Efecto apantallador de puntas con esfera rodante



Gráfica 6. Efecto apantallador con espacio circundante



Gráfica 7. Vista isométrica del espacio a apantallar.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

5.2 ELEMENTOS DE CAPTACIÓN

El sistema de captación es el encargado de interceptar los rayos que vayan a impactar directamente a la estructura y enviar la corriente de rayo por las bajantes de la edificación y drenar a tierra las corrientes no deseadas.

La probabilidad de que una estructura sea penetrada por una corriente de rayo decrece considerablemente por la presencia de un sistema de captación diseñado adecuadamente.

- ✓ El sistema de captación para la normal superior está compuesto por la combinación de puntas captadoras tipo franklin y conductor expuesto.
- ✓ Las puntas de captación deben estar conectadas entre ellas a nivel piso (ya que no hay estructura de soporte para simular un anillo equipotencial superior en aluminio), para asegurar la división de corrientes, mediante un cable de cobre desnudo expuesto.
- ✓ No se pueden utilizar terminales de captación con elementos radiactivos.

De acuerdo al RETIE, se considera que el comportamiento de todo terminal de captación debe tomarse como el de un terminal tipo Franklin.

Cualquier elemento metálico de la estructura que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, techos, torres de comunicación y cualquier tubería que sobresalga, siempre y cuando se garantice su capacidad de conducción y continuidad eléctrica. En la Tabla 8 y 9 tomadas de la NTC 4552 -3, se presentan las características que deben cumplir los terminales de captación construidos especialmente para este fin o aquellos componentes naturales (las que hacen parte de la estructura y se pueden considerar como elemento de captación).

Clase de SIPRA	Material	Espesor [a] (mm)	Espesor [b] (mm)
I a IV	Plomo	-	2,0
	Acero (inoxidable galvanizado)	4	0,5
	Titanio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Aluminio	7	0,65
	Zinc	-	0,7
[a] previene perforaciones, puntos calientes o ignición.			
[b] sólo para láminas metálicas si no es importante prevenir perforaciones, puntos calientes o ignición.			

Tabla 9. Mínimo espesor para cobertizos metálicos o tuberías metálicas en sistemas de captación

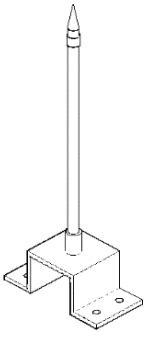


Gráfico 8. Fijación puntas captadoras.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

MATERIAL	CONFIGURACION	AREA MINIMA 1) (mm^2)	DIAMETROS Y ESPESORES MINIMOS 2)
Cobre	Cinta sólida	50	2 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Aluminio o Aluminio recubierto de cobre	Cinta sólida	70	3 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
Aleación de Aluminio 6201	Cinta sólida	50	2,5 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Acero galvanizado en caliente o acero recubierto de cobre	Cinta sólida	50	2,5 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro Espesor de la capa: 50 µm.
Acero inoxidable	Cinta sólida	50	2,5 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	70	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Bronce	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Tubo	50	4 mm de grosor
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Si aspectos térmicos y mecánicos son importantes, estas dimensiones se pueden aumentar a 60 mm2 para cinta sólida y a 78 mm2 para alambre. En las dimensiones de grosor, ancho y diámetro se admite una tolerancia de ±10 %. No se deben utilizar terminales de captación o pararrayos con elementos radiactivos.			

Tabla 10. Características que deben cumplir los terminales de captación

5.3 ELEMENTOS CONDUCTORES DE LA DESCARGA A TIERRA (BAJANTES):

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

- ✓ Existencia de varios caminos paralelos para la corriente, al menos dos y con la mínima longitud para los caminos de corriente.
- ✓ Cada una de las bajantes debe terminar en un electrodo de puesta a tierra.
- ✓ Estar separadas un mínimo de 5 m y siempre buscando que se localicen en las partes externas de la edificación.
- ✓ Adicionalmente se debe cumplir que, si una parte conductora que conforma el sistema de puesta a tierra está a menos de 1,8 m de una bajante de pararrayos, debe ser unida a ella. En el caso de los edificios altos, se requieren anillos equipotenciales para protección contra rayos.
- ✓ La equipotencialización a partes conductoras de la estructura esté hecha de acuerdo con los requisitos del numeral 6.2 de la NTC 4552-3.
- ✓ Una buena práctica de construcción es realizar conexiones laterales de las bajantes cada 10 m o 20 m de separación de acuerdo con la Tabla 12.

Las bajantes deben distribuirse simétricamente alrededor de la estructura a proteger, ubicadas en la parte exterior de ésta y distanciadas entre sí de acuerdo con la Tabla 10 con el fin de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo. Su separación puede variar dependiendo de objetos que puedan interferir con su recorrido, como ventanas, puertas, rejillas etc.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

La longitud de las bajantes debe ser la menor posible, evitando la formación de lazos o curvaturas en su trayectoria y en el caso que éstas últimas sean inevitables, su ángulo interior no debe ser menor a 90º y su radio de curvatura no menor a 200 mm.

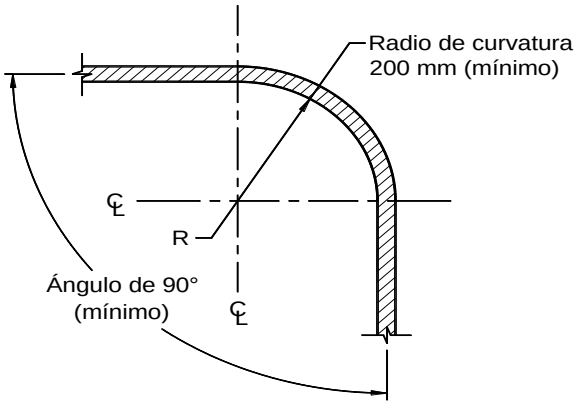


Gráfico 9. Radio de curvatura para bajantes.

Las siguientes partes de la estructura pueden ser consideradas como conductores bajantes naturales:

- ✓ Elementos metálicos que garanticen que la continuidad eléctrica entre sus partes sea durable (ejemplo: soldadura, grapas o abrazaderas metálicas, atornilladas, etc.)
- ✓ El acero del concreto reforzado, siempre y cuando se garantice una unión sólida entre todas las interconexiones y que se garantice que los esfuerzos mecánicos que se ejerzan por las corrientes de rayo no provoquen ruptura del concreto.

El sistema de protección externa estará conformado por:

- ✓ Puntas Captadoras: Su función es la de interceptar los rayos que podrían impactar directamente en la estructura que se desea proteger.
- ✓ Anillo equipotencializador: interconecta las puntas y/o los bajantes, para distribuir la corriente captada, mostrado con más detalle en el plano adjunto.
- ✓ Bajantes: son las encargadas de conducir las corrientes de rayo entre el anillo equipotencializador y la puesta a tierra de protección contra rayos (PTPR). Nota: en caso de instalarse expuesta se debe añadir en un lugar visible un letrero de advertencia con peligro bajante de apantallamiento no tocar.
- ✓ Puesta a tierra: es la que se encarga de disipar la corriente de rayo captada y conducida por el resto del sistema.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

6. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

- Para las conexiones se debe emplear soldadura exotérmica o conectores que cumplan con las recomendaciones de la norma NTC 4628 o la IEEE 837.

- "Cada bajante debe terminar en un electrodo de puesta a tierra localizado lo más cercano posible a la fachada, preferiblemente a una distancia de 50 cm desde el borde de la pared o estructura que soporta la bajante", (Tomado de la NTC 4552).

- La malla de puesta a tierra del sistema de apantallamiento externo se debe unir con el sistema de puesta a tierra principal de la edificación, para equipotencializar ambos sistemas; también se recomienda, de ser posible, unir la malla a la estructura del edificio para lograr así un mejor efecto apantallador.

- "Los conductos, encerramientos, estructuras y otras partes metálicas de equipos eléctricos no portadores de corriente, se deben mantener alejados como mínimo a 1.80 m de los conductores de las bajantes de los pararrayos; cuando la distancia a los conductores de las bajantes sea menor a 1.80 m, se deben conectar equipotencialmente a dichas bajantes", (Tomado de la NTC 2050).

- "Cualquier elemento metálico de la edificación que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, torres de comunicación y cualquier antena o tubería que sobresalga debe ser tratado como un terminal de captación", (Tomado del RETIE).

- El sistema de protección contra rayos debe ser acorde con el plano de construcción adjunto.

- Los elementos metálicos principales que actúan como refuerzo estructural de la edificación deben tener una conexión eléctrica permanente con el sistema de puesta a tierra general.

- El radio de curvatura de una bajante no debe ser inferior a 20 cm, ni formar un ángulo menor de 90°, según normas NFPA 780 y UL96A.

- Las bajantes serán instaladas en tubería metálica galvanizada de 3 / 4" si son expuestas.

- Se recomienda para los electrodos tipo varilla, emplear los de cobre sólido, manteniendo las dimensiones antes mencionadas; este electrodo debe estar identificado con marca registrada del fabricante y sus dimensiones; esto debe hacerse dentro los primeros 30 cm desde la parte superior.

- El cableado de la puesta a tierra debe ser en cable de cobre desnudo calibre 1/0 AWG. El cableado y los electrodos, se deben ubicar a una profundidad de 0.5 m, medidos a partir de la superficie del suelo.

- Las uniones en la puesta a tierra se deben realizar con soldadura exotérmica o conectores de acuerdo a la norma NTC 4628 y/o IEEE 837.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

- En cumplimento de lo establecido por RETIE, todos los sistemas de puesta a tierra de la edificación deben quedar interconectados, estas conexiones deben quedar en cable de cobre desnudo 1/0 AWG o mayor. El diseño de los otros sistemas debe contemplar un análisis técnico que garantice las condiciones de seguridad en dichos sistemas

- Es necesario instalar protecciones contra las sobretensiones que puedan ocurrir (supresores tipo I y II), debido a descargas atmosféricas en los alrededores de las edificaciones o sobre el sistema de apantallamiento externo de las estructuras. Esto con el fin de proteger los equipos sensibles y así lograr una protección integral.

- El supresor clase I se debe instalar después del dispositivo de desconexión general (totalizador), el supresor o supresores clase II se deben instalar inmediatamente antes de ingresar a los tableros de distribución que alimentan cargas sensibles y los supresores clase III, se recomienda colocar como protecciones individuales de equipos sensibles y de líneas telefónicas que ingresan a la edificación.

- Todos los supresores de sobretensión deben tener conexión a tierra.

- Para minimizar los efectos que puedan causar diferencias de potencial ocasionadas por una descarga, las instalaciones metálicas deben estar a un mismo potencial mediante conexión a un barraje equipotencializador (BE), que debe ser conectado al sistema de puesta a tierra.

- Todas las partes metálicas no portadoras de corriente como ductos de agua, ductos de gas, canastillas, sistemas eléctricos, etc., se deben conectar a un mismo potencial mediante un barraje equipotencializador (BE), para disminuir las consecuencias de un rayo, debidas a las grandes diferencias de potencial en la instalación de puesta a tierra. Todas las bajantes deben terminar en el BE y solamente éste debe estar conectado al sistema de puesta a tierra.

- Es importante tomar precauciones a la hora de conectar materiales distintos sin los conectores adecuados, ya que se puede presentar corrosión, acelerando el deterioro de alguno de los materiales.

Notas Adicionales

- “El cambio del diseño de la puesta a tierra o distribución de los elementos de captación no es responsabilidad del diseñador”

- En el estudio de la protección contra descargas atmosféricas es muy importante recalcar el carácter PROBABILÍSTICO de estas, debido al comportamiento aleatorio que posee la ocurrencia del fenómeno, es por ello que todas las normas, en mayor o menor grado, aceptan que no existe una protección absoluta contra el efecto de las tormentas eléctricas, sino sólo una protección adecuada, basada en el conocimiento del comportamiento estocástico del rayo y la experiencia obtenida a través de los años.

- En algunas normas como la BS 6651: 1992 British Standard, IEC 61024-1 (1990) International Electrotechnical Commission, API 2003 (1998) American Petroleum Institute; enuncian que, sin lugar

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

a dudas, no existen medios para evitar las descargas atmosféricas, pero existen 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 consecuencias de una descarga eléctrica atmosférica.

"Un sistema de protección contra rayo, diseñado e instalado conforme a esta norma, no puede garantizar una protección absoluta a estructuras, personas u objetos; sin embargo, el riesgo de daño causado por rayo a estructuras protegidas será reducido significativamente mediante la aplicación de la misma".

7. CANTIDADES DE OBRA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	**TERMINALES DE CAPTACIÓN Y ANILLO EQUIPOTENCIALIZADOR**		
1.1	Punta captadora 16mmx30 cm Aluminio con Base REF 101/ALU600-DX marca OBO BETTERMANN o equivalente	UN	21
1.2	Conductor solido (Alambrón) para captación en anillo Superior de 8mm de diámetro REF RD8/ALU-T marca OBO BETTERMANN o equivalente, Cable cubierto 1/0 al-serie 8000.	m	141
1.3	Soporte plástico tipo clip para conductor sólido REF 177/55-DIN marca OBO BETTERMANN o equivalente	UN	141
1.4	Base para soporte tipo clic marca OBO BETTERMANN o equivalente.	UN	141
1.5	Cartucho x 300 ml de adhesivo elástico universal de base química de polímero marca Weicon o equivalente.	UN	3
2	**BAJANTES Y PUESTA A TIERRA**		
2.1	Varilla Cu 5/8" x 2.4m	UN	6
2.2	Tubería PVC 3/4"	ML	60
2.3	Cable Cu No. 1/0 AWG desnudo	m	48
2.4	Soldadura exotérmica 90 gr. (cable-varilla)	UN	14
2.5	Caja de inspección de medida interna mínima de 30x30cm según RETIE.	UN	2
2.6	Conector bimetálico OB1010	UN	6
2.7	Caja de empalme para transición AL-Cu, Caja Plástica PVC 15x15x10cm con tapa lisa.	UN	6
2.8	Brecha entre varillas de puesta a tierra.	ML	35

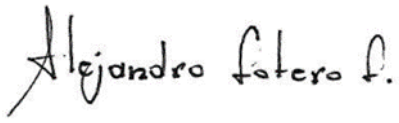
Tabla 11. Cuadro de cantidades de obra.

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com

8. REFERENCIAS

- Software IEC Risk Assessment calculator version 1.0.3. Acorde con la IEC 62305 -2.
- IEEE 80 Std.2000 IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- Norma técnica colombiana PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS NTC 4552-1-2-3.
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2008.
- Código eléctrico colombiano. NTC 2050 Primera actualización.
- IEC 62305 Protection against lightning.
- "Fundamentos e ingeniería de las puestas a tierra. Respuestas ante Fallas eléctricas y Rayos".

Ingeniero Responsable:



ALEJANDRO LOTERO L.
Ingeniero Electricista
MP AN205-61434

G&L Ingeniería Especializadas S.A.S.
Dirección: Calle 48C # 77-11
Medellín, Antioquia
Tel: (57 4) 5901872
Email: gylelectrica@gmail.com