



**ALCALDIA MAYOR  
BOGOTA D.C.**

**Instituto  
DESARROLLO URBANO**

**“ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y  
LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL,  
EN BOGOTÁ D.C.”**

**CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1630 DE 2020**

**ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.**

**INF-RSG--CASC-187-21**

**MOVILIDAD**

**Informe Etapa de Diseños  
Componente Redes Secas**

**Informe Sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones  
Estación 20 de Julio**

**CONSORCIO CS**



**CONSORCIO CS**

**Cal y Mayor**  
Colombia S.A.S.



**Supering**  
Supervisión e Ingeniería de Proyectos

**BOGOTÁ, enero 25 de 2022**

 <p><b>ALCALDIA MAYOR BOGOTA D.C.</b> Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p><b>CONSORCIO CS</b> Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
--	--	--

## PRODUCTO DOCUMENTAL

INF-RSG--CASC-187-21

### Informe Etapa Diseño Componente Redes Secas Informe Sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones Estación 20 de Julio

#### CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 00	04/01/2022	Versión inicial	13
Versión 01	25/01/2022	Versión 01 – Respuesta observaciones interventoría	15

#### EMPRESA CONTRATISTA

VALIDADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Ing. Juan Carlos Echeverry Especialista Redes Secas	Ing. Alexander Uribe Especialista Redes Secas	Ing. Mario Ernesto Vacca G. Director de Consultoría

REVISADO POR:	AVALADO POR:	APROBADO POR:
Ing. José Norberto Velandia Especialista en redes eléctricas, gas, teléfono, fibra óptica	Ing. Wilmer Alexander Rozo Coordinador de Interventoría	Ing. Oscar Andrés Rico Gómez Director de Interventoría

 <p><b>ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C.</b> Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p><b>CONSORCIO CS</b> Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering Ingeniería y Proyectos</p>
--	--	---

## Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
2	LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	5
3	NORMATIVIDAD APLICADA .....	6
4	MEMORIA DE CALCULO.....	6
4.1	ANÁLISIS DE NIVEL DE PROTECCIÓN .....	6
4.2	SISTEMA DE CAPTACION .....	9
4.3	METODO DE LA ESFERA RODANTE.....	9
4.4	SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES .....	11
4.5	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	12
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	15

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Clase del SIPRA .....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 3. Calculo resistencia malla de puesta a tierra.....</i>	<i>14</i>

## Tabla de figuras

<i>Figura - 1 – Localización general del proyecto.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura - 2 – Resultados Análisis de nivel de riesgo por rayos.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura - 3 – Análisis de nivel de riesgo por rayos .....</i>	<i>8</i>
<i>Figura - 4 – Utilización del método de la esfera rodante.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura - 5 – Área de protección mediante el método de la esfera rodante .....</i>	<i>11</i>

 <p><b>ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C.</b> Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p><b>CONSORCIO CS</b> Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering Ingeniería y Proyectos</p>
--	--	---

## 1 INTRODUCCIÓN

Este documento contiene el informe Sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones Estación 20 de Julio como parte de la etapa de diseños del contrato “Actualización, Ajustes y Complementación de la Factibilidad y Estudios y Diseños del Cable Aéreo en San Cristóbal, En Bogotá D.C.”.

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

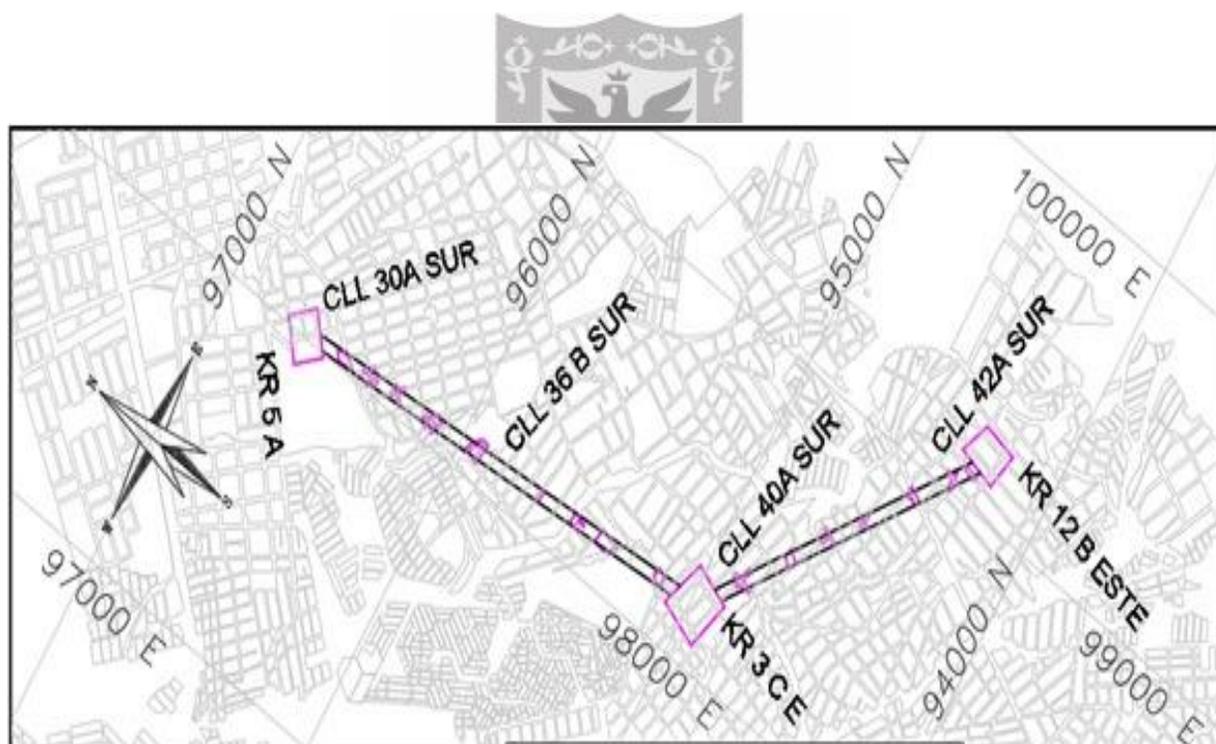
- Diseñar el Sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones para la estación 20 de Julio de la futura línea del Cable Aéreo San Cristóbal, ubicado en la cubierta de la estación.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la protección externa de la estación 20 de Julio con el objetivo de interceptar los impactos directos de rayo que se dirijan a la estructura, incluyendo aquellos que impacten al costado de ésta, para conducir de manera segura la corriente de rayo desde el punto de impacto a tierra.
- Realizar análisis que permitan que el SIPRA disperse la corriente a tierra sin causar daños térmicos o mecánicos ni chispas peligrosas que puedan dar inicio a incendios o explosiones.
- Diseñar la protección externa de la estación 20 de Julio que se compone por tres partes fundamentales: el sistema de captación, los conductores bajantes y el sistema de puesta a tierra.

## 2 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto del Cable San Cristóbal se desarrolla en la localidad de San Cristóbal, el cual contemplan dos tramos. El primer tramo inicia desde la estación 20 de Julio ubicada en la Calle 30A sur con carrera quinta y finaliza en la estación motriz ubicada en el barrio la Victoria entre las calles 40 y 41 Sur, y carreras 3A Este y 3C Este. El segundo tramo inicia en la estación motriz y finaliza en la estación retorno, ubicada en el barrio la Altamira en la calle 42B sur y 43A sur, entre las carreras 12A y 12B este.



*Figura - 1 – Localización general del proyecto*

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

### 3 NORMATIVIDAD APLICADA

- NTC 2050 “Norma Técnica Colombiana”
- Normas ENEL-CODENSA.
- RETIE “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas”
- Norma técnica Colombiana NTC 4552 de protección contra rayos
- NFPA 780

### 4 MEMORIA DE CALCULO



#### 4.1 ANALISIS DE NIVEL DE PROTECCION

Las características del sistema de protección usado dependen de las características de la estructura a proteger, basado en la NTC 4552- 1 están definidos cuatro niveles de protección contra rayos.

Se realiza el análisis para la verificación de requerimiento de sistema contra descargas atmosféricas con el software RISK, donde se verifica el nivel requerido, en este caso nivel IV y se procede al diseño con el método de la esfera rodante.

Nivel de protección contra rayos	Clase del SIPRA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

*Tabla 1. Clase del SIPRA*

Fuente – Tabla 1 Clase de SIPRA NTC 4552

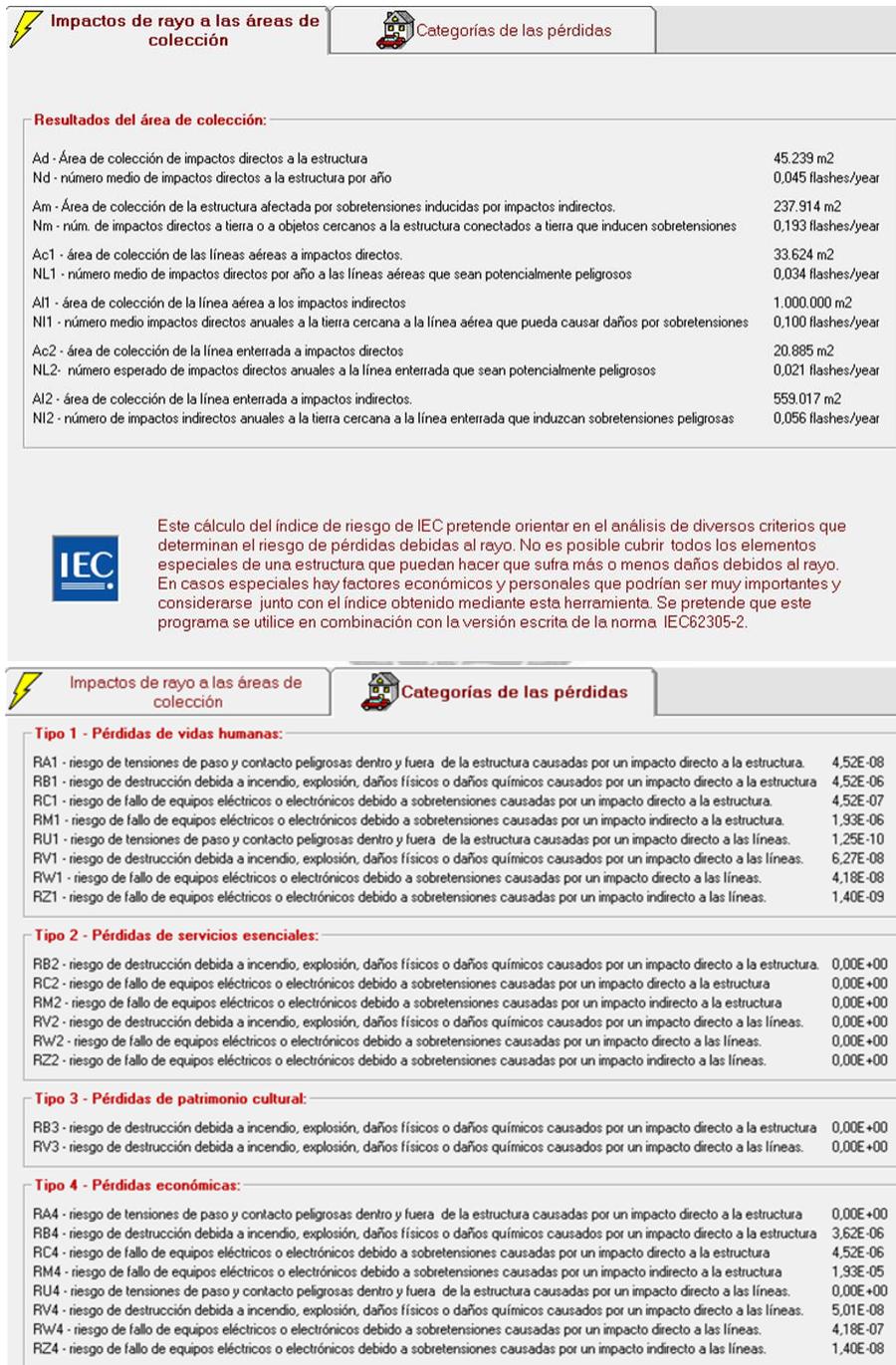


Figura - 2 – Resultados Análisis de nivel de riesgo por rayos

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS con software RISK

**Dimensiones de la estructura:**

Longitud de la estructura (m): 46  
 Anchura de la estructura (m): 34  
 Altura del plano del tejado (m)\*: 22  
 Altura del mayor saliente del tejado (m)\*: 40  
 \* Medido desde la tierra  
 Área de colección (m2): 45.239 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: Estructura aislada  
 Factor ambiental: Urbano  
 Nº de días de tormenta: 10 days/year  
 Densidad anual equivalente de rayos: 1,0 flashes/km2  
 Ver mapa isocerámico: Ver Mapa

**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: 0  
 Tipo de cable externo: No apantallado

**Medidas de protección:**

Clase de SPCR: Nivel IV  
 Protección contra incendios: Sistemas automáticos  
 Protección contra sobretensiones: Sólo en entrada de servicios

**Tipos de las pérdidas:**

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

Riesgos especiales para la vida: Riesgo de pánico medio  
 Por incendios: Comercios, colegios, ...  
 Por sobretensiones: Hay sist. de seguridad críticos

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

Por incendios: No hay servicios esencial  
 Por sobretensiones: No hay servicios esencial

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

Por incendios: Sin valor histórico

**Tipo 4 - Pérdidas económicas:**

Riesgos económicos especiales: Sin riesgos especiales  
 Por incendios: Propiedad pública  
 Por sobretensiones: Otras estructuras  
 Por tensión de paso/contacto: Sin riesgo de schock  
 Riesgo tolerable de pérd. económ.: 1 en 100 años

**Riesgos calculados:**

	Riesgo calculado (Pa)		Riesgo imp. directo (Pa)		Riesgo imp. indirecto (Pa)		Riesgo calculado (Pa)
Pérdidas de vidas humanas:	1,00E-05	=>	5,02E-06	+	2,03E-06	=	7,05E-06
Pérdidas de serv. públicos:	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-02	=>	8,14E-06	+	1,97E-05	=	2,79E-05

**IEC**

Este cálculo del índice de riesgo de IEC pretende orientar en el análisis de diversos criterios que determinan el riesgo de pérdidas debidas al rayo. No es posible cubrir todos los elementos especiales de una estructura que puedan hacer que sufra más o menos daños debidos al rayo. En casos especiales hay factores económicos y personales que podrían ser muy importantes y considerarse junto con el índice obtenido mediante esta herramienta. Se

Cálculos

Project: ESTACION 20 DE JULIO | Tooltips: ON | Database: v1.0.31 | Map: SPANISH | 28/10/2021

## 4.2 SISTEMA DE CAPTACION

Para el SIPRA de la estación 20 de Julio se diseñaron 12 puntas captadoras de 0.6m que permiten interceptar los rayos que vayan a impactar directamente a la estructura y enviar la corriente de rayo por las bajantes de la edificación, de esta forma, la probabilidad de que una estructura sea penetrada por una corriente de rayo decrece considerablemente.

## 4.3 METODO DE LA ESFERA RODANTE

Dependiendo del nivel de protección de acuerdo con la NTC 4552-1 desarrollado en el literal 4.1 el radio de la esfera rodante se define a partir de la siguiente tabla:

Nivel de protección	Radio de la esfera ( $r_{sc}$ ) [m]
Nivel I	35
Nivel II	40
Nivel III	50
Nivel IV	55

Tabla 2. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección

Fuente – Tabla 2 NTC 4552-1

Estos niveles y corrientes están dados para que con el radio escogido de 55 m cualquier corriente igual o superior a la escogida sea interceptada por el sistema de protección externo y no impacte directamente a la estructura.

El posicionamiento de los terminales de captación se ubicaron de manera tal que la esfera escogida por el nivel de protección nunca toque ninguna parte de la estructura, de este modo la esfera siempre estará soportada por algún elemento del sistema de captación.

En el diseño, para determinar gráficamente la altura mínima de la instalación de interceptación, se trazan arcos de circunferencia con radio igual a la distancia de impacto  $r_{sc}$ , entre los objetos a ser protegidos y el sistema de captación, de tal forma que los arcos sean tangentes a la tierra y a los objetos o tangentes entre objetos; cualquier estructura por debajo de los arcos estará protegida por él o los objetos que conformen el arco, y cualquier objeto que sea tocado por el arco estará expuesto a descargas directas, lo cual, puede observarse en los planos de detalle formato DWG anexos.

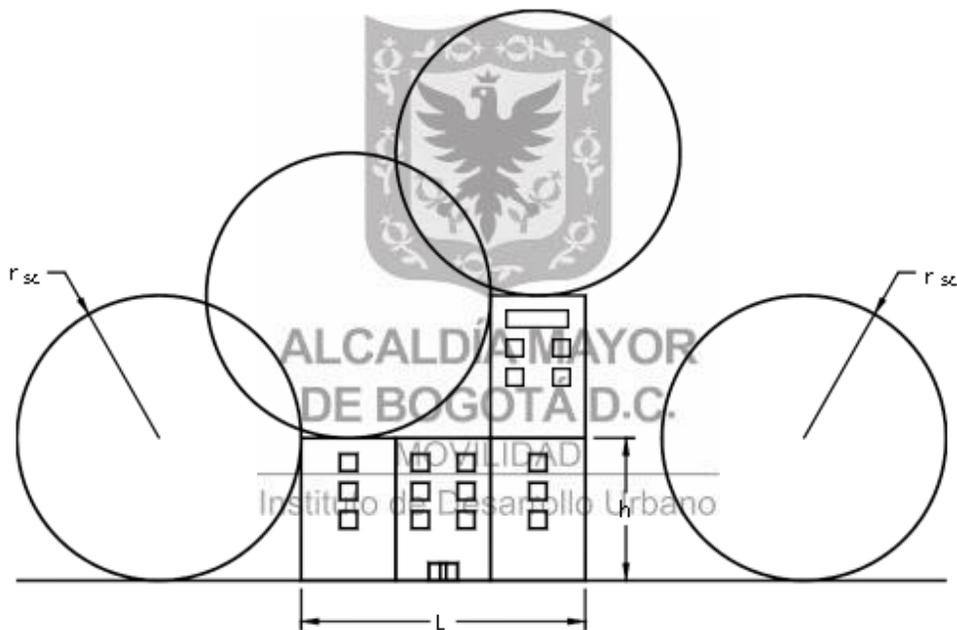
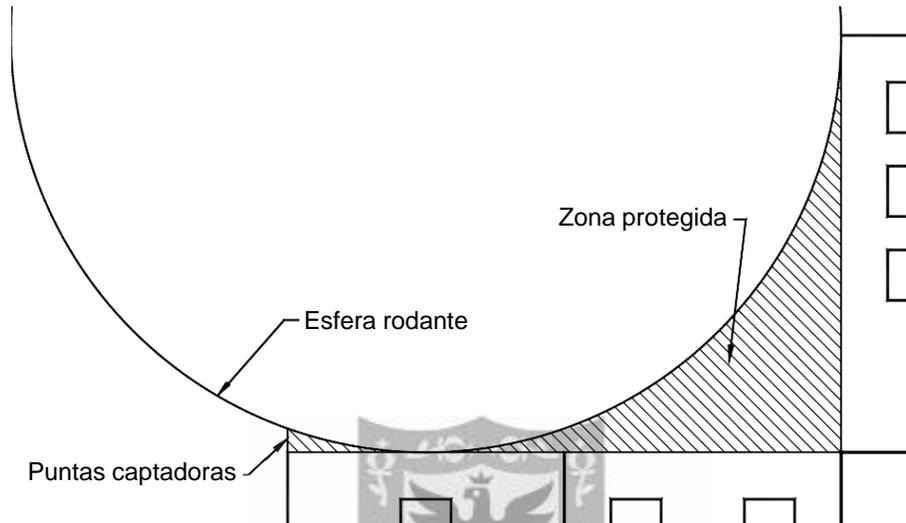


Figura - 4 – Utilización del método de la esfera rodante

Fuente – Figura 1 NTC 4552-1



*Figura - 5 – Área de protección mediante el método de la esfera rodante*

Fuente – Figura 2 NTC 4552-1

#### 4.4 SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES

ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

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

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

Para el sistema de protección externo el número de bajantes no debe ser inferior a 2 y debe estar distribuido por el perímetro de la estructura a proteger, sujeto a restricciones prácticas y arquitectónicas.

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTA D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering Ingeniería y Proyectos</p>
---	--	--

Las 6 bajantes se distribuyeron alrededor de la estructura a proteger, y distanciadas entre sí con el fin de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo.

#### 4.5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra se diseñó para dispersar y disipar la corriente de rayo que viene por las bajantes reduciendo al mismo tiempo el peligro de tener tensiones de paso y de contacto peligrosas.

##### Configuración Tipo B

Para el diseño de la puesta a tierra del SIPRA se usó la configuración tipo B que consiste en un anillo conductor inferior externo a la estructura y en contacto con el suelo en cable de cobre calibre 2/0 AWG.

El sistema de puesta a tierra de la protección contra rayos se encuentra equipotencializado con el sistema de puesta a tierra de la subestación de la estación por medio de uniones que garantizan la equipotencialidad en todas las condiciones de operación, lo cual sumado a la RPT de la subestación mejorara el valor de resistencia de puesta a tierra del sistema general, cumpliendo con lo exigido por la norma técnica vigente.

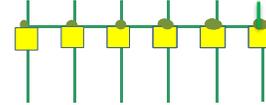
A continuación, se presenta el calculo de malla para puesta a tierra del sistema de protección contra rayos (SIPRA).

**CALCULO DE MALLA (GRID) PARA PUESTA A TIERRA**

**IDENTIFICACIÓN PROYECTO: ESTACION 20 DE JULIO SIPRA**

**INFORMACION BASICA Y VALORES PROPUESTOS**

	Unidad de medida	Símbolo		Valor
Resistividad del terreno	$\Omega.m$	$\rho$	=	55,76
Corriente de falla	kA	$I_f$	=	3,5
Tiempo de despeje de falla	ms	$t_{df}$	=	150
Número de varillas		nv	=	4
Calibre del conductor	AWG	Nº	=	2/0
Diámetro del conductor de Malla de PT	mm	d	=	10,630
Largo de la Malla	m	A	=	29,5
Ancho de la Malla	m	B	=	49,5
Espaciamento entre conductores	m	D	=	2
Número de conductores de longitud A		m	=	2
Número de conductores de longitud B		n	=	2
Longitud total del conductor de la Malla	m	Lc	=	158
Profundidad de la Malla	m	h	=	0,7



**CALCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA**

**Conductores Longitudinales**

Rádío del conductor de la Malla (m)	mm	r	=	5,315
Factor de espaciamento longitudinal		F	=	1,00
Espaciamento longitudinal equivalente entre conductores	m	E	=	2,00
Resistencia de un conductor longitudinal	$\Omega$	$R_{1cA}$	=	3,34
Resistencia de interferencia para un conductor longitudinal	$\Omega$	$R_{iA}$	=	0,94
Resistencia total de un conductor longitudinal	$\Omega$	$R_{tcA}$	=	4,28
Resistencia de m conductores longitudinales	$\Omega$	$R_{mcA}$	=	2,14

**$R_{PT} = 1,00 \Omega$**

**Conductores Transversales**

Factor de espaciamento transversal		F	=	1,00
Espaciamento transversal equivalente entre conductores	m	E	=	2,00
Resistencia de un conductor transversal	$\Omega$	$R_{1cB}$	=	2,17
Resistencia de interferencia para un conductor transversal	$\Omega$	$R_{iB}$	=	0,65
Resistencia de interferencias mutuas longitudinales y transversales	$\Omega$	$R_{iAB}$	=	1,58
Resistencia total de un conductor transversal	$\Omega$	$R_{tcB}$	=	3,76
Resistencia de n conductores transversales	$\Omega$	$R_{ncB}$	=	1,878

**OPERATIVIDAD DE LA MALLA**

**Corriente a "Evacuar" o a Disipar por la Malla**

Factor de división de corriente - Fracción de corriente de falla que debe disipar la Malla.		Sf	=	0,50
Factor de proyección - Futuras ampliaciones		Cp	=	1,00
Factor de decremento o corrección por If simétrica		Df	=	1,00
Corriente a disipar por la malla - Grid	kA	IG	=	1,75

**CALCULADOR MALLA DE PUESTA A TIERRA (2)**

Cálculo de Tensión de contacto tolerable - Ett					t= touch
Resistividad de la capa superficial	$\Omega.m$	$\rho_s$	=	5000	
Factor de ajuste para resistividades de capas diferentes		$C_s$	=	0,50	
Resistividad asumida para el cuerpo humano	$\Omega$	$R_H$	=	1000	
Tensión de contacto tolerable - Ett	50kg	V	Ett	=	1423
Tensión de contacto tolerable - Ett	70kg	V	Ett	=	1926

Cálculo de Tensión de paso tolerable - Est					s= step
Resistividad de la capa superficial	$\Omega.m$	$\rho_s$	=	5000	
Factor de ajuste para resistividades de capas diferentes		$C_s$	=	0,80	
Resistencia asumida para el cuerpo humano	$\Omega$	$R_H$	=	1000	
Tensión de paso tolerable - Est	50kg	V	Est	=	7488
Tensión de paso tolerable - Est	70kg	V	Est	=	10134

Cálculo de Elevación del Potencial de Tierra - GPR				
Ground Potential Rise	V	GPR	=	1750

Cálculo de Máxima Tensión de Paso Esperada: Ese				
Profundidad de referencia	m	$h_o$	=	1,00
Factor de profundidad		$K_h$	=	1,304
Número de conductores en paralelo equivalente		$N$	=	2,000
Factor de espaciamento para tensión de paso		$K_s$	=	0,345
Factor de "irregularidad" o asimetría geométrica de la malla		$K_i$	=	0,940
Longitud equivalente para tensiones de paso	m	$L_s$	=	126,66
Tensión de Paso Esperada - Ese	V	Ese	=	250
14,29 % de GPR				

Cálculo de Máxima Tensión de Malla (Mesh) Esperada: Eme				
Influencia de conductores internos sobre malla esquinera		$K_{ii}$	=	1,00
Influencia de la profundidad de la malla		$K_h$	=	1,304
Número de conductores en paralelo equivalente		$N$	=	2,000
Factor de espaciamento para tensión de malla		$K_m$	=	0,707
Factor de "irregularidad" o asimetría geométrica de la malla		$K_i$	=	0,940
Longitud equivalente para tensiones de malla	m	$L_m$	=	160
Tensión de Malla (Mesh) Esperada - Eme	V	Eme	=	405
23,16 % de GPR				

EL DISEÑO FINAL DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA ES SATISFACTORIO DEBIDO A QUE CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS EXIGIDOS EN LA IEEE 80.

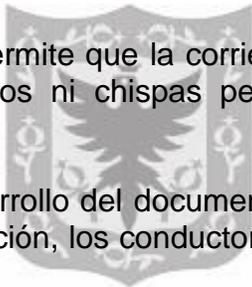
Tabla 3. *Calculo resistencia malla de puesta a tierra*

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

 <p><b>ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C.</b> Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p><b>CONSORCIO CS</b> Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering Ingeniería y Gestión de Proyectos</p>
--	--	--

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó el diseño integral del SIPRA en la estación 20 de Julio siguiendo los parámetros y lineamientos de la NTC 2050, RETIE en su última actualización y NTC 4552.
- Se diseñó la protección externa de la estación 20 de Julio cumpliendo con el objetivo de interceptar los impactos directos de rayo que se dirijan a la estructura, incluyendo aquellos que impacten al costado de ésta, para conducir de manera segura la corriente de rayo desde el punto de impacto a tierra.
- Se realizó un diseño que permite que la corriente se disperse a tierra sin causar daños térmicos o mecánicos ni chispas peligrosas que puedan dar inicio a incendios o explosiones.
- Se especificaron en el desarrollo del documento los elementos esenciales de un SIPRA: el sistema de captación, los conductores bajantes y el sistema de puesta a tierra.

  
**ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.**  
 MOVILIDAD  


---

 Instituto de Desarrollo Urbano