



**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.

MOVILIDAD

**Informe Etapa de Diseños
Componente Redes Secas**

**Informe Sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones
Estación Altamira**

CONSORCIO CS



CONSORCIO CS

Cal y Mayor
Colombia S.A.S.



Supering
Supervisión e Ingeniería de Proyectos

BOGOTÁ, enero 24 de 2022

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

PRODUCTO DOCUMENTAL

INF-RSG--CASC-200-22

Informe Etapa Diseño Componente Redes Secas Informe Sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones Estación Altamira

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 00	03/01/2022	Versión inicial	13
Versión 01	24/01/2022	Respuesta observaciones interventoría	14

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 Roza Coordinador de Interventoría	Ing. Oscar Andrés Rico Gómez Director de Interventoría

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

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2	LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	4
3	NORMATIVIDAD APLICADA	5
4	MEMORIA DE CALCULO.....	6
4.1	ANÁLISIS DE NIVEL DE PROTECCIÓN	6
4.2	SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	9
4.3	MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE.....	9
4.4	SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES	11
4.5	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	11
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	14

Índice de Tablas

Tabla 1. Clase del SIPRA	6
Tabla 2. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección	9
Tabla 3. Cálculo resistencia puesta a tierra SIPRA.....	13

Tabla de figuras

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

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

1 INTRODUCCIÓN

Este documento contiene el informe Sistema integral de protección contra rayos y sobretensiones Estación Altamira 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 Altamira 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 Altamira 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 Altamira 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.

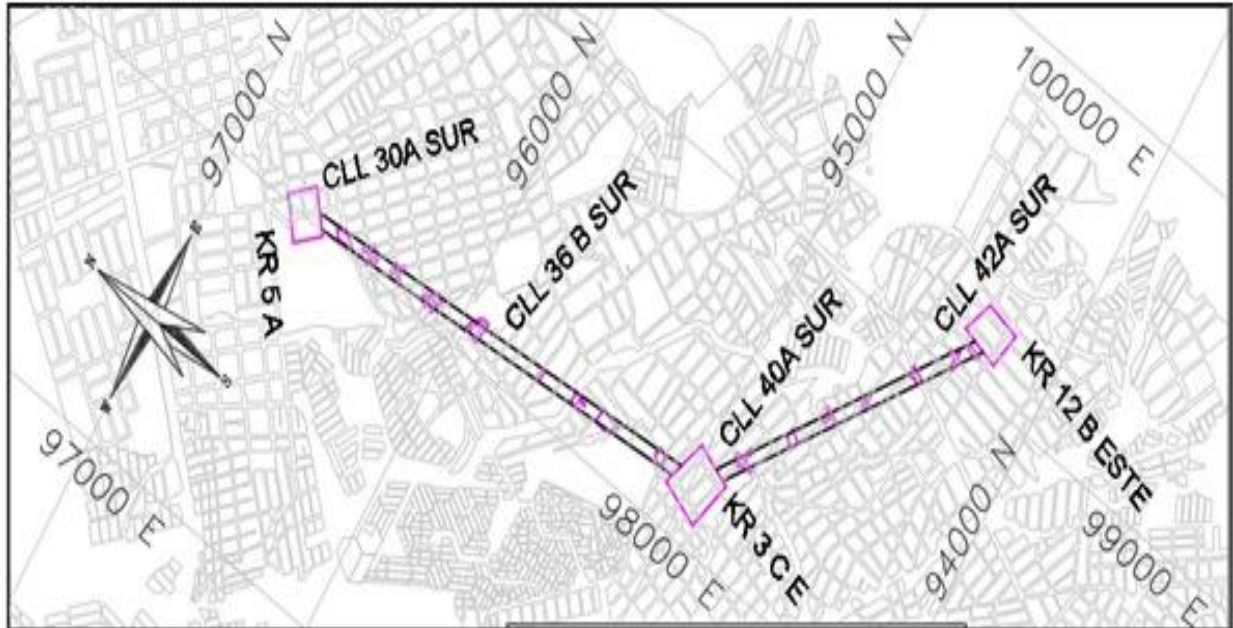


Figura - 1 – Localización general del proyecto

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

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

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

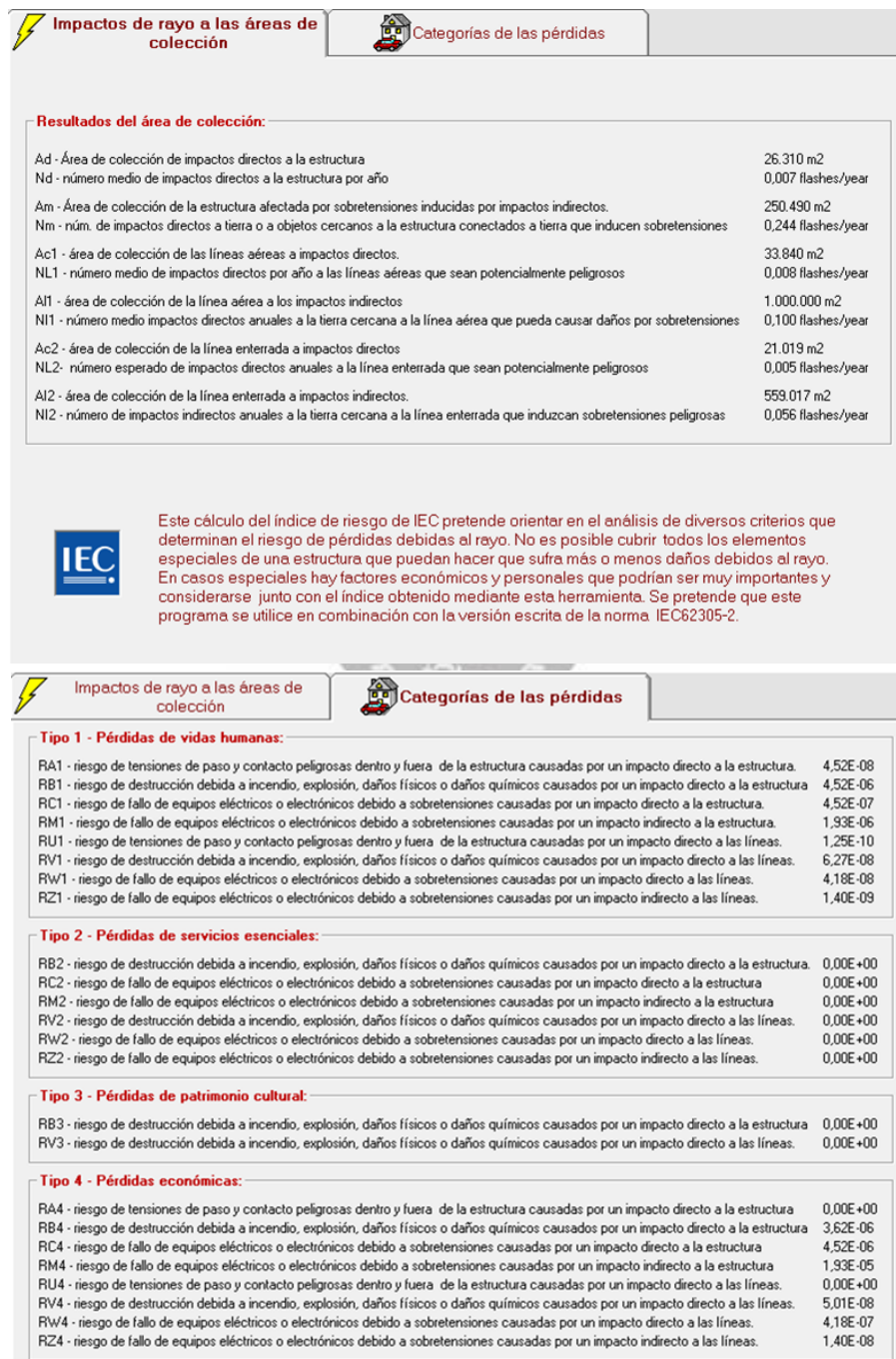


Figura - 2 – Resultados Análisis de nivel de riesgo por rayos

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS con software RISK

Dimensiones de la estructura:

Longitud de la estructura (m): 55

Anchura de la estructura (m): 48

Altura del plano del tejado (m)*: 20

Altura del mayor saliente del tejado (m)*: 21

* Medido desde la tierra

Área de colección (m2): 26.310 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 menor

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 crítico

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 aceptable (Pa)		Riesgo imp. directa (Pa)		Riesgo imp. indirecta (Pa)		Riesgo aceptable (Pa)
Pérdidas de vidas humanas:	1,00E-05	=>	7,30E-07	+	2,47E-06	=	3,20E-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	=>	1,18E-06	+	2,45E-05	=	2,57E-05

Cálculos

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

Project: ALTAMIRA Tooltips: ON Database: v1.0.31 Map: SPANISH 20/12/2021

Figura - 3 – Análisis de nivel de riesgo por rayos

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS con software RISK

4.2 SISTEMA DE CAPTACION

Para el SIPRA de la estación Altamira se diseñaron 20 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 ubicó 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.

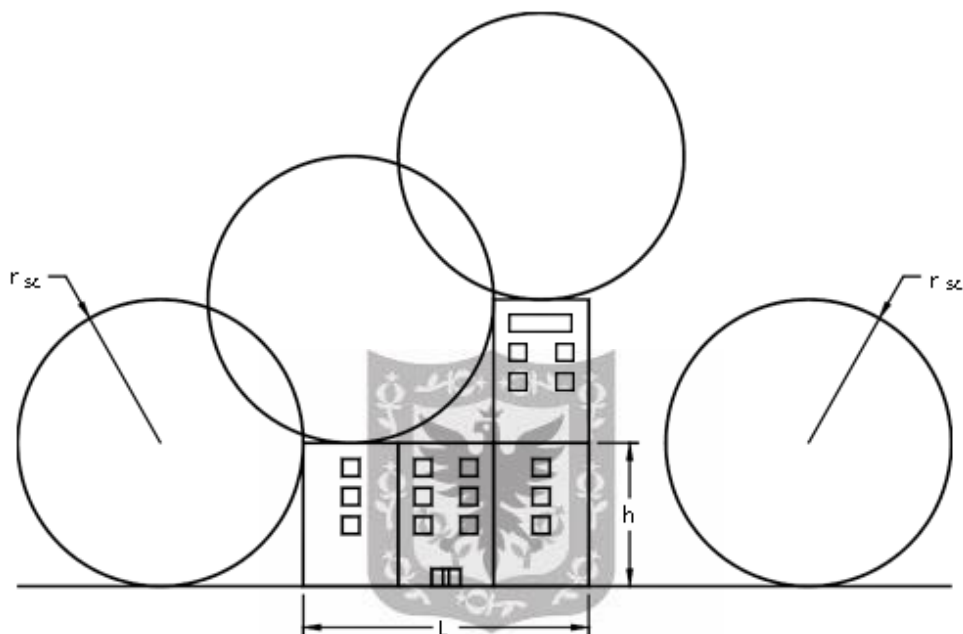


Figura - 4 – Utilización del método de la esfera rodante

Fuente – Figura 1 NTC 4552-1

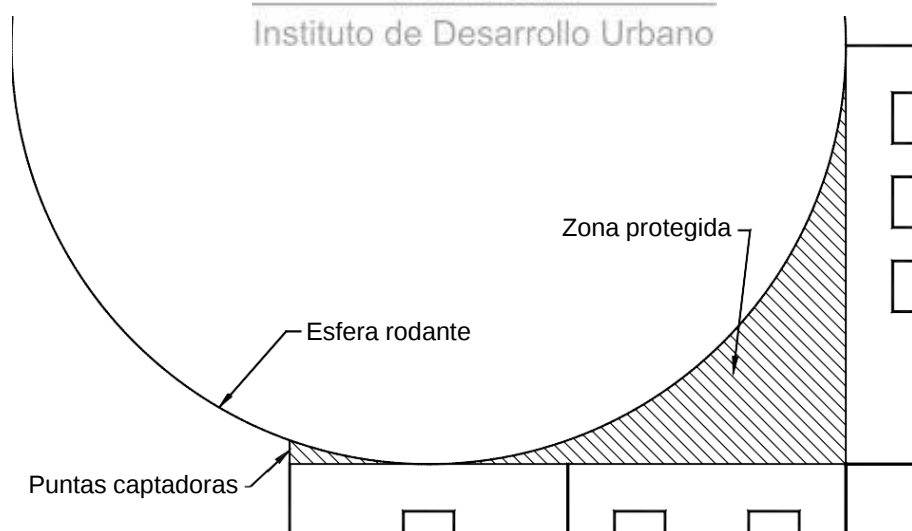


Figura - 5 – Área de protección mediante el método de la esfera rodante

Fuente – Figura 2 NTC 4552-1

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

4.4 SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES

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.

Las 7 bajantes diseñadas siguiendo los lineamientos de la NTC 4552 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 subestacion 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.

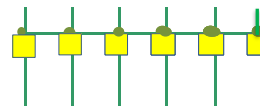
A continuación, se presenta el cálculo de malla para puesta a tierra del sistema de protección contra rayos (SIPRA).

CALCULO DE MALLA (GRID) PARA PUESTA A TIERRA

IDENTIFICACIÓN PROYECTO: ESTACION ALTAMIRA SIPRA

INFORMACION BASICA Y VALORES PROPUESTOS

	Unidad de medida	Símbolo		Valor
Resistividad del terreno	$\Omega.m$	ρ	=	79,36
Corriente de falla	kA	I_f	=	3,5
Tiempo de despeje de falla	ms	t_{df}	=	150
Número de varillas		nv	=	7
Calibre del conductor	AWG	Nº	=	2/0
Diámetro del conductor de Malla de PT	mm	d	=	10,630
Largo de la Malla	m	A	=	57,7
Ancho de la Malla	m	B	=	53
Espaciamiento entre conductores	m	D	=	53
Número de conductores de longitud A		m	=	2
Número de conductores de longitud B		n	=	2
Longitud total del conductor de la Malla	m	L_c	=	221
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	=	53,00

$$R_{PT} = 0,77 \, \Omega$$

Resistencia de un conductor longitudinal	Ω	R_{1cA}	=	2,72
Resistencia de interferencia para un conductor longitudinal	Ω	R_{IA}	=	0,19
Resistencia total de un conductor longitudinal	Ω	R_{tcA}	=	2,91
Resistencia de m conductores longitudinales	Ω	R_{mcA}	=	1,46

Conductores Transversales

Factor de espaciamento transversal		F	=	1,00
Espaciamento transversal equivalente entre conductores	m	E	=	53,00

Resistencia de un conductor transversal	Ω	R_{1cB}	=	2,92
Resistencia de interferencia para un conductor transversal	Ω	R_{iB}	=	0,20
Resistencia de interferencias mutuas longitudinales y transversales	Ω	R_{iAB}	=	0,39
Resistencia total de un conductor transversal	Ω	R_{tcB}	=	3,31
Resistencia de n conductores transversales	Ω	R_{ncB}	=	1,654

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	I_G	=	1,75

CALCULADOR MALLA DE PUESTA A TIERRA (2)

Cálculo de Tensión de contacto tolerable - Ett						t= touch
Resistividad de la capa superficial	$\Omega.m$	ρ_s	=	5000		
Factor de ajuste para resistividades de capas diferentes		C_s	=	0,50		
Resistividad asumida para el cuerpo humano	Ω	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	$\Omega.m$	ρ_s	=	5000		
Factor de ajuste para resistividades de capas diferentes		C_s	=	0,80		
Resistencia asumida para el cuerpo humano	Ω	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 Potencial Rise	V	GPR	=	1355		
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 espaciamiento para tensión de paso		K_s	=	0,233		
Factor de "irregularidad" o asimetría geométrica de la malla		K_i	=	0,940		
Longitud equivalente para tensiones de paso	m	L_s	=	180,33		
Tensión de Paso Esperada - Ese	V	Ese	=	169	12,46 % 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 espaciamiento para tensión de malla		K_m	=	1,607		
Factor de "irregularidad" o asimetría geométrica de la malla		K_i	=	0,940		
Longitud equivalente para tensiones de malla	m	L_m	=	224		
Tensión de Malla (Mesh) Esperada - Eme	V	Eme	=	938	69,24 % de GPR	

Ett < GPR

Est < GPR

Eme < Ett

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

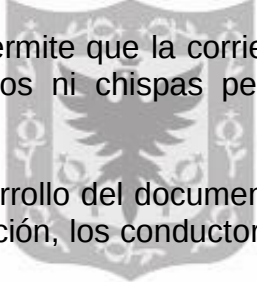
Tabla 3. Calculo resistencia puesta a tierra SIPRA

Fuente – Elaboración propia Consorcio CS

 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.	 CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering Supervisión e Ingeniería de Proyectos
--	--	--

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó el diseño integral del SIPRA en la estación Altamira 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 Altamira 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