



ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS PARA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS.

JHON FREDY CORREA LAGOS

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2021

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS PARA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS.

JHON FREDY CORREA LAGOS

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director:

Ing. Rafael María Hurtado Barrera

Línea de Investigación:

Sistemas eléctricos

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2021

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Resumen

Este proyecto tuvo como objetivo analizar y diseñar el sistema de puesta a tierra y el sistema de protección contra rayos de la subestación de 34,5 kilovoltios (kV) del municipio de guacamayas de la Empresa de energía de Boyacá S. A. E. S. P. (EBSA). Por lo que se incluyó la evaluación de los diseños que actualmente se encuentran instalados en la subestación. Para la evaluación se tomó como criterio los diferentes elementos que conforman el sistema integrado de protección contra rayos y el sistema de puesta a tierra. Consecuentemente para el sistema de puesta a tierra se evaluó los calibres de los conductores, las diferentes uniones y la topología de la cuadrilla, la medida realizada con el equipo de medida (telurómetro) y su respectivo método de medición (método Wenner). Posteriormente en la evaluación del sistema de protección contra rayos se determinó los diferentes aparatos y elementos que se encuentran instalados como lo son: el número de bajantes, el calibre y tipo de conductor, tipos de captadores, los dispositivos de sobre tensiones, entre otros.

Con la elaboración del proyecto se permitió realizar las memorias de cálculo y los diseños de la subestación, dar un plan de mantenimiento y mejora de la infraestructura con el fin de minimizar los efectos causados por fallas en el sistema y por las descargas atmosféricas debido a que se encuentra en una región de alta densidad.

Palabras clave: IEEE 80, IEEE81, NTC 4552-1-2-3, Puesta a tierra, subestaciones.

Abstract

The objective of this project was to analyze and design the grounding system and the lightning protection system of the 34,5 kilovolt (kV) substation in the municipality of Guacamayas of Empresa de Energía de Boyacá S. A. E. S. P. (EBSA). Therefore, the evaluation of the designs currently installed in the substation was included. For the evaluation, the different elements that make up the integrated lightning protection system and the grounding system were taken as criteria. Consequently, for the grounding system, the calibers of the conductors, the different joints and the topology of the grid, the measurement made with the measuring equipment (tellurometer) and its respective measurement method (Wenner method) were evaluated.

Subsequently, in the evaluation of the lightning protection system, the different devices and elements that are installed were determined, such as: the number of down conductors, the gauge and type of conductor, types of collectors, overvoltage devices, among others.

With the elaboration of the project it was possible to make the calculation memories and the designs of the substation, give a maintenance and improvement plan of the infrastructure in order to minimize the effects caused by failures in the system and by the atmospheric discharges due to the fact that it is located in a high density region.

Key words: IEEE 80, IEEE81, NTC 4552-1-2-3, Grounding, substations.

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE
PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE
GUACAMAYAS**

Contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	15
Objetivos	16
Justificación	17
Simbología y abreviatura	18
Capítulo 1. Marco Teórico	19
1.1 Sistemas de puesta a tierra	19
1.1.1. Medición del terreno	19
1.1.1.1. Características del suelo	19
1.1.1.2. Medición de resistividad	19
1.1.1.3. Evaluación de la resistividad del suelo	21
1.1.2. Tensión de paso y de contacto	21
1.1.2.1. Tensión de contacto:	21
1.1.3. Diseño de puesta a tierra.....	24
1.1.3.1. Aspectos de diseño	25
1.1.3.2. Corriente de red máxima	25
1.1.3.3. Geometría de la cuadrilla.....	26
1.1.3.4. Selección de conductores.....	26
1.1.3.5. Corrientes asimétricas	27
1.1.4. Diagrama de procedimiento de diseño	28
1.2. Sistemas de protección contra rayos	29
1.2.1. El rayo	30
2.2.3. Riesgos y componetes del riesgo	31
1.2.4. Manejo del riesgo	32
1.2.4. Consideración de la estructura y acometida para evaluación de riesgo	32
1.2.5. Riesgo tolerable RT	33
1.2.6. Necesidades y conveniencias económicas para la protección contra rayos ...	33
1.2.7. Medidas de protección	34
1.2.8. Evaluación de los componentes del riesgo	35
1.2.9. Evaluación de la cantidad de pérdidas	37
Capítulo 2. Diseño de sistema de puesta a tierra y sistema integrado de protección contra rayos	38
2.1 Diseño de sistema de puesta a tierra	38
2.1.1 Medición de terreno.....	39
2.1.2 Corriente simétrica	39
2.1.3. Selección del conductor.....	40
2.1.4. Criterios de toque y contacto	41
2.1.5. Diseño inicial del sistema	42
2.1.6. Resistividad de la red	43
2.1.7. Corriente de máxima la malla	43
2.1.8. Gradiente de potencial o potencia máxima de la malla	43
2.1.9. Tensión de red	44

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE
PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 KV DEL MUNICIPIO DE
GUACAMAYAS**

2.1.10. Tensión de paso.....	45
2.2. Diseño sistema integrado de protección contra rayos.....	45
2.2.1. Según NTC 45552-1: “Parámetros máximos del rayo”	45
2.2.2. Según NTC 45552-2: “Evaluación de los componentes de riesgo”.....	46
2.2.3. Según NTC 45552-2: “Evaluación de probabilidad de daño (PX).”.....	49
2.2.4. Según NTC 45552-2: “Evaluación de la cantidad de pérdidas”	51
2.2.5. Según NTC 45552-2: “Pérdidas inaceptable del servicio público L2.”	53
2.2.6. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas (L4).”	55
2.2.6.1. Según NTC 45552-2: “Pérdida económica por tensiones de paso y de contacto fuera de la estructura (LA).”	55
2.2.6.2. Según NTC 45552-2: “ Pérdida económica por tensiones de paso y de contacto dentro de la estructura (Lu).”	55
2.2.6.3. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por fuego o explosiones dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre la estructura LB.”.....	56
2.2.6.4 Según NTC 45552-2: “Pérdida económicas por daños físicos a causa de descargas en acometidas de servicio Lv.”.....	56
2.2.6.5. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura LC.”	56
2.2.6.6. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura LM.”	56
2.2.6.7. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio LW.”	56
2.2.6.8. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las estructuras LZ.”.....	56
2.2.6.9. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto estructura LB.”.....	56
2.2.6.10. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la acometida de servicio Lv.”	56
2.2.6.11. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura LC.”	57
2.2.6.12. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura LC.”	57
2.2.6.13. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo LW.”	57
2.2.6.13 Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por fallas de líneas y equipos conectados debidos causado por sobretensiones incluidos sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio LZ.”	57
Capítulo 3. Análisis de los resultados.....	58
3.1. análisis sistema de puesta a tierra.....	58
Capítulo 4. Conclusiones, recomendaciones y presupuesto	58
4.1. Presupuesto.	58
4.2. Conclusiones y Recomendaciones	60

Anexos:62

Figuras

Lista de

	Pág.
Figura 1 Método Wenner.....	20
Figura 2 Situaciones de toque	22
Figura 3 Diagrama de bloques para procedimiento del diseño de puesta a tierra.....	29
Figura 4 Detalles de la Cava	38
Figura 5 Corriente de falla.	39
Figura 6 Detalles de conductor	40
Figura 7 Diseño inicial	42

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Constantes de los materiales	27
Tabla 2 Valores de riesgo tolerables	33
Tabla 3 Estadístico Box Cox	39
Tabla 4 Parámetros del rayo	46
Tabla 5 Presupuesto de sistema de puesta a tierra	58
Tabla 6 Presupuesto de sistema de protección contra rayos	59

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A Según NTC 45552-1: “Daños y pérdidas en una estructura según los puntos de impacto”	62
Anexo B Según NTC 45552-2: “Daños y pérdidas en las acometidas de servicio en las situaciones de impacto.”	62
Anexo C Según NTC 45552-2: “Riesgo de los tipos de daño y pérdida”	63
Anexo D Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgo para cada tipo de pérdida en estructura.”Fuente: NTC 4552-2.....	64
Anexo E Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgo para los tipos de pérdida en la acometida”	65
Anexo F Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgo para los daños en la estructura.”	65
Anexo G Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgo para los tipos de daño en las acometidas de servicio.”	66
Anexo H Según NTC 45552-2: “Factores que influyen las componentes de riesgo.” .	66
Anexo I Según NTC 45552-2: “procedimiento para la decisión de protección.”	67
Anexo J Según NTC 45552-2: “Procedimiento para la conveniencia económica de una medida de protección.”	68
Anexo K Según NTC 45552-2: “Procedimiento para medida de protección en estructuras.”	70
Anexo L Según NTC 45552-2: “Procedimiento para evaluación de medidas de protección en los servicios.”.....	70
Anexo M Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgo en estructura.”	71
Anexo N Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgo en acometidas de servicio.”....	71
Anexo O Según NTC 45552-1: “Mapa nivel cerámico Colombia.”	72
Anexo P Según NTC 45552-2: “Factor de corrección por presencia de transformador.”.	73
Anexo Q Según NTC 45552-2: “Definición de áreas en estructuras adyacentes.”	73
Anexo R Según NTC 45552-2: “Áreas efectiva de acuerdo al tipo de suelo.”	73
Anexo S Según NTC 45552-2: “Factor ambiental.”.....	74
Anexo T Según NTC 45552-2: “Valores de PA .”	74
Anexo U Según NTC 45552-2: “Valores de PB .”	74
Anexo V Según NTC 45552-2: “Valores de $PDPS$.”	75
Anexo W Según NTC 45552-2: “Valores $Ks3$ ”	75
Anexo X Según NTC 45552-2: “Valores de probabilidad de PLD en sistemas internos en función de la resistencia a pantallamiento RS y la tensión soportable UW del cable.”.....	77
Anexo Y Según NTC 45552-2: “Valores del factor Kd como función de las características del pantallamiento de la línea.”	77
Anexo Z Según NTC 45552-2: “Valores del factor Kp como función de las medidas de protección.”	77

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE
PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE
GUACAMAYAS**

Anexo AA Según NTC 45552-2: “valores de probabilidades PB' , PC' , PV' y PW' , en referencia de la corriente de falla I_a ”	78
Anexo BB Según NTC 45552-2: “Valores promedio de L_t , L_f y L_o típicos de para $L1$.”	78
Anexo CC Según NTC 45552-2: “Valores de factores de reducción r_a y r_u en función del tipo de suelo”	79
Anexo DD Según NTC 45552-2: “Valores de factores de reducción r_{pen} en función de las medidas de prevención para reducir la consecuencia de fuego.”	79
Anexo EE Según NTC 45552-2: “Valores de factor de reducción r_f en función del riesgo de la estructura.”	79
Anexo FF Según NTC 45552-2: “Valores de incremento h_z en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro.”	80
Anexo GG Según NTC 45552-2: “Valores medios típicos L_f y L_o para $L2$.”	80
Anexo HH Según NTC 45552-2: “Valores promedio típicos para L_t , L_f y L_o para pérdida económica $L4$.”	80
Anexo II Según NTC 45552-2: “componentes de riesgo para cada tipo de daño en la estructura”	81
Anexo JJ Según NTC 45552-2: “componentes de riesgo para cada tipo de daño en las acometidas de servicio.”	81
Anexo KK Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgos en estructura.”	82
Anexo LL Según NTC 45552-2: “Componentes de riesgo en acometidas de servicio.” ...	82
Anexo MM Según NTC 45552-2: “Datos de Área y Densidad de Descargas Para la Subestación.”	82
anexo NN diseños de sistemas de puesta a tierra y sistema integrado de protección contra rayos en formato DWG.....	83

Introducción

La empresa de energía de Boyacá S.A E.S. P (EBSA) está dedicada a la comercialización y distribución de energía eléctrica en el departamento de Boyacá. El cual está conformado por siete zonas; En la zona norte desde la subestación principal de 115 kilovoltios (kV) que se encuentra ubicada en el municipio de Boavita, está construido un circuito de 34,5 kilovoltios (kV) hasta el municipio de Guacamayas, llegando a un transformador de 1,6 mega voltamperios (MVA) que alimenta la provincia de Gutiérrez. En tres circuitos de 13,2 kilovoltios (kV).

La subestación cuenta con un área aproximada de 120 metros cuadrados, la cual está distribuida en: un cuarto donde se encuentra los equipos de medida y equipos de telecomunicaciones, un cuarto de almacenamiento, bahía de llegada o alimentación y salidas de los circuitos de 13,2 kilovoltios (kV), barra general y el transformador principal[1].

Toda instalación eléctrica tiene que disponer de un sistema de puesta a tierra, las subestaciones de energía eléctrica requieren un sistema más eficiente que tenga la capacidad de despejar las fallas, debido al conjunto de dispositivos que las conforman y teniendo en cuenta que existen muchas acometidas conectadas.

Según el reglamento técnico de instalaciones eléctricas: “Las funciones principales de un sistema de puesta a tierra son”:

- “Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos”.
- “Permitir a los equipos de protección despejar, rápidamente las fallas”.
- “Servir de referencia como punto común al sistema eléctrico”.
- “Conducir y disipar, con suficiente capacidad, las corrientes de fallas, electrostática y de rayo”[3].

Para la realización del proyecto se tendrá como referencia de diseño del sistema de puesta a tierra la norma IEEE 80[4].

Las descargas atmosféricas pueden afectar a los seres humanos, animales, vegetación, edificaciones y a los diferentes elementos que componen el sistema eléctrico.

Los sistemas integrados de protección contra rayos ayudan a proteger las estructuras de transmisión y distribución de energía eléctrica, contra las descargas atmosféricas, que al impactar en las mismas ocasionan fallas en el sistema[2].

Para el diseño de sistema integrado de protección contra rayos, se tiene como referencia la NTC4552-1-2-3.

Objetivos

Objetivo general

Analizar y diseñar los sistemas de puesta a tierra y sistema integrado de protección contra rayos en la subestación de 34,5 kilovoltios (kV) en el municipio de Guacamayas.

Objetivos específicos

- Diagnosticar el sistema de puesta a tierra y el sistema integrado de protección contra rayos en la subestación del municipio de Guacamayas.
- Diseñar el sistema de puesta a tierra para la subestación de 34,5 kilovoltios (kV) en el municipio de Guacamayas.
- Diseñar el sistema integrado de protecciones contra rayos en la subestación de Guacamayas e integrarlos en uno solo.
- Realizar estudios de costo de materiales, para la ejecución del proyecto.

Justificación

El presente proyecto se realiza con fin de analizar y diseñar los sistemas integrado de protección contra rayos y sistema de puesta a tierra de la subestación de 34,5 kV del municipio de Guacamayas para mejorar la calidad del servicio eléctrico que suministra la empresa de energía de Boyacá (EBSA S.A E.S. P) a los diferentes municipios que dependen de esta.

Este diseño busca minimizar los efectos de las fallas por este fenómeno, en conjunto con los dispositivos de protección en la subestación como los reconectores de cada uno de los circuitos que la conforman.

También para dar cumplimiento al reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE. Según el artículo 15 correspondiente al sistema de puesta a tierra; este indica que las personas que entren en contacto con las instalaciones eléctricas no superen el nivel de tensión permitido, ya que una de las funciones es garantizar la seguridad de los seres vivos y despejar las fallas en el menor tiempo posible.

La norma técnica colombiana 4552-1-2-3, considera el rayo como un fenómeno natural. que puede ser peligroso para los seres humanos y las instalaciones eléctricas, teniendo en cuenta que este fenómeno puede ocasionar daños físicos a las acometidas y los diferentes equipos que se encuentren conectados al sistema de energía eléctrica.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Simbología y abreviatura

Símbolo	Descripción	Unidades
ρ	Resistividad del material superficial en ohmios metro	Ω -m
ρ_s	Resistividad de la tierra bajo el material superficial en ohmios metro	Ω -m
$3I_0$	Corriente simétrica de la falla correspondiente a la selección del conductor	A
A	Área del sistema de puesta a tierra	m^2
C_s	Factor de reducción de la capa superficial	-
D	Diámetro de la rejilla	m
D	Espacio entre conductores	m
D_f	Factor de decremento para I_G	-
E_{step50}	Tensión de paso	V
$E_{touch50}$	Tensión de contacto	V
E_{step70}	Tensión de paso	V
$E_{touch70}$	Tensión de contacto	V
I_g	Valor eficaz de la corriente simétrica de la falla	A
t_s	Duración de la corriente de choque en segundos	S
K	Factor de reflexión entre diferentes resistividades aparentes del suelo	-
K_i	Factor de corrección de la geometría de la malla	-
S_f	Factor de división de corriente de falla	-
I_0	La corriente de secuencia cero	A
T_r	Temperatura de referencia para las constantes del material	$^{\circ}C$
α_0	Coeficiente térmico de resistividad a 0 grados Celsius	$^{\circ}C$
α_r	Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia $T_r/^{\circ}C$	$^{\circ}C$
P_r	Resistencia del conductor de tierra a la temperatura de referencia T_r	Ω -m
T_c	Duración de la corriente	S
TCAP	Factor de capacidad térmica, en tabla constantes de los materiales	$J/cm^3/^{\circ}C$
R_g	Resistividad del suelo de la subestación	Ω
L_T	Longitud total de los conductores enterrados en metros	m
h	La profundidad de la red en metros	m
A_{mm^2}	Área del conductor	mm^2
L_p	Longitud de conductores en la periferia de la red	m
L_c	Longitud total de los conductores horizontales en la red de tierra	m
T_a	Temperatura ambiente	$^{\circ}C$
T_m	Máxima temperatura disponible o temperatura de fusión	$^{\circ}C$
K_h	Factor de corrección por la profundidad de enterramiento de la malla	-
K_s	Factor de espaciamiento para la diferencia de potencial de paso	-
K_m	Factor de espaciamiento para la diferencia de potencial de paso	-
I_G	Corriente máxima de la malla	A

Capítulo 1. Marco Teórico

Los sistemas de puesta a tierra, en todas las instalaciones eléctricas, tiene como finalidad proteger principalmente la vida de los seres humanos, animales, equipos que se encuentran conectados a las instalaciones y en efecto despejar las fallas que se producen durante su permanente funcionamiento[4].

Los sistemas de protección contra rayos son sistemas que tiene como finalidad en una instalación eléctrica captar las descargas atmosféricas, que se generan. Debido a la gran cantidad de corriente, donde estas ocasionan fallas en la estabilidad del fluido eléctrico, daños en las estructuras, en las acometidas y en ocasiones la muerte de los seres vivos[5].

1.1 Sistemas de puesta a tierra

Teniendo en cuenta para el diseño de los sistemas de puesta a tierra requieren de unos parámetros iniciales: la medición del terreno, donde se utiliza el equipo telurómetro, utilizando el método Wenner, ya que este método es el más utilizado y conocido para realizar esta medición[4].

Adicionalmente otro parámetro importante son las corrientes de falla, donde se busca disiparlas en el sistema eléctrico con el fin de evitar que sean mortales para los seres vivos que se encuentran cerca a la subestación o lugar donde se produce las fallas y por otro parte para las personas calificadas que se encuentran interactuando con el sistema. Para este caso se tiene en cuenta las tensiones de paso y de contacto[4]. Así mismo para lograr disminuir las grandes corrientes que pueden transmitirse por el sistema de puesta a tierra hasta volverlas admisibles para el cuerpo humano.

1.1.1. Medición del terreno

Para la medición de resistividad del terreno el método utilizado es el método Wenner, es similar para los diferentes procedimientos de medición que se emplean, pero para la evaluación de los resultados se toman en cuenta los suelos con placas diferentes o no uniformes, debido a que los resultados tienden a variar considerablemente en los diversos terrenos[6].

1.1.1.1. Características del suelo

La clasificación de los suelos se puede representar como resistencias, puesto que la tierra presenta diferentes características en las capas que lo conforman. Si se llegará a enterrar un electrodo en lugares distintos, con diferentes propiedades en su composición, las resistencias tendrían a variar. Debido a que las capas de la tierra tienen pequeñas grietas en el revestimiento del suelo y su formación, lo que conlleva a la afectación del gradiente de potencial[6].

1.1.1.2. Medición de resistividad

El propósito de la medida de la resistividad del terreno o de la tierra tiene como finalidad:

- Realizar el cálculo de la impedancia de un sistema de puesta a tierra
- Estimar la corriente de paso, de contacto y los gradientes de potencial

- Estimar las conexiones inductivas entre los circuitos de comunicaciones y los eléctricos del sistema que lo conforman[6].

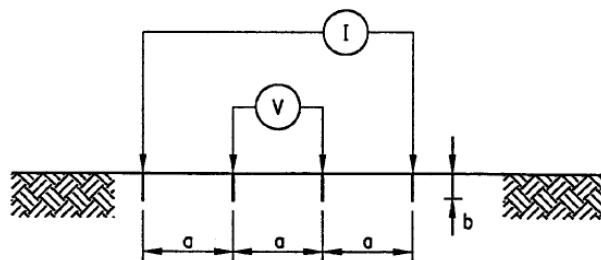
Debido a que existen varios métodos para realizar la medida de la resistividad del terreno para fines pertinentes se utiliza el método de cuatro puntos o método Wenner[7].

En la norma IEEE 81 establece una serie de pasos para realizar la medida de resistividad, donde indica a tener en cuenta los siguientes pasos que tienen relevancia:

- El potencial se puede medir de forma separada como lo son las corrientes de paso y de contacto en sitios diferentes con intervalos de 1 metro de distancia.
- Los criterios de evaluación de las corrientes de paso y de contacto se toman como referencia en la IEEE 80 según los valores límites de corriente tolerables para los seres humanos, como la duración de la falla y la resistencia en el suelo.

Para la medición de la resistividad se utiliza un medidor convencional que inyecta corriente a través de las puntas o sondas y el voltaje a través de la sonda de voltaje. Posteriormente el resultado de la impedancia se da en relación de ohmios. Al realizar una medida de voltaje de contacto, por lo cual se recomienda la distancia entre la sonda y la malla, por lo que puede variar significativamente y ser menores que los valores reales, como se muestra en la figura 1[4].

Figura 1 Método Wenner.



Fuente: IEEE 80

Por lo que se tiene en cuenta el planteamiento de la ecuación para este método:

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1)$$

ρ_a = resistencia aparente del suelo ohmiosmetro ($\Omega - m$).

R = resistencia medidas en ohmios(Ω).

a = distancia entre electrodos adyacentes en metros (m).

b = profundidad de los electrodos en mtros (m).

1.1.1.3. Evaluación de la resistividad del suelo

El sistema de puesta a tierra en una subestación de distribución pequeña, cuenta con un rango de resistividad de 1 a 10 ohmios (Ω). Para este tipo de investigación se tiene presente dicho rango de resistividad por lo que permite obtener un gradiente de potencial relativamente bajo, en efecto para la evaluación del tamaño del sistema de puesta a tierra se debe estimar el valor de la resistividad del terreno; como un terreno uniforme. Después de las consideraciones anteriores para este estudio se utiliza la ecuación de sverak que se describe a continuación[4].

$$R_g = \left[\frac{1}{l_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left[1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right] \quad (2)$$

l_T = longitud total de conductores enterrados en metros (m).

p = temperatura ambiente grados Celsius($^{\circ}c$).

A = Área ocupada por la malla de tierra metros cuadrados (m^2). .

h = profundidad de la red en metros (m).

1.1.2. Tensión de paso y de contacto

La tensión de paso y de contacto se consideran como las posibles causas, en las que están expuesto los seres vivos o las personas que se encuentra interactuando con redes eléctricas, de los diferentes sistemas de distribución. Ya sea que estas situaciones se presentan de manera accidental y ocasionan sensaciones leves y graves como; un simple cosquilleo o hasta llegar a una electrocución y determinados casos propiciar la muerte[4].

En ese sentido se evalúan las diferentes situaciones que pueden ocurrir en la interacción con las estructuras o líneas energizadas que se consideran a continuación.

1.1.2.1. Tensión de contacto:

También conocido como circuito de tierra accidental, ocurre durante el tiempo de falla. El voltaje es llevado a tierra entre una estructura metálica y la misma, por lo que es experimentada por una persona al tener contacto con la parte energizada, su cuerpo se convierte en una resistencia, la corriente pasa por el cuerpo que puede experimentar entre una extremidad y otra (pie -pie o entre manos y pies)[4].

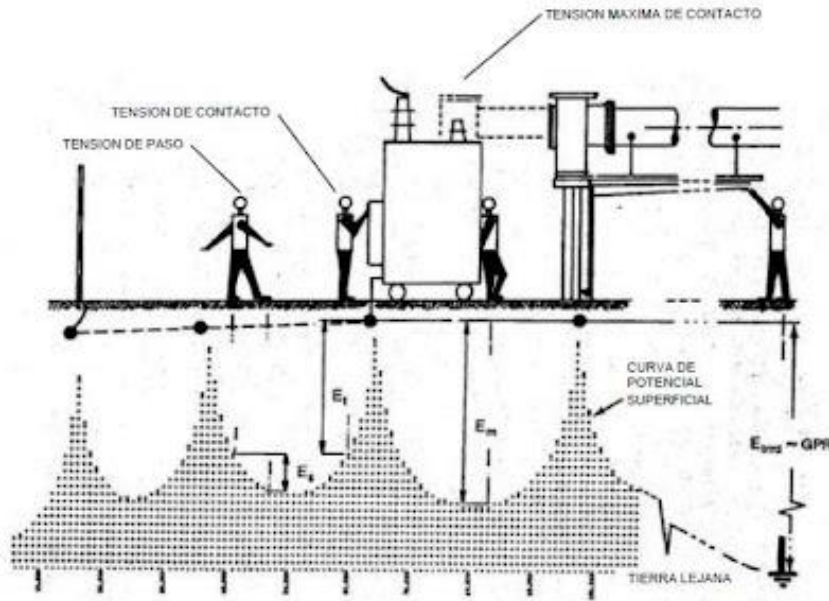
1.1.2.2. Tensión de paso:

Este tipo de falla es similar a la tensión de contacto, donde la diferencia de potencial se lleva de una estructura a tierra y es experimentada por el cuerpo de una persona, sin estar en contacto con la estructura energizada, con los pies separados a una distancia de un metro[4].

1.1.2.3. Situaciones de toque

En la figura 2 se muestran algunas de las situaciones de toque y de contacto, se puede apreciar a un ser humano interactuando con una instalación eléctrica en falla, en el que se considera las tensiones de contacto, metal a metal, malla, de paso y transferido. Los efectos de la corriente que circulan por el cuerpo de los seres humanos se representan como una resistencia de 1000 ohmios (Ω), para estos posibles casos[4].

Figura 2 Situaciones de toque



Fuente: IEEE 80[4]

En operaciones de falla de las instalaciones eléctricas, producen una gran cantidad de corriente, donde actúan los electrodos primarios y permanentes en la instalación para disipar. Para analizar las tensiones de paso y de contacto se utiliza la siguiente ecuación

tomada de IEEE 80.

$$R_f = \left[\frac{\rho_s}{4b} \right] c_s \tag{3}$$

$$c_s = 1 + \frac{16b}{\rho_s} \sum_{n=1}^{\infty} K^n R_m(2nh2) \tag{4}$$

$$k = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \tag{5}$$

Donde

C_s = es el factor de reducción de la capa superficial

k = es el factor de reflexión entre diferentes resistividades del material

ρ_s = es la resistividad del material superficial en ohmios metros (Ω -m).

ρ = es la resistividad de la tierra bajo el material superficial en ohmios - metro (Ω -m).

h_s = es el espesor del material superficial en metros (m).

b = es el radio del disco metálico circular que representa el pie en metros

$R_{m(2nh2)}$

= la resistencia mutua a tierra entre las dos placas similares, paralelas y coaxiales, separadas por una distancia ($2nhs$), en un medio infinito de resistencia, ρ_s en $\Omega - m$.

$$Ep_{70} = (1000 + 6c_s * p_s) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (6)$$

$$Ep_{50} = (1000 + 6c_s * p_s) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (7)$$

$$E_m = \frac{\rho * I_G * K_m * K_i}{L_m} \quad (8)$$

$$E_s = \frac{\rho * I_G * K_s * K_i}{L_s} \quad (9)$$

$$k_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left[\ln \frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} * \ln \left[\frac{8}{\pi(2 * n - 1)} \right] \quad (10)$$

$$k_i = 0,644 + 0,148 * n \quad (11)$$

$$na = 2 * L_c L_p \quad (12)$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}} \quad (13)$$

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 * L_y^2}} \right) \right] L_R \quad (14)$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} * \left[\frac{1}{2*h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \quad (15)$$

$$L_T = D * N * L \quad (16)$$

Donde:

E_{step} = la tension de paso en voltios

E_{touch} = la tension de contacto en voltios

p_s = resistividad del material de la superficie en ohmios metro ($\Omega - m$)

t_s = es la duración de la corriente de choque en segundos

L_c = longitud total del conductor en la rejilla horizontal en metros

L_p = longitud periferica de la rejilla en metros

L_R = longitud de las barras metros

k_i = factor de irregularidad

D = distancia entre conductores metros

n = número de conductores

d = diámetro del conductor de la malla en metros

1.1.3. Diseño de puesta a tierra

Para el diseño de un sistema de puesta a tierra se tiene que tener en cuenta algunos parámetros establecidos en el algoritmo de la figura 3, no todos los sistemas de puesta a tierra con resistividad baja no son seguro y también los que tiene alta resistividad presentan riesgo, puesto que existe la posibilidad que se retornen corriente directamente a la fuente[4].

Un sistema de puesta a tierra se debe construir con la finalidad de proteger a las personas limitando los gradientes de potencial de tierra, para evitar que se afecte la integridad de las misma, los equipos conectados a la red o al sistema de generación en condiciones de falla y normal funcionamiento. Para un buen diseño de sistema de puesta a tierra se tiene en cuenta los electrodos y conductores enterrados en forma vertical y horizontal, donde estos elementos combinados ayudan a tener una mayor efectividad, teniendo en cuenta

que un solo electrodo no es suficiente para la efectiva del sistema y también no es seguro en caso de disipar altas corrientes[4].

En los diseños de puesta a tierra se tendrá en cuenta las corrientes de paso y de contacto, ya que representan un peligro para las personas que operan los equipos que componen la subestación. Para las tensiones de paso y de contacto se debe realizar un análisis comparativo con las tensiones tolerables para las personas[4].

1.1.3.1. Aspectos de diseño

Para el análisis conceptual de un diseño de sistema de puesta a tierra es necesario tener algunos aspectos básicos que puede ayudar para obtener un buen diseño:

- Para la rejilla del sistema se debe rodear el mayor perímetro posible con un conductor, el fin de minimizar el gradiente de potencial, las altas corrientes y también ayuda a mejorar la resistividad del sistema de puesta a tierra.
- Para los conductores deben estar enterrados en un rango de 0.3 a 0.5 metros de profundidad y las conexiones deben estar muy bien aseguradas, donde se pueden utilizar como caminos para las corrientes, pero no para ayudar a disminuir la resistencia del sistema[4].

Para los cálculos de la malla se tiene en cuenta las siguientes ecuaciones tomadas de la IEEE 80:

$$I_G = D_f * S_f * 3I_o \quad (17)$$

S_f = es el factor de division de corriente de falla

I_o = corriente secuencia cero

D_f = es el factor de disminucion para toda la duración t_f de la falla segundos (s).

$$GPR = I_G * R_g \quad (18)$$

I_G = Máxima corriente de la malla en amperios (A)

R_g = Resistencia del suelo de la subestación

1.1.3.2. Corriente de red máxima

Para la corriente máxima de la red se tiene en cuenta aspectos relevantes, como es el efecto que produce en el sistema de puesta a tierra los conductores neutros y los cables de guarda en la red de distribución en general y el factor de disminución. Debido a que estos influyen en el diseño y ayudan a un análisis para no tener un diseño sobredimensionado. Con la ecuación se calcula el factor de división de la corriente de falla[4].

$$S_f = \frac{I_g}{3I_o} \quad (19)$$

S_f = es el factor de division de corriente de falla

I_g = es el valor eficaz de la corriente simétrica en la malla en amperios (A).

I_o = es la corriente de secuencia cero en A.

1.1.3.3. Geometría de la cuadrilla

Para la construcción del sistema de la red de tierra se pueden emplear métodos que consiste en instalar un tendido de conductores en cunetas y en el otro por arado donde se requiere elementos para su construcción, también se tiene en cuenta los costos para la ejecución del mismo, el tamaño, el conductor, la disponibilidad de equipos[4].

1.1.3.4. Selección de conductores

Por la gran cantidad de corriente que los sistemas de puesta a tierra disipan, los conductores están sometidos a temperaturas límites del material, por esto se requiere ver buena selección del conductor. Donde se toma como guía la siguiente formula en función de la corriente[4].

$$A_{mm^2} = I \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP * 10^{-4}}{T_c * \alpha_r * P_r}\right) * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \quad (20)$$

I = la corriente RMS en KA.

A_{mm^2} es la sección transversal del conductor mm^2

T_m = máxima temperatura admisible grados celsius($^{\circ}C$).

T_a = temperatura ambiente grados celsius ($^{\circ}C$).

T_r = temperaturade referencia para las constantes del material en grados celsius($^{\circ}C$)

α_0 = coeficiente térmico de resistividad a 0 grado centígrados

$$(^{\circ}C)en \frac{1}{\text{grados}} \text{celsius}(^{\circ}C).$$

α_r = coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia

$$\frac{T_r 1}{\text{grados celsius } (^{\circ}C)}$$

P_r = resistencia del conductor de tierra a la temperatura de referencia $T_{r,\mu} \Omega - cm$

$$K_0 = 1/\alpha_0 \left[\left(\frac{1}{\alpha_0 0} \right) - T_r \right] \text{ en } ^{\circ}C$$

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

T_c es la duración de la corriente en segundos (s).

$$TCAP = \text{capacidad térmica por unidad de volumen en } \frac{J}{\text{cm}^3 * ^\circ\text{C}}.$$

Para la selección de los conductores se utilizan las constantes de la siguiente tabla calcular el calibre del conductor que se debe utilizar en el diseño.

Tabla 1 Constante del material

conductor	Continuidad (%)	ar factor de 20° (1/°C)	$k_0(^\circ\text{C})$	Temperatura de fusión $T_m(^\circ\text{C})$	$\rho_r 20^\circ\text{C} (\mu\Omega.\text{cm})$	TCAP $\left[\frac{J}{\text{cm}^3 * ^\circ\text{C}}\right]$
Cobre	97,0	0,00378	242	1084	1,78	3,42

Fuente: IEEE 80

1.1.3.5. Corrientes asimétricas

Las corrientes de falla que se quieren obtener, en cuanto al valor de estas, es igual a la corriente simétrica I_F , donde equivale al valor real de una corriente asimétrica, en el lapso de la falla, t_c se expresa en función de "(X/R) donde X es la impedancia y R es la resistencia del conductor", se utiliza el factor de disminución D_f . Consecuentemente el resultado I_F que se obtiene de las corrientes simétrica, por lo general se encuentra por encima del factor de disminución, debido a que se basa en la conjetura, donde explica las componentes de la corriente alterna y no se descompone con el tiempo. Es importante apreciar la temperatura como factor en la selección de los conductores[4].

En este diseño no se considera los tipos de ambiente corrosivos que deterioren de manera acelerada el material del conductor, los conductores conectados desde un equipo a la malla se encuentran enterrados en el suelo y sometidos a la corriente total de la falla de los diferentes circuitos que están conectados a la subestación, mientras que la malla se divide la corriente para que una parte del área del conductor solo este sometida una parte de la corriente generada por algún tipo de falla[4].

Por este motivo los conductores enterrados se instalan más grandes que los de la malla o es su defecto un mayor número de conductores para así tener una mayor capacidad para disipar la corriente de falla total. No se considera los efectos de los relámpagos, pero si se pueden tener en cuenta las afectaciones que generan las descargas atmosféricas[4].

Para la realización del cálculo se toma la ecuación

$$R_g = \left[\frac{1}{l_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left[1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right] \quad (21)$$

Donde:

R_g = la resistencia del suelo de la subestación en ohmios (Ω)

ρ = la resistividad del suelo en ohmios metro ($\Omega - m$)

A = la superficie ocupada por la red de tierra en metros cuadrados (m^2)

L_T = la longitud total de los conductores enterrados en metros (m)

h = la profundidad de la red en metros (m)

1.1.4. Diagrama de procedimiento de diseño

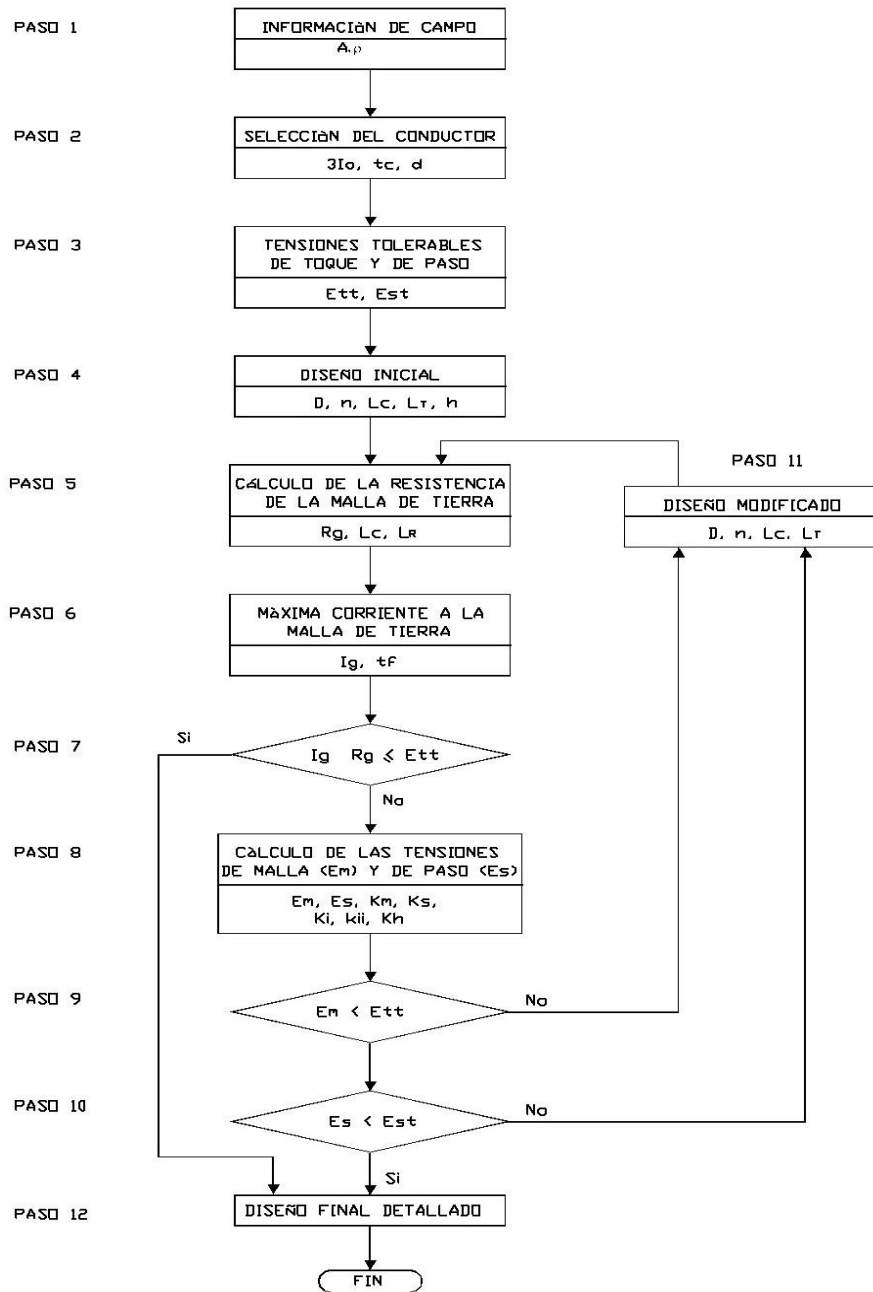
El diagrama que se relaciona a continuación en la figura 3, explica el procedimiento del diseño de una puesta a tierra, donde inicialmente se identifica la propiedad del suelo, el número de capas, el área disponible para el diseño. Posteriormente se selecciona el conductor, teniendo en cuenta las corrientes de falla máxima que van a fluir; el tiempo de despeje se basa en la orientación del diseño y se realiza una comparación con las corrientes de paso y de contacto. La geometría del diseño debe incluir los conectores para garantizar el acople de otros equipos, el distanciamiento, número de electrodos teniendo en cuenta la corriente mencionada anteriormente, se busca un diseño preliminar para determinar la resistencia del sistema de puesta a tierra[4].

Para evitar un diseño sobre dimensionado la corriente máxima se debe tomar en el punto más crítico, las cargas o modificaciones futuras y el factor de disminución. Así mismo, cuando la tensión de contacto con relación al gradiente de potencial sea menor solo se recomienda instalar conductores para los equipos necesarios y no realizar un nuevo análisis[4].

Para el desarrollo de las tensiones de la red, las tensiones de paso y de contacto tolerable para los seres humanos, se debe tener en cuenta el análisis del suelo mediante una capa uniforme, los resultados obtenidos deben ser inferiores, de no ser así se debe rediseñar. En caso de que sea mayor las corrientes de paso y de contacto, se debe revisar el diseño de la red hasta que satisfaga los requerimientos de tensiones de paso y de contacto tolerables para el ser humano. Es importante indicar que en algunos casos se necesitan electrodos adicionales para llegar a un diseño óptimo[4].

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Figura 3 Diagrama de bloques para procedimiento del diseño de puesta a tierra.



Fuente: IEEE 80

1.2. Sistemas de protección contra rayos

Las descargas atmosféricas pueden ocasionar daños en los aparatos eléctricos y electrónicos que se encuentren conectados a las redes eléctricas, junto con su infraestructura que la conforma, como pueden ser, las acometidas, torres de transmisión o distribución entre otros y en algunos casos se ve afectados los seres vivos, debido a su gran cantidad de energía y a las características de la descarga o en el lugar del impacto[8].

Los sistemas de protección contra rayos tienen como finalidad captar las descargas atmosféricas, disipar la energía y reducir los efectos que pueden ocasionar la gran cantidad de energía del rayo, al impactar cerca de los sistemas eléctricos de distribución o transmisión. Para determinar el diseño y construcción de los sistemas de protección contra rayos, inicialmente se tiene en cuenta la evaluación de los riesgos, por lo que busca la mitigación de los efectos de la estructura que se desea proteger[9].

Para la evaluación del riesgo se puede tener aspectos muy importantes como lo son: el número de descargar anuales, daños en la infraestructura, daños en las acometidas de servicio y la pérdida de vidas de los seres vivos[2].

1.2.1. El rayo

Los rayos son fenómenos atmosféricos que se presentan en el planeta tierra, debido a la ionización del aire con las nubes, pueden ocurrir dos tipos de rayos: de cargas positivas y negativas, estos en algunos momentos impactan las nubes y otros caen a la tierra, afectando las edificaciones, además a los elementos que lo conforman. Los daños que genera a la construcción ya sea de concreto, madera, hierro entre otras, interrumpiendo su funcionamiento (vivienda, plantas industriales, establecimientos deportivos, entre otros), los ocupantes y el contenido. Adicionalmente afectan las diferentes acometidas de los servicios que garantizan el buen funcionamiento y la accesibilidad para las funciones que está diseñada la edificación[2].

La gran corriente de la descarga como fuente de los daños, que genera el impacto en las diferentes situaciones se pueden considerar dependiendo el punto o lugar de la estructura el mismo, por consecuencia puede ocasionar daños como explosiones, afectar los elementos externos e internos, alterar el funcionamiento de los equipos, además ocasionar lesiones a las personas que se encuentran cerca al lugar donde ocurre este hecho. En las acometidas ocasionan daños físicos y fallas en los sistemas eléctricos como en algunos casos la quema del material, fallas en los aislamientos de los conductores eléctricos, daños de retenedores plásticos y perforaciones en los ductos[2].

También se puede considerar las pérdidas de valor sociocultural e histórico, los servicios públicos y valores económicos ocasionados por las descargas atmosféricas. Para los daños y las pérdidas nombradas anteriormente la finalidad es estimar un valor determinado, en los diseños de sistemas de protección contra rayos[9].

- Para daños a estructuras y acometidas:

S1 Impacto a la estructura suplida con o sin acometida.

S2 Impacto cerca de la estructura no se consideran en acometidas.

S3 Impacto al servicio de la estructura o la cometida entrante a la estructura.

S4 Impacto cerca de la acometida o entrando a la estructura[9].

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Para las consecuencias se consideran tres tipos de daños:

D1 Lesiones a los seres vivos, causados por tensiones de paso y de contacto.

D2 Daños físicos causados por los efectos de la corriente de rayo incluyendo chispas o los efectos térmicos a las estructuras o acometidas.

D3 Fallas del sistema interno y causados por sobretensiones en las acometidas y estructura[9].

- Para las pérdidas son considerados en la norma NTC 4552-2:

L1 Pérdidas de vidas humanas

L2 Pérdidas de servicios públicos

L3 Pérdidas de patrimonio cultural

L4 Pérdidas económica culturales

Se consideran las pérdidas L1, L2 y L3 como pérdidas de valor social y la pérdida L4 como pérdidas sociales.

L1, L2, L3 y L4 se pueden considerar con los impactos en o cerca de las estructuras.

L2 y L4 se pueden considerar con los impactos en o cerca de las acometidas[2].

Algunas otras determinaciones con pérdidas de las acometidas se consideran en la NTC 4552-2

L´2 Pérdida de servicio público

L´4 Pérdida económica (acometida y lucro cesante)

En las tablas del anexo A, B y C, se podrá encontrar para efecto del diseño las consideraciones de daños y pérdidas tomadas de la norma NTC 4552-1-2 dado que la NTC 4552-2 toma como consideraciones a L´2 y L´4[9].

2.2.3. Riesgos y componetes del riesgo

El riesgo es la media del total de las pérdidas en el año y se evalúa para los tipos de pérdidas relacionadas con las estructuras y las acometidas de servicios:

R1 Riesgo de pérdida de vida humana.

R2 Riesgo de pérdida de servicio a público.

R3 Riesgo de pérdida de patrimonio cultural.

R4 Riesgo de pérdida de valor económico.

R´1 Riesgo de pérdida de vida humana.

R´2 Riesgo de pérdida de servicio público.

R´4 Riesgo de pérdida de valor económico.

Para lo R´1, R´2 y R´4 se toma para valores de acometía y los otros para las estructuras.

Para el análisis de los riesgos se toman las tablas referidas en la norma en el anexo D, F y G[9].

1.2.4. Manejo del riesgo

Para brindar protección a una estructura o acometida de servicio contra rayos y evaluar las medidas de protección, se debe dar seguimiento a los parámetros establecidos por la norma NTC 4552-2 en consecuencia a:

- Distinguir lo que se quiere proteger junto con las especificaciones que lo componen.
- Evaluar las pérdidas en los componentes y los riesgos que correspondan según lo indica en los párrafos anteriores (R1 a R4).
- Evaluar el riesgo R para los diferentes tipos de pérdidas.
- Determinar la falta de protección, haciendo un paralelo del riesgo R1, R2 y R3 para una estructura (R´2 para el servicio) con el riesgo tolerable RT.
- Hacer una estimación costo beneficio para la evaluación de la instalación del sistema de protección contra rayos, de la componente R4 para una estructura (R´4 para un servicio). Y poder determinar la viabilidad de su instalación.

En el anexo D se describe la tabla para las diferentes consideraciones que se debe tener para realizar la evaluación[9].

1.2.4. Consideración de la estructura y acometida para evaluación de riesgo

La estructura y la acometida de servicio a proteger incluye

- La estructura en su totalidad.
- Las instalaciones internas de la estructura.
- El contenido de la estructura.
- Los individuos que se encuentran en zonas cercanas a 3 m fuera de la estructura o en la parte interior de la misma.
- El entorno que se ve inmerso a un daño en la estructura.
- El rack, las edificaciones y la red de las telecomunicaciones (LTC).

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

- La subestación de alta tensión, edificación y la red de potencia.
- Los componentes de una estación para los usuarios donde su red está construida por redes de ductos metálicos.

Se puede considerar proteger los servicios auxiliares que incluyen los elementos terminales de las acometidas como son: amplificadores, fibra óptica, medidores, corta circuitos, sistemas de sobre corriente, sistemas de control y seguridad, entre otros. Se excluye la protección de los aparatos de uso final o de los usuarios o estructuras terminales de las acometidas[9].

Para la evaluación de las componentes de riesgo de las estructuras y acometidas de servicio se relacionan los anexos E, F, G y H. En el anexo H se muestra las características de las estructuras, de las acometidas y las medidas de protección que se pueden encontrar[9].

1.2.5. Riesgo tolerable R_T .

Al riesgo tolerable R_T se le asigna valores donde se puede ver inmerso la vida de los seres humanos, las pérdidas de valor sociocultural que se muestran en la siguiente tabla[9].

Tabla 2 Valores de riesgo tolerables

Tipo de pérdida	$R_T(y^{-1})$
Pérdida de vidas o lesiones permanentes	10^{-5}
Pérdida de servicio público	10^{-3}
Pérdida de patrimonio cultural	10^{-3}

Autor: NTC 4552-2

1.2.6. Necesidades y conveniencias económicas para la protección contra rayos

Con el fin de reducir las pérdidas de valor sociales se considera una serie de riesgo que a continuación se relacionan, para la necesidad de adoptar un algoritmo que nos lleve a evaluar la necesidad de la protección, se anexa en I el diagrama de flujo que se debe tener en cuenta para desarrollarlo[9].

R1 Riesgo de pérdida humana.

R2 Riesgo de pérdida de servicios públicos domiciliarios.

R2 Riesgo de pérdida del patrimonio cultural.

Para la necesidad de protección se adopta los siguientes riesgos:

Riesgo R1, R2, R3 para una estructura.

Riesgo $R'1$ y $R'2$ para un servicio.

Igualmente se debe tener en cuenta la conveniencia de los valores económicos $L4$ y hacer una estimación entre costos y beneficios de tener construido la instalación de protección contra rayos $R4$ o no tenerlo[9].

Esta es conveniente si la suma de costo de pérdida residual en la presencia de medidas de protección C_{RL} y del costo de medidas de protección C_{PM} es mas baja que el costo de pérdida total C_L [2]. De esta manera también se aplica para una acometida de servicio $R'4$ [9].

$C_{RL} + C_{PM} < C_L$ no es conveniente de lo contrario se hace necesario.

La evaluación de la conveniencia de adopta los siguientes pasos:

- Identificar las componentes R_x que componen el riesgo $R4$ para una estructura ($R'4$ para una acometida).
- Calcular las componentes R_x identificadas, sin medidas de protección.
- Calcular los costos de las pérdidas debido a cada componente de riesgo.
- Calcular C_L del total de las pérdidas sin ninguna protección.
- Implantar medidas que se seleccionaron.
- Calcular las componentes R_x con las medidas de protección seleccionadas.
- Calcular el valor de las pérdidas no acogidas e importantes a cada componente del riesgo R_x en las acometidas y estructuras.
- Calcular el valor completo C_{RL} de las pérdidas no adoptadas en las medidas de protección.
- Calcular el valor del año C_{PM} de las medidas de protección seleccionadas.
- Realizar un paralelo de costos.

Para la conveniencia económica de implementar o no un sistema, en el anexo J se muestra el proceso para realizar la evaluación[9].

1.2.7. Medidas de protección

Las medidas de protección son dos: Internas y externas. Las externas cumplen la función de disipar y dispersar el rayo para eliminar el riesgo de lesiones a los seres vivos, evitar daños a las estructuras y las acometidas de servicio. Por lo que las medidas internas tienen como finalidad proteger de las chispas peligrosas y evitar la perturbación en el funcionamiento de los aparatos que se encuentra en el lugar que se quiere proteger[9].

1.2.7.1. Sistema de protección contra rayos

Los sistemas de protección contra rayos se clasifican en cuatro niveles de protección donde se toma el nivel I, el método para realizar el diseño se utilizará el de las esferas rodantes ya que se considera el más adecuado para efectos de esta investigación. Con el fin de realizar un buen diseño se adoptan las especificaciones, los criterios establecidos en la norma NTC 45552-1 y las limitantes según la situación existente en el terreno[10].

1.2.7.2. Sistemas de protección externos (SPE)

Para evaluar la función principal de los sistemas de protección externos es necesario tener presente los elementos que lo conforman como son: el sistema de captación, conductores bajantes y el sistema de puesta a tierra debido a que los elementos cumplen la función de captar y dispar las descargas. Así mismo es importante resaltar que tenga una conexión directa. Consecuentemente para el sistema de captación puede realizarse por medio de captadores tipo bayoneta, estos deben ir ubicados en las esquinas sobresalientes a una altura superior de 0,25 metros, el método de esferas rodantes se aplica para estructuras con alturas no máxima a 55 metros. El radio de la esfera rodante que se determine debe garantizar que no toque ningún lado de estructura a proteger instalando los captadores en las esquinas[10].

El sistema de puesta a tierra preferiblemente debe estar integrado a los otros sistemas de puesta a tierra, para este sistema es recomendable utilizar un sistema de puesta a tierra tipo B, donde se debe garantizar como máximo 10 ohmios (Ω), los electrodos instalados deben estar a una profundidad de 0,5 metros y por fuera de la estructura a 1 metro aproximadamente, la estructura metálica se puede considerar como un electrodo natural y debe estar conectado a las bajantes. Para efectos del sistema de protección contra rayos se debe instalar como mínimo dos bajantes, equidistantes en la estructura[10].

1.2.7.3. Sistemas de protección internos

Este sistema de protección interno tiene como finalidad brindar la protección contra la generación de chispas peligrosas dentro de la estructura, debido a que las estructuras pueden ser de material conductor, así como las líneas que ingresan a la parte interna del sistema eléctrico. Para esto se debe realizar la equipotencialización de los dispositivos, la implementación de dispositivos de sobre corriente (DPS) en el lado de baja tensión del transformador[10].

Para las medidas de protección es necesario evaluar mediante el paso a paso de los anexos K, L, establece el criterio de $R < R_T$, sin dejar de lado los criterios técnicos y económicos[9].

1.2.8. Evaluación de los componentes del riesgo

Para la evaluación de los componentes de riesgo se debe adoptar una ecuación general, con el fin de desarrollar los factores en las diferentes situaciones, en las zonas donde se presenta el impacto, así como la afectación que puede generar la gran cantidad de corriente, ya sea en la estructura o en el mismo sistema, como lo son las acometidas y los equipos que lo conforman. Para estos componentes se realiza un cálculo con la siguiente ecuación[9].

$$R_x = N_x P_x L_x \quad (22)$$

N_x = Número de eventos peligrosos.

P_x = Probabilidad de daño.

L_x = Pérdida consecuyente.

En el anexo M, N se da un resumen de las fórmulas para realizar la evaluación de las componentes para las estructuras y las acometidas de servicio.

En efecto para la clasificación de las zonas, depende de tres factores como son: el suelo o piso, dónde se cuenta con las componentes descritas R_a y R_u , los compartimientos a prueba de fuego, y las zonas protegidas R_B, R_V, R_C, R_M, R_W y R_Z [9].

Para evaluar los riesgos contemplados como $R_{1,2,3}$ y 4 , se evalúa las zonas de la estructura, el número de descargas anual se toma de referencia en el mapa de nivel ceraunico N_C , en el anexo O y poder determinar la densidad de descargas a tierra, el área efectiva de la estructura, la probabilidad de descargas en las estructuras adyacentes teniendo en cuenta la tabla en el anexo P. Adicionalmente, el promedio anual de descargas que impactan cerca de las estructuras, para esto se toma como referencia el anexo Q. Cabe agregar la evaluación del promedio anual de descargas en las acometidas de servicio, se menciona en los anexos Q, R, para finalizar la evaluación del número promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio, por lo que se tiene en cuenta los anexos Q, R, S[9].

La evaluación de probabilidad de daño P_X . se realiza con el fin de evitar lesiones a los seres vivos y daños físicos a las estructuras. La probabilidad de daño P_A , se selecciona de los parámetros del anexo T. Por lo que la probabilidad de daño (P_B) hace referencia a las descargas en las estructuras por un impacto directo, lo cual se evalúa mediante el anexo U. La probabilidad de daño P_C refiere a los daños en la parte interna de la estructura, debido a estos se hace necesario hacer la instalación de dispositivos de sobre corriente y una buena coordinación de los mismo, este valor se toma del anexo V. La probabilidad de daño P_M , debido que contempla el daño a los sistemas internos por causa de una descarga cerca de la estructura, se evalúa por el factor K_{MS} , contempla la coordinación de protecciones y las características de los DPS, tomando como referencia el anexo W para evaluar de K_{MS} . La probabilidad de daño P_U cubre las tensiones de paso, de contacto, reconoce las características del apantallamiento. Así mismo los elementos conectados a la acometida del servicio, se toma el valor de P_V . Adicionalmente se encuentra la

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

probabilidad de daño P_V , esta tiene similares condiciones que P_U y debido a que anteriormente se toma la coordinación de los dispositivos de sobre corriente equipotencializados, al evaluar este se toma del anexo V. Por consiguiente, la probabilidad de daño P_W es causada por los rayos que impactan directamente la acometida de servicio, esto depende de las características del blindaje que tiene la acometida y la coordinación de los dispositivos de sobre corriente (DPS)[9].

Probabilidad de daño P'_B y P'_C , P'_V y P'_W .

En la probabilidad de daño P'_B se toma la ocurrencia de un impacto sobre la estructura que tenga como efecto un daño físico. La Probabilidad de daño P'_C que pueda ocasionar la afectación en la acometida de servicio, donde la estructura es metálica y por ende está asociada a la corriente de falla I_a , los valores se toman del anexo Y, Z. Estos dependen del número de acometidas y medidas de protección seleccionadas. De otra parte para P'_V y P'_W , dependen de las líneas con sus características y la adaptación de medidas[9].

Consecuentemente para la probabilidad de daño P'_Z . Este tipo de probabilidad tiene en cuenta la coordinación de protecciones de los dispositivos supresores de sobretensiones y la característica de la línea, debido a la descarga, puede impactar sobre la acometida en la estructura metálica[9].

1.2.9. Evaluación de la cantidad de pérdidas

Las pérdidas L_X hacen referencia a los tipos de pérdidas que pueden generar las descargas atmosféricas, que impactan cerca, sobre las estructuras y en las acometidas de servicio, las consecuencias de falla por la falta del servicio que puede ocasionar a los seres vivos, los daños físicos y la falta de prestación de algún servicio[9].

Para la evaluación de pérdidas de vidas humanas se toma como referencia los anexo BB, CC, DD, EE, FF para identificar los aspectos en cada situación de descarga en los elementos que componen la estructura, que pueda ocasionar daños a los seres humanos que interactúen directa e indirectamente cerca o dentro de la misma[9].

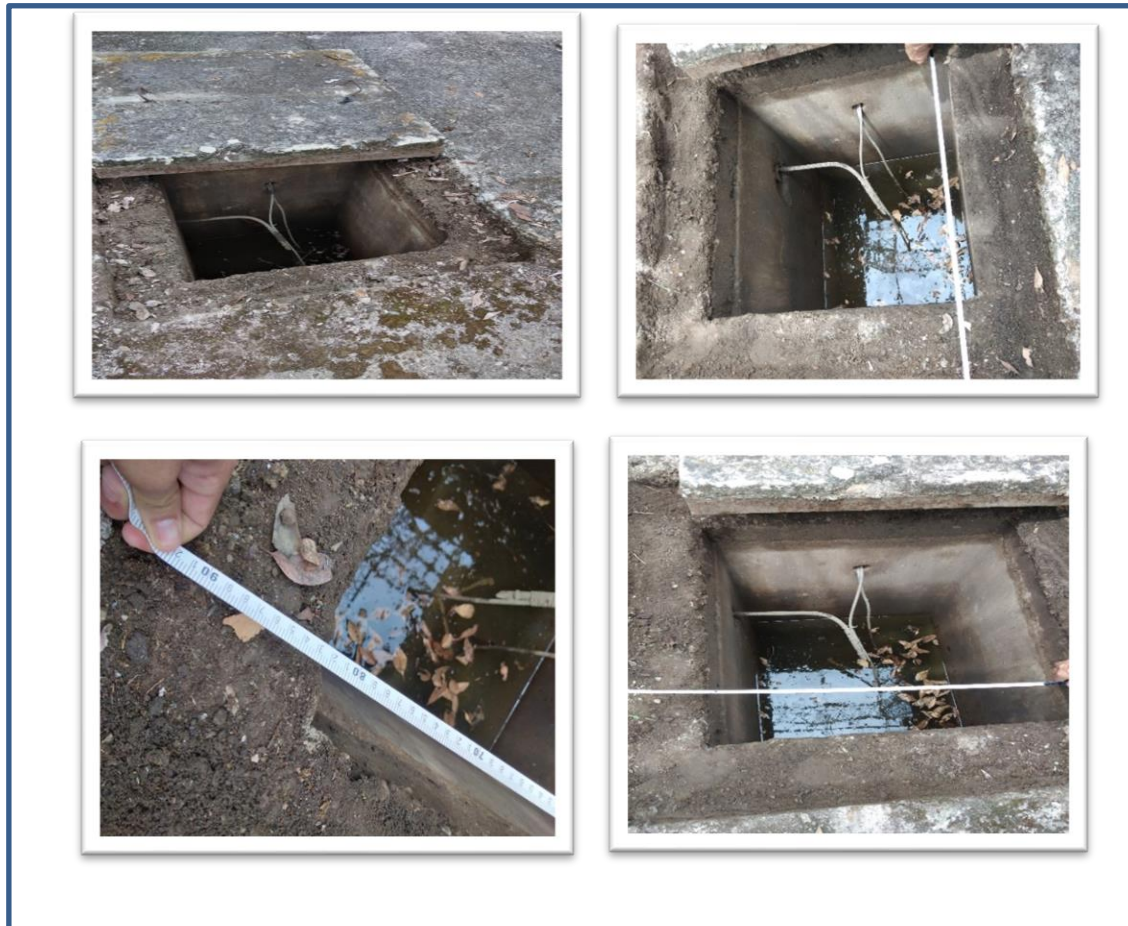
Las pérdidas de servicio se evalúan como un monto relativo, también se considera adoptar valores en los anexos DD, FF, GG. En donde se tienen en cuenta los valores que se consideran con el fin de dar un valor adecuado y llegar a un resultado, como consecuencia de las chispas, fuego o posibles explosiones en las acometidas de servicio o en los equipos que se encuentran conectados al sistema[9].

Capítulo 2. Diseño de sistema de puesta a tierra y sistema integrado de protección contra rayos.

2.1 Diseño de sistema de puesta a tierra

Para el diseño de sistema de puesta a tierra y el sistema integrado de protección contra rayos, en la subestación del municipio de Guacamayas, tiene un área de 15 metros (m) por 10 metros (m) para un total de 150 metros cuadrados (m^2), consta de dos cuartos, uno de control donde se encuentran las telecomunicaciones y el equipo de medida y otro para la disposición de los residuos. Las bahías de llegada y de salida tienen un área de largo 4,85 metros (m) por 5,25 metros (m) de ancho para un área de 25,46 metros cuadrados (m^2). Las características del sistema de puesta a tierra en la subestación cuentan con una cava con las siguientes dimensiones: los lados de 0,83 metros por 0,83 metros y una profundidad de 1,3 metros. Los electrodos se encuentran instalados en forma de triángulo, con espaciamiento de 0,35 metros como se muestra en la figura 4.

Figura 4 Detalles de la Cava



Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

2.1.1 Medición de terreno

Para realizar la medición de la resistividad del terreno se utilizó el método wenner, que consiste en utilizar un telurómetro de cuatro puntas, donde se ubicaron las puntas a 3,4 y 5 metros, obteniendo los siguientes resultados evidenciados en la siguiente tabla, para dar ajuste y unificar las medidas con ayuda del método estadístico de Box-Cox:

Tabla 3 Estadístico Box Cox

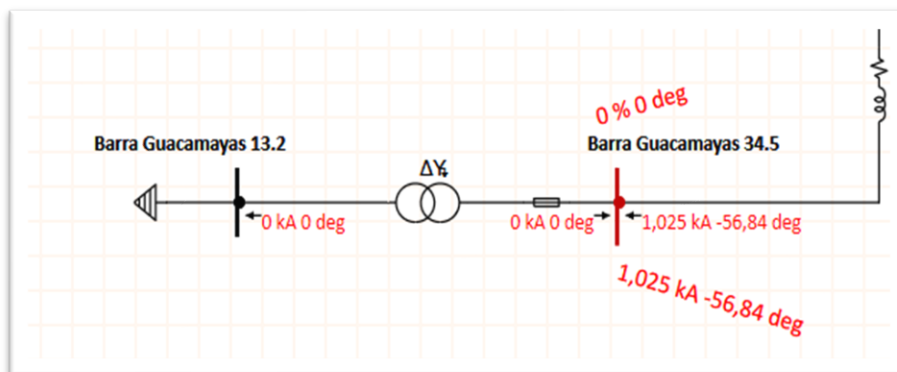
Box Cox		
Variación Estadístico Box Cox (70%)		
ρ_i (Ωm)	$X_i = \ln(\rho_i)$	$(X_i - \bar{X})^2$
17	2,833	0,002
72,2	4,279	1,961
17,3	2,850	0,0007
11,3	2,424	0,206
11,6	2,451	0,183
11,4	2,433	0,198
23,466	2,878	0,425
Desviación Estándar S		0,652
ρ (Ωm) ohmios metro		25,102

Fuente: Elaboración Propia

2.1.2 Corriente simétrica

La información de la corriente de falla es suministrada por el operador de red, la empresa de energía de Boyacá S.A E.S. P EBSA, se anexa la corriente en la barra de 34,5 kilovoltios (kV) donde la corriente de falla es 1,025 kiloamperios (kA) como se muestra en la figura 5, el factor de disminución de falla se tomará como 1, la duración de falla 0,25 segundos (s). con el fin de identificar el punto crítico de la corriente de falla.

Figura 5 Corriente de falla.








Fuente: EBSA

2.1.3. Selección del conductor

Para determinar el calibre del conductor actualmente instalado en el sistema de puesta a tierra, se tomó la medida del diámetro, para relacionarla con la referencia de diámetros de la comercializadora de cables CENTELSA y evidenciar su calibre. Se concluye el diámetro del conductor 4/0 AWG tal como se evidencia en la figura 6.

Figura 6 Detalles de conductor

Cantidad de Alambres	Calibre		Diámetro (mm)		RMG
	AWG / kcmil	Alambre	Cable	mm	mm
1 Alambre 	14	1,63	1,63		0,63
	12	2,05	2,05		0,80
	10	2,59	2,59		1,01
7 Alambres 	8	1,23	3,70		1,34
	6	1,56	4,67		1,69
	4	1,96	5,88		2,14
	2	2,47	7,42		2,69
19 Alambres 	1/0	1,89	9,47		3,59
	2/0	2,13	10,63		4,03
	3/0	2,39	11,94		4,52
	4/0	2,68	13,40		5,08

Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Utilizando la ecuación 20 para calcula el calibre del conductor.

$$A_{mm^2} = \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{TCAP}{t_c * \alpha_r * p_r}\right) * \ln\left(\frac{k_0 + T_m}{k_0 + T_a}\right)}}$$

I_f = corriente asimétrica de falla RMS en KA, se usa la mas elevada encontrada

A_{mm^2} =Área del conductor en_{MCM}

T_a = temperatura ambiente en grados celsius (°C).

T_m = máxima temperatura disponible o temperatura de fusión en (°C).

T_r = temperaturade referencia para las constantes del material en grados celsius (°C)

α_0 = coeficiente térmico de resistividad a 0 °C en 1/°C

α_r = coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia $\frac{T_r 1}{°C}$

P_r = resistencia del conductor de tierra a la temperatura de referencia $T_r, \mu \Omega - cm$

$$K_0 = 1/\alpha_0 \left[\left(\frac{1}{\alpha_0 0} \right) - T_r \right] \text{ en } °C$$

$TCAP$ = capacidad térmica por unidad de volumen en $\frac{J}{cm^3 * °C}$.

Se reemplaza los valores

$$A_{mm^2} = \frac{197,4}{\sqrt{\left(\frac{3,42}{0,5 * 0,00381 * 1,78}\right) * \ln\left(\frac{242 + 1084}{242 + 40}\right)}} = 56 \text{ mm}^2$$

De la tabla 1 se sustraen los datos de las constantes α_r, K_0, T_m, P_r y $TCAP$.

$$A_{mm^2} = 1,025 * 7,00 * \sqrt{0,25} = 3,5875 \text{ mm}^2$$

El resultado del diámetro se puede instalar el calibre minimo1/0, en el diseño está instalado el calibre 4/0.

2.1.4. Criterios de toque y contacto

Para determinar el factor de reducción C_s y el factor de transmisión del terreno k se utilizan las ecuaciones 4 y 5:

$$k = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} = \frac{25,10 - 100}{25,10 + 100} = -0,59$$

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{25,1}{100})}{2 * 0,15 + 0,09} = 0,94$$

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Para los criterios de toque y de contacto se asume el peso de las personas que interactúan en la subestación tienen un peso de 70 kilogramos y se calculan de la siguiente manera y utilizando las ecuaciones 6 y 7:

$$Ep_{70} = (1000 + 6c_s * p_s) * \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$

$$Ep_{70} = (1000 + 6 * 0,94 * 1000) * \frac{0,157}{\sqrt{0,25}} = 2,084 \text{ Voltios}$$

$$Ep_{50} = (1000 + 6c_s * p_s) * \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$

$$Et_{50} = (1000 + 1,5 * 0,94 * 1000) * \frac{0,157}{\sqrt{0,25}} = 756 \text{ Voltios}$$

Los resultados obtenidos son de las tensiones de paso para persona de peso 50 y 70 kilogramos.

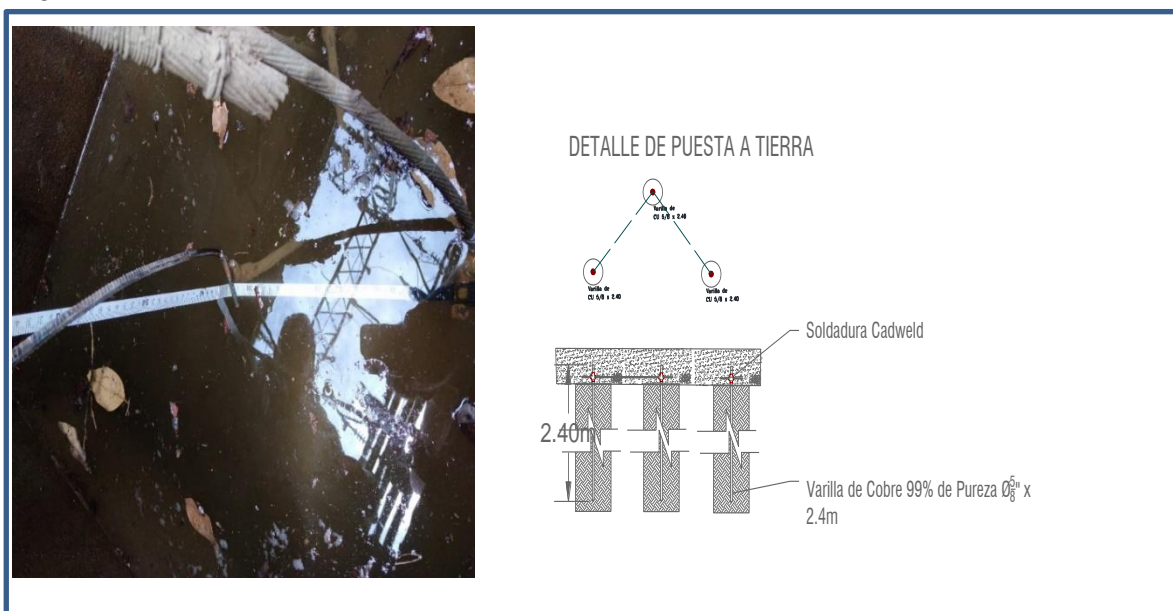
2.1.5. Diseño inicial del sistema

El diseño inicial del sistema, es un triángulo como se muestra en la figura 7, con espaciamiento de los electrodos de $D = 0.35 \text{ m}$ formando un triángulo equilátero, profundidad de enterramiento de las varillas se encuentran a $h = 0.5 \text{ m}$ y para en el conductor se utiliza la fórmula 16.

$L_T = D * N * L$	(17)
-------------------	--------

$$L_T = 0.53 \text{ m} * 3 * 2.4 \text{ m} = 3.816 \text{ m}$$

Figura 7 Diseño inicial



Fuente: Elaboración Propia

2.1.6. Resistividad de la red

Con base a las medidas realizadas en la subestación se toma la referencia de resistividad del terreno anteriormente calculadas de 25,46 ohmios (Ω) y el área construida de la red.

Se toma la ecuación 21 para hallar la resistividad del suelo de la subestación.

$$R_g = \left[\frac{1}{3,816} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 25,46}} \left[1 + \frac{1}{1+0,5 \sqrt{\frac{20}{25,46}}} \right] \right] = 8,46 \Omega$$

L_T = longitud total de conductores enterrados en m

p = resistividad de suelo

A = área ocupada por la malla de tierra metros cuadrados (m^2)

h = profundidad de la malla en metros (m)

2.1.7. Corriente de máxima la malla

La corriente de la red se toma como el punto más crítico, se toma del lado de alta o en 34,5 kilovoltios (kV). para realizar el cálculo se toma la ecuación 19 y obtener el factor de división de la corriente de falla

$$S_f = \frac{I_g}{3I_o} = \frac{1,025 A}{3 \cdot 0,667 A} = 0,51.$$

S_f = es el factor de división de corriente de falla

I_g = es el valor eficaz de la corriente simétrica en la malla en amperios (A).

I_o = es la corriente de secuencia cero en A.

I_G = es la máxima corriente de la malla en amperios (A).

D_f = es el factor de disminución para toda la duración t_f de la falla segundos (s).

Para determinar la corriente de la red se hace necesario combinar los anteriores resultados, tomar como referencia el factor de división $D_f = 1$ y $S_f = 0,51$ y utilizar la ecuación 16 para obtener la corriente máxima de la malla.

$$I_G = D_f * S_f * 3I_o$$

$$I_G = (1 * 0,51 * 2001) = 1020,51 A$$

2.1.8. Gradiente de potencial o potencia máxima de la malla

Para el gradiente de potencial se hace necesario calcularlo utilizando la ecuación 18.

$$GPR = I_G * R_g = 1020,51 \text{ A} * 8,46 \Omega = 8633,43 \text{ V}$$

2.1.9. Tensión de red

Para la tensión de paso se utiliza la ecuación 8:

Se utilizan las ecuaciones 8, 10, 11, 12,13 y 14 para obtener

$$E_m = \frac{\rho * I_G * K_m * K_i}{L_m}$$

$$E_m = \frac{25,10 * 1020,51 * 0,412 * 0,94}{187,13} = 53,011$$

$$k_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left[\ln \frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * d} - \frac{h}{4 * d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} * \ln \left[\frac{8}{\pi(2 * n - 1)} \right]$$

$$k_m = \frac{1}{2 * \pi} * \left[\ln \frac{0,35^2}{16 * 0,5 * 0,0174} + \frac{(0,35 + 2 * 0,5)^2}{8 * 0,35 * 0,0174} - \frac{0,5}{4 * 0,0174} \right] + \frac{1}{1,22} * \ln \left[\frac{8}{\pi(2 * 2 - 1)} \right]$$

$$= 0,412$$

$$k_i = 0,644 + 0,148 * n$$

$$k_i = 0,644 + 0,148 * 2 = 0,94$$

$$k_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0,5}{1}} = 1,22$$

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$$

$$n_a = \frac{2 * 4,05}{1,05} = 7,71$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{1,05}{4 * \sqrt{25,46}}} = 0,22$$

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 * L_y^2}} \right) \right] L_R$$

$$L_M = 4,05 + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{2,4}{\sqrt{0,35^2 * 0,35^2}} \right) \right] 7,2 = 187,30$$

Em 53,011 V vs Etouch 756 V

2.1.10. Tensión de paso

Para el cálculo de la tensión de paso se utiliza las fórmulas 11, 12, 13 y 14.

$$E_s = \frac{\rho * I_G * K_s * K_i}{L_s}$$

$$E_s = \frac{25,10 * 1020,51 * 0,692 * 0,94}{9,1575} = 1819 \text{ V}$$

$$L_s = 0,75 * L_C + 0,85 * L_r$$

$$L_s = 0,75 * 4,05 + 0,85 * 7,2 = 9,1575$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} * \left[\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} * \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{0,35 + 0,5} + \frac{1}{0,35} (1 - 0,5^{2-2}) \right] = 0,692$$

Es 1819 V vs Estep 2084 V

2.2. Diseño sistema integrado de protección contra rayos

Para el diseño del sistema integrado de protección contra rayos en subestación de 34,5 kilovoltios (kV) en el municipio de Guacamayas, se evaluó el nivel cerámico de la región, la densidad de descargas a tierra y el área a fin de proteger la estructura.

2.2.1. Según NTC 4552-1: "Parámetros máximos del rayo"

Para efectos de la investigación, se escogió el nivel de protección contra rayos NPRI, por lo tanto, se toma las características de los rayos de la tabla tomada de la NTC 4552-1 correspondiente a los valores máximos de acuerdo a NPRI y especificado en la tabla 4.

Tabla 4 Parámetros del rayo

Valores Máximos de Parámetros del Rayo de Acuerdo con el NPR			
Primera Descarga Corta			NPR
Parámetro	símbolo	unidad	I
Corriente pico	I	kA	200
Carga corta	Qcorta	C	100
Energía específica	w/R	kJ/Ω	10000
Descarga corta subsecuente			NPR
Parámetro	símbolo	unidad	I
Corriente pico	I	kA	54
Pendiente promedio	di/dt	kAμs	120
Parámetros de tiempo	T1/T2	μs/μs	0,4/50
Descarga larga			NPR
Parámetro	símbolo	unidad	I
Carga larga	Qlarga	C	100
Parámetro de tiempo	Tlargo	S	0,5
Rayo			NPR
Parámetro	símbolo	unidad	I
Carga	Qrayo	C	300

Fuente: NTC 4552-1

2.2.2. Según NTC 4552-2: “Evaluación de los componentes de riesgo”.

2.2.2.1. Según NTC 4552-2: “Evaluación de promedio anual de descargas sobre la estructura (N_D).”

Este se puede evaluar mediante la expresión, tomada como referencia en la siguiente tabla 4 y se tiene en cuenta otros aspectos relevantes como el área, el nivel cerámico (anexo O), este se toma como referencia de la gráfica del NTC 4552-2[9].

El número anual de descargas área efectiva

$$DDT = 0,0017 \cdot N_c^{1.56} \quad (22)$$

$$DDT = 5$$

En donde:

N_c =Número de días tormentosos al año.

El nivel cerámico de la región se toma como referencia del mapa de la gráfica del anexo O.

Área de la estructura

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Para subestación tiene una construcción de 15 metros por 10 metros, la estructura o la bahía de las entradas y las salidas de los circuitos tiene un área de 5,25 metros por 8,45 metros, las torres metálicas miden 12 metros de altura. Para realizar el cálculo del área se toma el anexo Q como referencia.

$$N_D = DDT * A_d * C_d * 10^{-6} \quad (23)$$

DDT = Densidad de rayos a tierra (rayos /Km² - año)

A_d = Área efectiva de la estructura aislada (m²)

C_d = Factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa del objeto a ser protegido.

$$A_d = Lw + 6 H(L + W) + 9\Pi(H)^2$$

$$A_d = 1214,051 \text{ metros cuadrados (m}^2\text{)}$$

- 2.2.2.2. Según NTC 45552-2: "Evaluación del número anual de N de eventos peligrosos (N_{Da})."

El número de eventos peligrosos se puede determinar mediante la siguiente fórmula, además de esto depende de la densidad de descargar a tierra (rayos)[9].

$$DDT = 0,0017 . N_c^{1.56} \quad (24)$$

$$N_{Da} = DDT * \frac{A_d}{a} * \frac{C_d}{a} * C_t * 10^{-6}$$

$$N_{Da} = 3,363^{-6}$$

$$DDT = \text{densidad de rayos a tierra } \left(\frac{\text{rayos}}{\text{Km}^2} - \text{año} \right)$$

$$\frac{A_d}{a} = \text{área efectiva de la estructura adyacente aislada (m}^2\text{)}$$

2.2.2.3. Según NTC 45552-2: "Evaluación del número promedio anual de descargas cercanas a la estructura (N_M)."

(25)

$$N_m = DDT * \left(A_m - \frac{A_d}{b} * C_{d/b} \right) * 10^{-6}$$

$$DDT = \text{densidad de rayos a tierra } \left(\frac{\text{rayos}}{\text{Km}^2} - \text{año} \right)$$

$$A_m = \text{área de influencia de la estructura (m}^2\text{)}$$

$$A_{d/b} = \text{área efectiva de la estructura m}^2$$

$C_{a/b} =$

factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa de la estructura protegida

2.2.2.4. Según NTC 45552-2: "Evaluación del número promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicio (N_L)."

$$N_L = DDT * A_L * Cd * C_t * 10^{-6} \quad (26)$$

$$N_L = DDT * A_L * Cd * C_t * 10^{-6} \quad N_L = 0,196341115$$

$DDT =$ densidad de rayos a tierra ($\frac{\text{rayos}}{\text{Km}^2} - \text{año}$)

$A_1 =$ área efectiva de descargas al servicio (m^2).

Se toma como referencia el anexo R, la acometida aérea donde nos da como resultado:

$$A_L = (L_c - 3(H_a * H_b))6H_c \quad (27)$$

$$A_L = 6021,50 m^2.$$

$A_L =$ Área efectiva de descargas sobre la acometida de servicio (m^2);

$A_i =$ Área efectiva de descargas próximas a la acometida de servicio (m^2);

$H_c =$ Altura (m) sobre la tierra de los conductores del servicio (m):

$$L_c = 100 m;$$

$H_a =$ Altura de la estructura donde proviene la acometida de servicio (m);

$H_b =$ Altura del punto de la estructura por donde ingresa la acometida de servicio (m);

$\rho =$ Resistividad del terreno donde la acometida es enterrada ($\Omega \cdot m$).

El máximo valor que se puede asumir es $500 \Omega \cdot m$. N_i

$$DDT * A_1 * C_e * C_t * 10^{-6} \quad N_i = 0,336376215$$

$DDT =$ Densidad de descargas a tierra (rayos $\text{Km}^2 / \text{año}$).

$A_1 =$ Área efectiva de descarga cercana al servicio m^2 ;

$C_e =$ Factor ambiental

$C_t =$ factor de corrección anexo P.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

2.2.2.5. Según NTC 45552-2: "Evaluación de número promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio (N_I)."

Para el cálculo se toma como referencia el área urbana = 0,1 y factor 1, según el anexo S.

2.2.3. Según NTC 45552-2: "Evaluación de probabilidad de daño (P_X)."

2.2.3.1. Según NTC 45552-2: "Probabilidad de daño (P_A)."

Al evaluar la probabilidad de daño P_A del anexo T, se toma como referencia la equipotencialización efectiva del suelo y esto equivale a: 10^{-2} .

2.2.3.2. Según NTC 45552-2: "Probabilidad de daño (P_B)."

Como método de selección para la evaluación de la probabilidad de daño P_B del anexo U, el nivel de protección contra rayos se toma el nivel I, por lo tanto, tiene como resultado 0,02.

2.2.3.3. Según NTC 45552-2: "Probabilidad de daño (P_C)."

La probabilidad de daño P_C , para efecto de este diseño se tomó como valor del nivel de protección contra rayos I, por lo cual el valor de referencia para P_{DPS} es 0,01.

2.2.3.4. Según NTC 45552-2: "Probabilidad de daño (P_M)."

$$K_{MS} = K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4}$$

$$K_{MS} = 6,26087E-05$$

Debido a que K_{MS} es menor que 0,013 se toma el valor de $P_{MS}=0,0001$.

$K_{S1}=0,12 * w$ factor de eficacia del apantallamiento de la estructura del sistema de protección externo o de otros escudos en la frontera LP_2 0/1 .

$K_{S2} = 0,12 * w$ factor de eficacia del apantallamiento interno de la estructura

$$LP_2 \text{ XY Y (X > 0,1 > 1)}.$$

K_{S3} =factor de características del cableado interno anexo W.

W Ancho de metros de la cuadrícula de escudo espacial, o el ancho de la malla o los conductores bajantes, o la distancia entre las columnas en sistemas que utilizan la estructura de concreto reforzado como sistema natural de protección contra rayos.

U_w Es el menor valor de la tensión soportable al impulso tipo rayo en K_v contenido en el sistema a proteger.

2.2.3.5. Según NTC 45552-2: “Probabilidad de daño (P_U).”

Para la evaluación del valor de la probabilidad de daño P_U , se tiene en cuenta el mismo valor de P_V , por lo tanto:

$$P_v = P_U = 0,1$$

2.2.3.6. Según NTC 45552-2: “Probabilidad de daño (P_V).”

En este caso el valor de la Probabilidad de daño (P_V), los DPS del diseño cumple los requisitos de equipotencialización se toma como valor del anexo V y por lo tanto se toma como valor: 0,1.

2.2.3.7. Según NTC 45552-2: “Probabilidad de daño (P_W).”

En este caso el valor de la Probabilidad de daño (P_W), los DPS del diseño cumple los requisitos de equipotencialización se toma como valor del anexo V y por lo tanto se toma como valor: 0,01.

2.2.3.8. Según NTC 45552-2: “Probabilidad de daño (P_Z).”

En este caso el valor de la Probabilidad de daño (P_W), los DPS del diseño cumple los requisitos de equipotencialización se toma como valor del anexo V y por lo tanto se toma como valor: 0,01.

2.2.3.9. Según NTC 45552-2: “Probabilidad de Daño P'_B y P'_C ”

$$I_a = 25 n x U_W (R_S * K_d * K_P)$$

$$I_a = 2577191,235$$

Donde:

K_d = factor que depende de las características de la línea anexo Y.

K_P = factor de medida de protección adoptado anexo Z.

U_W = Tensión soportada al impulso tipo rayo en K_v .

R_S = Resistencia ohmica del apantallamiento de cable en Ω/Km .

n = número de acometidas de servicio a la estructura .

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Teniendo en cuenta a I_a se toma la referencia de anexo Y, Z, AA para las probabilidades relacionada en este debido a que cuenta con DPS en la entrada de la acometida.

Los valores de P'_B , P'_C , P'_V y P'_W se toma como referencia del anexo AA. 0.005.

2.2.3.10. Según NTC 45552-2: "Probabilidad P'z."

La probabilidad se toma de referencia del anexo U como valor de referencia 0.001

2.2.4. Según NTC 45552-2: "Evaluación de la cantidad de pérdidas"

2.2.4.1. Según NTC 45552-2 "Pérdidas humanas"

Este varía según la condición de la posible pérdida de vidas debido a las diferentes situaciones de impacto de la descarga atmosférica, ya sea dentro, cerca y/o fuera de la estructura o en la acometida de servicio.

Para la evaluación de esta sección se utiliza las siguientes formulas, para efectos se toma los datos de los anexos: BB, CC, DD, FF, EE.

$$LX = (n_p/n_t) * (tp/ 8760)$$

n_p = número de posibles personas en peligro (víctimas).

n_t = número total de personas esperadas en la estructura

tp Tiempo en horas al año de permanencia de las personas en el lugar peligroso. fuera de la estructura se evalúa únicamente L_t y en el interior de la estructura se evalúa L_t, L_f y L_o .

r_a =Factor reductor de pérdida de vidas por características del suelo o terreno(anexo CC).

L_t = Pérdida debido a lesiones por tensiones de paso y contacto fuera de la estructura.

L_t = se puede estimar a través del anexo BB.

r_p

= Factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende de medidas de protección tomadas para reducir las consecuencias de incendio (anexo DD).

r_f Factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende del riesgo de fuego de la estructura (anexo EE).

h_z =Factor de incremento de pérdida debido a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas(anexo FF).

2.2.4.2. Según NTC 45552-2: “Pérdidas humanas por tensiones paso y de contacto fuera de la estructura L_A .”

La cantidad de pérdidas humana se estima fuera de la estructura y se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$L_A = r_a * L_t \quad L_A = 0,00000008$$

$$L_t = 10^{-4}$$

2.2.4.3. Según NTC 45552-2: “Pérdidas de vidas humanas por fuego y explosiones dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre las estructuras L_B .”

Para realizar la evaluación de estas pérdidas se toma como valor de los anexos DD, EE, FF:

anexo DD=1 (valores de reducción de perdidas por el fuego)

anexo EE = 10^{-3} (perdida por riesgo de fuego)

FF=1. (situaciones especiales de peligro)

$$L_B = r_p * h_z * r_f * L_f \quad L_B = 2,73973E-07$$

$$L_f = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_f = 0,00091324$$

2.2.4.4. Según NTC 45552-2: “Pérdidas de vidas humanas por tensiones de paso y de contacto dentro de la estructura L_U .”

Al evaluar este tipo de pérdida se toma de referencia los anexos BB, CC con los valores para: $L_t = 10^{-4}$ y $r_u = 10^{-2}$.

$$L_U = r_u * L_t \quad L_U = 0,00000008$$

2.2.4.5. Según NTC 45552-2: “Pérdidas de vidas humanas por daños físicos a causas de descargas en acometidas de servicio L_V .”

Con el fin de evaluar este tipo de pérdida se toma valores de referencia de los anexos: CC, DD, FF, EE.

$$L_V = r_p * h_z * r_f * L_f \quad L_V = 2,73972E-07$$

$$L_f = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_f = 0,00091324$$

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

2.2.4.6. Según NTC 45552-2: "Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura L_C ."

Este tipo de pérdida se evalúa teniendo en cuenta la siguiente ecuación.

$$L_C = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_C = 0,00091324$$

En este caso $L_C = L_O$.

2.2.4.7. Según NTC 45552-2: "Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio L_M ."

Este tipo de pérdida se evalúa teniendo utilizando la anterior ecuación.

$$L_M = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_M = 0,00091324$$

2.2.4.8. Según NTC 45552-2: "Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio L_W ."

Este tipo de pérdida se evalúa teniendo utilizando la anterior ecuación.

$$L_W = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_W = 0,00091324$$

2.2.4.9. Según NTC 45552-2: "Pérdida de vidas humanas por falla de sistemas Internos por IER a causa de descargas cerca de las acometidas de servicio L_Z ."

Este tipo de pérdida se evalúa teniendo utilizando la anterior ecuación.

$$L_Z = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_Z = 0,00091324$$

2.2.5. Según NTC 45552-2: "Pérdidas inaceptable del servicio público L_2 ."

2.2.5.1. Según NTC 45552-2: "Pérdida inaceptable del servicio público por explosión dentro de la estructura por arco eléctrico, por impacto sobre la estructura L_B ."

Para este cálculo se toma del anexo GG $L_f = 10^{-2}$, DD $r_p = 1$, y EE $L_f = 10^{-3}$.

$$L_B = r_p * r_f * L_f \quad L_B = 0,0000002$$

2.2.5.2. Según NTC 45552-2: "Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos causa de descargas sobre las acometidas L_V ."

Para este cálculo se toma del anexo GG $L_f = 10^{-2}$, DD $r_p = 1$, y EE $L_f = 10^{-3}$.

$$L_V = r_p * r_f * L_f \quad L_V = 0,0000002$$

2.2.5.3. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre en la estructura L_c .”

$$L_c = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_c = 0,00091324$$

2.2.5.4. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura L_M .”

$$L_M = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_M = 0,00091324$$

2.2.5.5. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre la estructura L_W .”

$$L_W = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_W = 0,00091324$$

2.2.5.6. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre la estructura L_Z .”

$$L_Z = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L_Z = 0,00091324$$

2.2.5.7. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente del rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la estructura L'_B .”

$$L'_B = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L'_B = 0,00091324$$

2.2.5.8. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descarga sobre la estructura L'_C .”

$$L'_C = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L'_C = 0,00091324$$

2.2.5.9. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente del rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre sobre la acometida de servicio L'_V .”

$$L'_V = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L'_V = 0,00091324$$

2.2.5.10. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla de equipos conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo L'_W .”

$$L'_W = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L'_W = 0,00091324$$

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

2.2.5.11. Según NTC 45552-2: “Pérdida inaceptable del servicio público por falla de líneas y equipos conectados causado por sobretensiones inducidas sobre líneas por descargas cercanas a la acometida L'_Z .”

$$L'_Z = (n_p/n_t) * (t_p/8 760) \quad L'_Z = 0,00091324$$

2.2.6. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas (L_4).”

Para evaluar los valores de las pérdidas económicas se tiene en cuenta los valores de los anexos CC, DD, FF, EE, HH.

$$L_x = c/c_t$$

$$L_X = r_p * r_f * h_z * L_f$$

c = el valor de posibles pérdidas de la estructura (incluido su contenido y actividad) relevante y su consecuencia. este valor se toma del anexo HH

c_t = valor total de la estructura (incluido su contenido y actividad relevante).

r_p = factor reductor de pérdida debido a daños físicos, depende medidas de protección para reducir las consecuencias de incendio(anexo DD).

r_f = Factor reductor de pérdida debido a daños físicos el cual depende de riesgo de fuego de la estructura (anexo EE)

h_z = Factor de incremento de pérdida debida a daños físicos por presencia de condiciones especiales peligrosas (anexo FF)

L_f = Pérdidas debido a los daños físicos.

2.2.6.1. Según NTC 45552-2: “Pérdida económica por tensiones de paso y de contacto fuera de la estructura (L_A).”

$$L_A = r_a * L_t \quad L_A = 0,00000008$$

Debido al tipo de estructura y de las acometidas se toma el valor del anexo HH, CC.

$$L_t = 0,00004 \text{ y } r_a = 0,002$$

2.2.6.2. Según NTC 45552-2: “ Pérdida económica por tensiones de paso y de contacto dentro de la estructura (L_u).”

$$L_u = r_u * L_t \quad L_u = 0,00000008$$

Debido al tipo de estructura y de las acometidas se toma el valor del anexo HH, CC.

$$L_t = 0,00004 \text{ y } r_a = 0,002$$

2.2.6.3. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por fuego o explosiones dentro de las estructuras por arco eléctrico por impacto sobre la estructura L_B .”

$$L_B = r_p * r_f * h_z * L_f \quad L_B = 0,0000002$$

Los valores para este tipo de pérdida se toman de los anexos anteriormente mencionados $r_p = 1$, $r_f = 10^{-3}$, $h_z = 1$ y $L_f = 10^{-4}$.

2.2.6.4 Según NTC 45552-2: “Pérdida económicas por daños físicos a causa de descargas en acometidas de servicio L_v .”

$$L_v = r_p * r_f * h_z * L_f \quad L_v = 0,0000002$$

Los valores para este tipo de pérdida se toman de los anexos anteriormente mencionados $r_p = 1$, $r_f = 10^{-3}$, $h_z = 1$ y $L_f = 10^{-4}$.

2.2.6.5. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura L_C .”

$$L_C = c/c_t \quad L_C = 10^{-4}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z$$

Este valor se tiene en cuenta para los siguientes tipos de pérdidas:

2.2.6.6. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas próximas a la estructura L_M .”

2.2.6.7. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre las acometidas de servicio L_W .”

2.2.6.8. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a las estructuras L_Z .”

2.2.6.9. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto estructura L_B .”

Los criterios de la evaluación se toman como referencia de la tabla del anexo HH tomando del valor: $L_B = 0,1$

2.2.6.10. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo fluyendo por la acometida de servicio por impacto sobre la acometida de servicio L_v .”

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Los criterios de la evaluación se toman como referencia de la tabla del anexo HH tomando del valor: $L_V = 0,1$

2.2.6.11. Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura L_C .”

Los criterios de la evaluación se toman como referencia de la tabla del anexo HH tomando del valor: $L_C = 10 - 4$

2.2.6.12. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo, por descargas sobre la estructura L_C .”

Los criterios de la evaluación se toman como referencia de la tabla del anexo HH tomando del valor: $L_C = 10 - 4$

2.2.6.13. Según NTC 45552-2: “ Pérdidas económicas por fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo L_W .”

Los criterios de la evaluación se toman como referencia de la tabla del anexo HH tomando del valor: $L_W = 10 - 4$

2.2.6.13 Según NTC 45552-2: “Pérdidas económicas por fallas de líneas y equipos conectados debidos causado por sobretensiones incluidos sobre la línea por descargas cercanas a la acometida de servicio L_Z .”

Los criterios de la evaluación se toman como referencia de la tabla del anexo HH tomando del valor: $L_Z = 10 - 4$.

En los anexos II, JJ, KK, LL, MM se encuentran el análisis para la toma de decisiones de los diferentes tipos de riesgos que se pueden observar en los anexos B, C, D, E, F, G, H, para evaluarlos, teniendo en cuenta el tipo de estructura y el área que se quiere proteger, se puede analizar el anexo A y los diferentes elementos que se requieren instalar para dar cumplimiento a la normatividad empleada. Para esto se evalúan los diferentes algoritmos de los anexos I, J, K, L.

Realizado el análisis de los diferentes anexos y planteando los elementos que se requieren utilizar para este diseño, se llega a la conclusión de que este diseño es un planteamiento para este optimo y cumple con la normatividad NTC 4552-2.

Capítulo 3. Análisis de los resultados

3.1. Análisis sistema de puesta a tierra

En el resultado de las tensiones de paso y de contacto, tensión de red y tensión de malla, donde se comparan y evaluando los resultados, se concluye que el sistema de puesta a tierra actualmente construido es óptimo y seguro para las personas que interactúan dentro de la subestación.

Para el diseño del sistema integrado de protecciones contra rayos. Se hace el análisis de los riesgos establecido en la norma NTC 4552-2 y haciendo el proceso del algoritmo anexo I, concluyendo que este sistema requiere hacer unas mejoras con respecto a la construcción actual.

Capítulo 4. Conclusiones, recomendaciones y presupuesto

4.1. Presupuesto.

Para realizar el proyecto nuevo, se presenta el siguiente presupuesto con el fin de dar un costo aproximado como se indica en tabla 5 costo del sistema de puesta a tierra y tabla 6 costo del sistema integrado de protecciones contra rayos:

Tabla 5 Presupuesto de sistema de puesta a tierra

PRESUPUESTO SISTEMA DE PUESTA A TIERRA					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
A	SPAT PPAL MATERIALES				
1	Cable 2/0 desnudo	ML	20	\$38.000	\$760.000
2	Soldadura Exotérmica	Und	4	\$19.500	\$78.000
3	Registro de inspección	Und	1	\$95.000	\$95.000
4	Varillas de cobre 5/8 x 2,40 m	Und	3	\$165.000	\$495.000
	SUBTOTAL A				\$1.428.000
B	MANO DE OBRA				
1	Excavación, relleno y retirada de escombros	ML	36	\$19.000	\$684.000
2	Aplicación soldadura exotérmica	Und	4	\$18.000	\$72.000

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 KV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

3	Hincada de varillas	Und	4	\$15.000	\$60.000
4	Tendido de cable 2/0	ML	20	\$6.500	\$130.000
5	Instalación Registro	Und	1	\$45.000	\$45.000
	SUBTOTAL B				\$991.000
C	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS				
	Herramienta general/ Transporte		Gl	1	150000
	AIU 25%				\$642.250
	IVA 19%				\$3.057.110
	TOLTAL				\$3.699.360

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Presupuesto de sistema de protección contra rayos

PRESUPUESTO SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCION CONTRA RAYOS					
ITE	DESCRIPCION	UNI	CAN	VR.	VALOR
M		D	T	UNITARIO	TOTAL
A					
1	Alambrón de 14,45 mm	M	250	\$38.000	\$9.500.000
2	Soportes	Und	50	\$4.000	\$200.000
3	Grapa de Aluminio Universal	Und	8	\$14.500	\$116.000
5	Grapas Bimetálicas	Und	4	\$28.500	\$114.000
7	Cajas de 15x15	Und	4	\$29.000	\$116.000
8	Puntas captoras de 5/8x 0;6 m	Und	4	\$70.200	\$280.800
9	Varillas de cobre 2;4x5/8	Und	4	\$162.000	\$648.000
10	Cable de cobre 1/0	M	25	\$22.500	\$562.500
11	Soldadura Exotérmica	Und	4	\$19.500	\$78.000
12	Cemento conductor	kl	100	\$5.000	\$500.000
13	Cable de Aluminio para Bajantes	M	72	\$7.500	\$540.000
15	Avisos de Prevención en los Bajantes	Und	4	\$25.000	\$100.000
16	Accesorio de equipotencializacion de la tubería	Und	4	\$22.000	\$88.000
	SUBTOTAL A				\$12.843.300
B					
1	Tendido de Alambrón	M	250	\$4.500	\$1.125.000
2	Instalación puntas captoras	Und	15	\$25.000	\$375.000
3	Instalación de Registro	Und	2	\$45.000	\$90.000
4	Instalación puntas captoras	Und	38	\$45.000	\$1.710.000
5	Construcción Bajantes	Und	4	\$220.000	\$880.000
6	Construcción SPT de cada bajante	Und	4	\$120.000	\$480.000

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

7	Equipotencializacion SPT de la S/E Y SPT de Pararrayos	Und	1	\$80.000	\$80.000
	SUBTOTAL B				\$4.740.000
C	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS				
	Herramienta general-Transporte y estadía	Gl	1	150000	\$ 150.000
	SUBTOTAL C				\$ 150.000
	AIU 25%				\$ 4.433.325
	IVA 19%				\$21.102.627
					\$
	Total				25.535.952

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Conclusiones y Recomendaciones

- Al redactar este libro se da cumplimiento al objetivo general planteado en el proyecto como es el análisis del sistema integrado de protecciones contra rayos y el sistema de puesta a tierra de la subestación de 34,5 kV del municipio de Guacamayas.
- En el diagnóstico de los sistemas anteriormente mencionado se encontró:
El sistema de puesta a tierra físicamente se encuentra deteriorado por falta de mantenimiento, en los empalmes o puntos de conexión se evidencia falsos contactos, debido a la corrosión en la parte metálica, adicionalmente las conexiones no garantizan una unión sólida, existen entises que pueden ocasionar aislamientos, por lo tanto, no sería efectivo el sistema de puesta a tierra, durante alguna falla o cortocircuito. El encerramiento de la subestación no se encuentra equipotenciado al sistema de puesta a tierra.
- Se sugiere programar un plan de mantenimiento, para corregir las uniones que no se encuentran soldadas o con una conexión sólida, además realizar la unión para formar la configuración del triángulo con el conductor y adicionalmente cepillar con un cepillo de acero hasta lograr quitar la corrosión de los conductores y las uniones. También realizar la conexión entre el enmallado del encerramiento y el sistema de puesta a tierra.
- Al realizar las mediciones del terreno con el método Wenner y tomando varias lecturas, así mismo utilizando el estadístico de BOX COX mencionado en la tabla 3 y realizados los cálculos del sistema de puesta a tierra, se evidencia que la

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

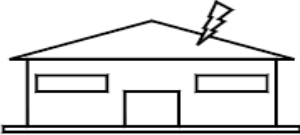
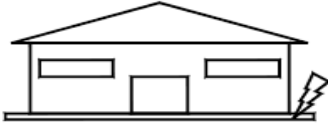

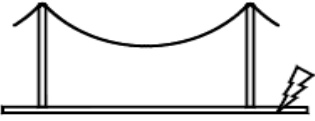
resistividad se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma NTC 2050 y el reglamento técnico de instalaciones eléctricas.

- En el diseño del sistema integrado de protecciones contra rayos, se evidencia que no cuenta con las cajas de inspección, en la estructura metálica del pórtico en los cuatro extremos, únicamente se encuentran instalados dos captadores. Por lo que se requiere instalar captadores en las puntas de las torres donde no los hay e instalar su respectiva bajante, hacer las cajas de inspección en los electrodos proyectados. Garantizando las uniones solidas de los electrodos con los conductores de las bajantes.
- Los dispositivos de sobre corrientes en uno de los circuitos no son los adecuados, debido a que en el diseño se considera la coordinación de los dispositivos de corriente (DPS), se hace necesario el cambio para satisfacer el diseño proyectado.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexos:

Anexo A Según NTC 45552-1: “Daños y pérdidas en una estructura según los puntos de impacto”

Punto de Impacto		Fuente de Daño	Tipo de Daño	Tipo de Pérdida
Estructura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ⁽²⁾ L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
Cerca de la estructura		S2	D2**, D3	L1 ⁽¹⁾ , L2, L4
Acometida de servicio entrando a la estructura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ⁽²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ⁽¹⁾ , L2, L4
Cerca de la acometida de servicio		S4	D3	L1 ⁽¹⁾ , L2, L4
<p>⁽¹⁾ Solo para estructuras con riesgo de explosión, hospitales u otra estructura en donde las fallas del sistema interno ponga en peligro la vida humana.</p> <p>⁽²⁾ Solo para propiedades donde exista pérdida de animales.</p> <p>** En el caso de estructuras con riesgo de explosión.</p>				

Fuente NTC 4522-1

Anexo B Según NTC 45552-2: “Daños y pérdidas en las acometidas de servicio en las situaciones de impacto.”

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Punto de impacto	Fuente de daño	Tipo de daño	Tipo de pérdida
Acometida de Servicio	S3	D2',D3	L1, L2,L4
Cerca a la acometida de servicio	S4	D3	L2,L4
Estructura supliada	S1	D2',D3	L1,L2,L4
* En el caso de tuberías con empaques o bridas no metálicos transportando fluidos explosivos			

Fuente NTC 4552-1

Anexo C Según NTC 4552-2: “Riesgo de los tipos de daño y perdida”

Daños	Pérdidas			
	L1 ¹⁾ Pérdida de vidas humanas	L2, L'2 ²⁾ Pérdida de servicio público	L3 ¹⁾ Pérdida de patrimonio cultural	L4, L'4 ²⁾ Pérdida Económica
D1 - Lesiones a seres vivos	R _s	-	-	R _s ³⁾
D2 - Daños físicos	R _r	R _r	R _r	R _r
D3 - Fallas de sistemas eléctricos y electrónicos	Ro ⁴⁾	Ro	-	Ro
¹⁾ Pérdidas asociadas a la estructura. ²⁾ Pérdidas asociadas a la estructura y a las acometidas de servicio respectivamente. ³⁾ Solo para propiedades agrícolas con posible pérdida de animales. ⁴⁾ Solo para hospitales u otro tipo de estructuras, donde las fallas en los sistemas internos inmediatamente atente contra la vida humana.				

Fuente: NTC 4552-2

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo D Según NTC 4552-2: “Componentes de riesgo para cada tipo de pérdida en estructura.”

Fuente de daño	Descargas sobre la estructura S1			Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios S3			Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4
	R_A^3	R_B	R_C^4	R_M^4	R_U^5	R_V^5	$R_W^{4,5}$	$R_Z^{4,5}$
Riesgo para cada tipo de pérdida								
R ₁	X	X	X ¹	X ¹	X	X	X ¹	X ¹
R ₂		X	X	X		X	X	X
R ₃		X				X		
R ₄	X ²	X	X	X	X ²	X	X	X

¹ Únicamente para estructuras con riesgo de explosión, y para hospitales u otras estructuras en donde la falla de sistemas internos ponga en peligro la vida humana
² Únicamente para propiedades en donde pueda haber pérdida de animales
³ Únicamente se calcula para exteriores
⁴ Únicamente se calcula si existe equipo sensible
⁵ Se debe calcular para cada tipo de acometida de servicios (alimentación eléctrica y telecomunicaciones)

R_A: Componente relacionada con las lesiones a seres vivos causados por tensiones de paso y contacto en las zonas con un radio de cobertura de 3 m fuera de la estructura.
NOTA 1 La componente de riesgo causado por tensiones de paso dentro de la estructura debido a descargas sobre la misma, no se considera en esta norma.
NOTA 2 En estructuras especiales, las personas pueden estar en peligro por descargas directas sobre las estructuras (por ejemplo en el último nivel de estacionamiento de garaje o estadios). Estos casos también pueden ser considerados usando los principios de esta norma.

R_B: Componente relacionada con los daños físicos causados por chispas peligrosas dentro de la estructura causando fuego o explosión.

R_C: Componente relacionada con la falla de sistemas internos causado por IER (Impulsos Electromagnéticos del Rayo).

R_M: Componente relacionada con la falla de sistemas internos causados por IER.

R_U: Componente relacionada con la lesiones en seres vivos causado por tensiones de contacto dentro de la estructura, debido a corrientes de rayo que fluyen por una línea entrante a la estructura.

R_V: Componente relacionada con los daños físicos (fuego o explosión por chispas entre las instalaciones externas y partes metálicas generalmente al punto de entrada de la línea a la estructura) debido a corrientes de rayo transmitida a través de la acometida de servicios.

R_W: Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura.

R_Z: Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las líneas de acometida y transmitida a la estructura.

NOTA 3 Las acometidas de servicios a tener en cuenta en esta valoración son únicamente las que entran en la estructura. Descargas próximas a tubos metálicos no son consideradas como fuentes de daño siempre y cuando dichos tubos estén equipotencializados a la barra equipotencial. Si la unión equipotencial no es provista esta amenaza debe ser considerada.

Fuente: NTC 4552-2

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo E Según NTC 4552-2: “Componentes de riesgo para los tipos de pérdida en la acometida”

Fuente de Daño	Descargas sobre la Estructura S1		Descargas sobre las acometidas de servicios S3		Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4
	R _B	R _C	R _V	R _W	R _Z
Componente de riesgo	R _B	R _C	R _V	R _W	R _Z
Riesgo para cada tipo de pérdida					
R ₁ ^(*)	X		X		
R ₂	X	X	X	X	X
R ₄	X	X	X	X	X
(*) Solo Para ductos metálicos sin continuidad eléctrica, que transporte fluido explosivo. R _B : Componente relacionado a daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos de la corriente de rayo a fluyendo a través de la acometida de servicio. (Impacto en la estructura). R _C : Componente relacionada a fallas de equipos conectados debido a sobretensiones por acople resistivo. R _V : Componente relacionada con daños físicos debido a efectos mecánicos y térmicos por la circulación de corriente de rayo. R _W : Componente relacionada a las fallas de equipo conectado, debido a sobretensiones por acople resistivo. Pérdidas del Tipo L2 y L4 pueden ocurrir. R _Z : Componente relacionada a la falla de líneas y equipos conectados causado por sobretensiones inducidas sobre la línea.					

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo F Según NTC 4552-2: “Componentes de riesgo para los daños en la estructura.”

Tipo de Daño		Lesiones a seres vivos	Daños físicos	Fallas de sistemas eléctricos y electrónicos
Componente de Riesgo		R _s	R _f	R _o
Tipo de Riesgo	R ₁	R _A + R _U	R _B + R _V	R _C + R _M + R _W + R _Z ⁽¹⁾
	R ₂	-	R _B + R _V	R _C + R _M + R _W + R _Z
	R ₃	-	R _B + R _V	-
	R ₄	R _A + R _U ⁽²⁾	R _B + R _V	R _C + R _M + R _W + R _Z
(1) Únicamente para estructuras con riesgo de explosión, o para hospitales u otras estructuras en donde la falla de sistemas internos ponga en peligro la vida humana. (2) Únicamente para propiedades en donde pueda haber pérdida de animales.				

Fuente: NTC 4552-2

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo G Según NTC 4552-2: “Componentes de riesgo para los tipos de daño en las acometidas de servicio.”

Tipo de daño		Lesiones a seres vivos	Daños físicos	Fallas de sistemas eléctricos y electrónicos
Componente de riesgo		R_s	R_F	R_O
Tipo de riesgo	R'_1 (*)	-	$R'_V + R'_B$	-
	R'_2	-	$R'_V + R'_B$	$R'_C + R'_W + R'_Z$
	R'_4	-	$R'_V + R'_B$	$R'_C + R'_W + R'_Z$
(*) Solo Para ductos metálicos sin continuidad eléctrica, que transporte fluido explosivo				

Fuente: NTC 4552-2

Anexo H Según NTC 4552-2: “Factores que influyen en los componentes de riesgo.”

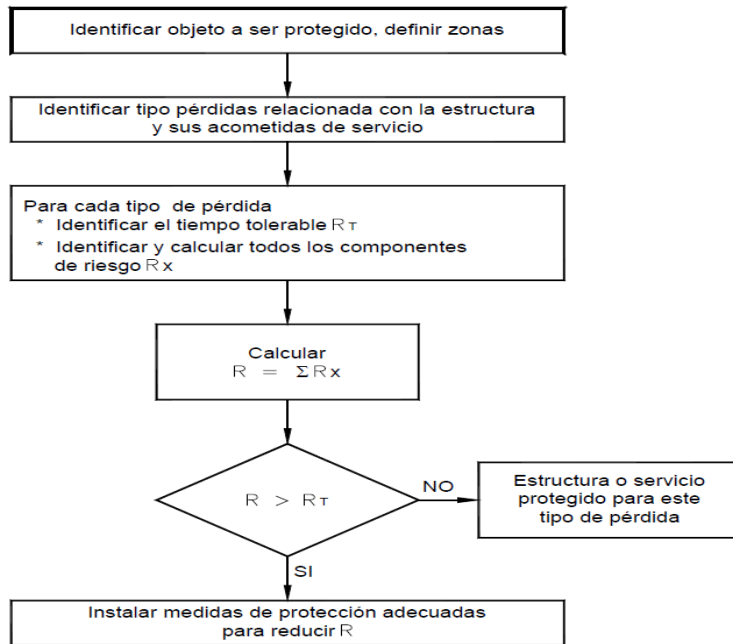
ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z	R' _B	R' _C	R' _V	R' _W	R' _Z
Área efectiva	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividad del terreno	X												
Resistividad del piso					X								
Restricciones físicas, aislamiento, Señalización de advertencia, Equipotencialización del suelo	X												
SIPRA	X ⁽¹⁾	X	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾							
Protección coordinada de DPSs			X	X			X	X	X	X	X	X	X
Apantallamiento espacial			X	X									
Apantallamiento de líneas externas					X	X	X	X					
Apantallamiento de líneas internas			X	X									
Rutas de evacuación			X	X									
Redes equipotencializadas			X										
Precaución contra fuego		X				X							
Sensores de fuego		X				X							
Peligros especiales		X				X							
Soportabilidad al impulso			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cable apantallado									X	X	X	X	X
Cable de guarda									X	X	X	X	X
Apantallamiento adicional de cables									X	X	X	X	X
<p>NOTA 1 Solo donde las estructuras tenga columnas reforzadas, o las vigas son usadas como sistemas de conducción natural.</p> <p>NOTA 2 Solo para SIPRA externos (Grillas o mallas externas SIPRA).</p> <p>NOTA 3 Debido a uniones equipotenciales.</p>													

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo I Según NTC 4552-2: "procedimiento para la decisión de protección."

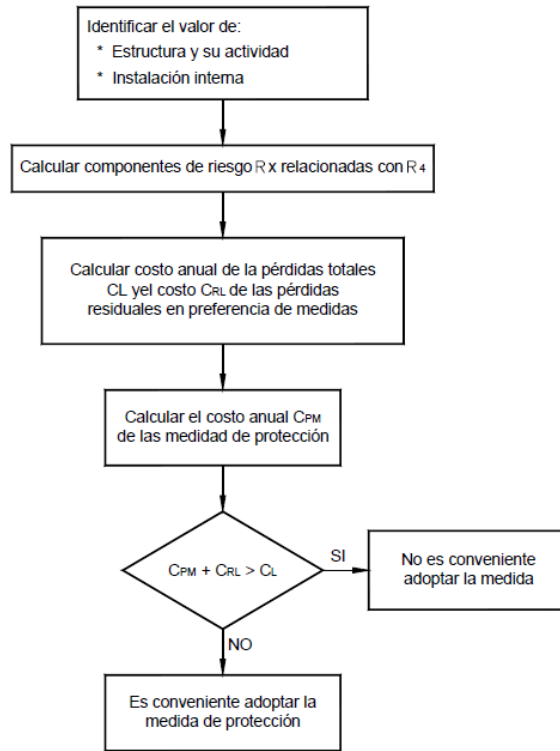
ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS



Fuente: NTC 4552-2.

Anexo J Según NTC 4552-2: "Procedimiento para la conveniencia económica de una medida de protección."

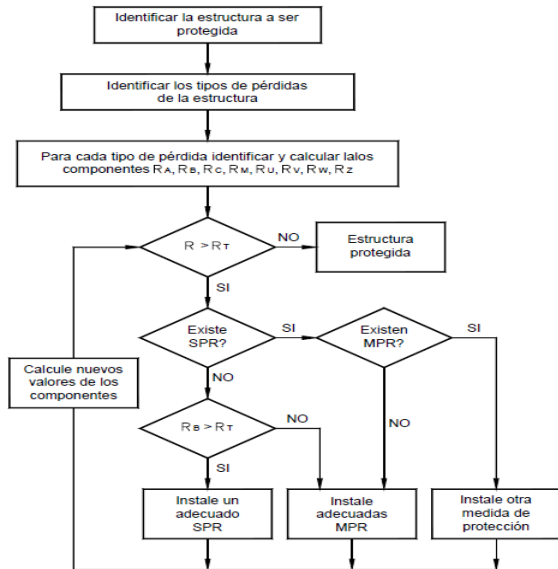
ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS



Fuente: NTC 4552-2.

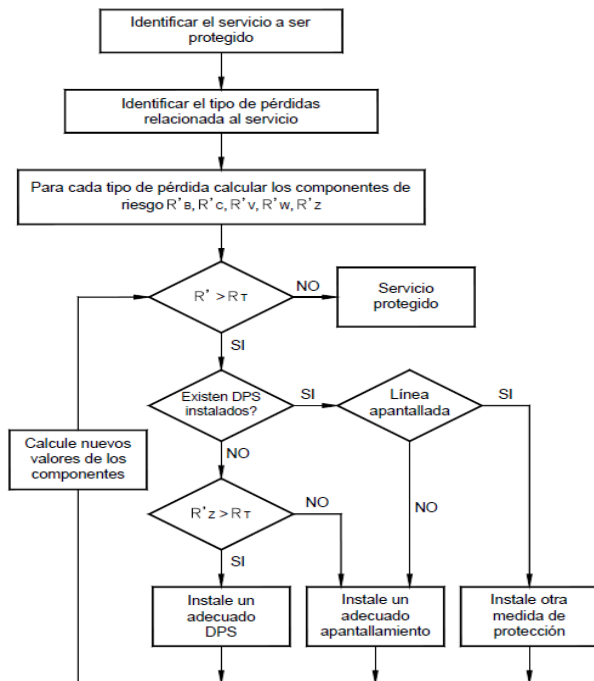
ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo K Según NTC 4552-2: “Procedimiento para medida de protección en estructuras.”



Fuente: NTC 4552-2

Anexo L Según NTC 4552-2: “Procedimiento para evaluación de medidas de protección en los servicios.”



Fuente NTC 4552-2.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo M Según NTC 4552-2: “Componentes de riesgo en estructura.”

Daño	Descargas sobre la Estructura S1	Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios S3 ⁽¹⁾	Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 ⁽¹⁾
D1	$R_A = N_D * P_A * L_A$		$R_U = (N_L + N_{Da}) * P_U * L_U$	
D2	$R_B = N_D * P_B * L_B$		$R_V = (N_L + N_{Da}) * P_V * L_V$	
D3	$R_C = N_D * P_C * L_C$	$R_M = N_M * P_M * L_M$	$R_W = (N_L + N_{Da}) * P_W * L_W$	$R_Z = (N_I - N_L) * P_Z * L_Z$
¹⁾ Si la línea tiene más de una sección (aérea, subterránea, apantallada, sin apantallamiento), el valor de R_U , R_V , R_W y R_Z serán la suma de los valores R_U , R_V , R_W y R_Z pertinentes a cada sección de la línea. En caso de que a la estructura lleguen más líneas conectadas a través de diferentes rutas, el cálculo se debe hacer para cada línea. NOTA 1 Las componentes L_x varían de acuerdo al tipo de riesgo a evaluar (R_1 , R_2 , R_3 , R_4) NOTA 2 Para el cálculo de R_Z si $(N_I - N_L) \leq 0$ entonces $R_Z = 0$				

Fuente: NTC 4552-2.

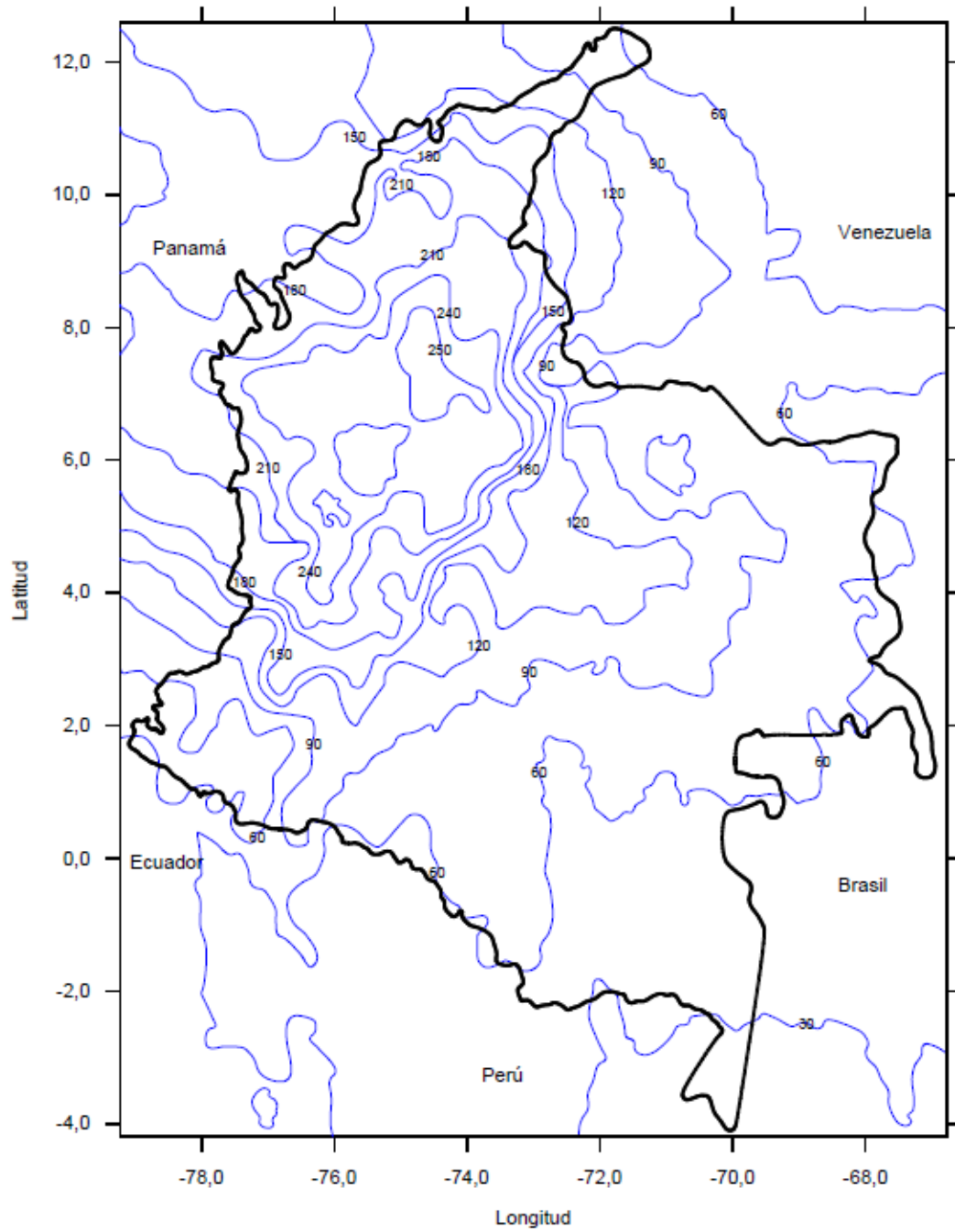
Anexo N Según NTC 4552-2: “Componentes de riesgo en acometidas de servicio.”

Daño	Descargas sobre la estructura S1	Descargas sobre las acometidas de servicios S3	Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4
D2	$R'_B = N_D * P'_B * L'_B$	$R'_V = N_L * P'_V * L'_V$	
D3	$R'_C = N_D * P'_C * L'_C$	$R'_W = N_L * P'_W * L'_W$	$R'_Z = (N_I - N_L) * P'_Z * L'_Z$

Fuente: NTC 4552-2.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo O Según NTC 4552-1: "Mapa nivel ceraunico Colombia."



Fuente. NTC 4552-1.

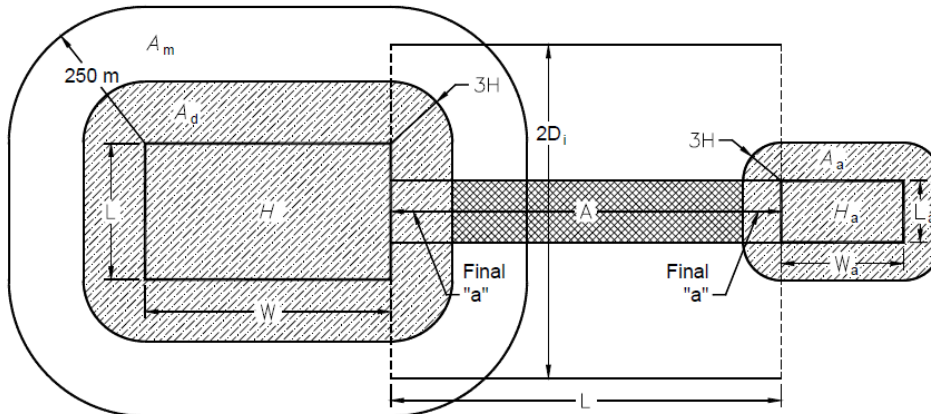
Anexo P Según NTC 4552-2: “Factor de corrección por presencia de transformador.”

Tabla 11. Factor de corrección por presencia de transformador

Tipo de transformador	C_t
Transformador con devanado primario y secundario desacoplados eléctricamente	0,2
Auto transformador	1
Sin transformador	1

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo Q Según NTC 4552-2: “Definición de áreas en estructuras adyacentes.”



Fuente: NTC 4552-2.

Anexo R Según NTC 4552-2: “Áreas efectiva de acuerdo al tipo de suelo.”

	Área	Subterránea
A_i	$(L_c - 3(H_a + H_b)) 6 H_c$	$(L_c - 3(H_a + H_b)) \sqrt{\rho}$
A_i	$1 000 L_c$	$25 L_c \sqrt{\rho}$

Fuente: NTC 4552-2.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo S Según NTC 4552-2: “Factor ambiental.”

Ambiente	C_e
Urbano con edificaciones altas ¹⁾	0
Urbano ²⁾	0,1
Suburbano ³⁾	0,5
Rural	1
¹⁾ Edificaciones de más de 20 m de altura ²⁾ Edificaciones entre 10 m y 20 m de altura ³⁾ Edificaciones menores a 10 m de altura	

Fuente NTC 4552-2.

Anexo T Según NTC 4552-2: “Valores de P_A .”

Medida de Protección	P_A
Sin medidas de protección	1
Aislamiento eléctrico de bajantes expuestas. (Ej. al menos 3 mm de polietileno)	10^{-2}
Equipotencialización efectiva del suelo	10^{-2}
Avisos de advertencia	10^{-1}
NOTA Si más de una medida de protección ha sido tomada, el valor de P_A es producto de los valores correspondientes según esta tabla.	

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo U Según NTC 4552-2: “Valores de P_B .”

Características de la estructura	Nivel de protección contra rayos	P_B
No Protegida	--	1
Estructura protegida	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estructura con un sistema de captación aéreo de acuerdo al nivel I y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes.		0,01
Estructura con techo metálico o un sistema de captación aéreo con protección completa de cualquier instalación el techo contra impactos directos de rayo y donde se usa el armazón de concreto reforzado como el sistema de bajantes.		0,001
NOTA Los valores de probabilidad descritos en la tabla son posibles siempre y cuando el sistema de protección contra rayos cumpla con los criterios de NTC 4552.		

Fuente: NTC 4552-2.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE 34,5 kV DEL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS

Anexo V Según NTC 4552-2: “Valores de P_{DPS} .”

Nivel de protección contra rayos	P_{DPS}
Sin sistema coordinado de protección	1
III - IV	0,03
II	0,02
I	0,01
Son posibles valores menores de P_C en el caso en que los dispositivos de protección tengan mejores características de protección (mayor capacidad de corriente soportable, menor nivel de protección, etc.) comparado con requerimientos definidos para el Nivel I de Protección contra Rayos.	0,005 - 0,001
NOTA Solo un sistema coordinado de DPSs es adecuado como medida de reducción de P_C . NOTA Sistemas internos apantallados conectados a líneas externas a través de ductos apantallados no requieren de un sistema coordinado de DPSs.	

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo W Según NTC 4552-2: “Valores K_{S3} ”

Tipo de Cableado Interno	K_{S3}
Cables sin pantalla - Sin precaución de evitar lazos en la ruta ¹	1
Cables sin pantalla – Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta ²	0,2
Cables sin pantalla – Con precaución de evitar lazos en la ruta ³	0,02
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $5 < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,001
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,0002
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,0001
¹ Lazo de conductores formado por diferentes rutas a lo largo de edificaciones largas (lazo del orden de 50 m ²) ² Lazo formado por conductores alojados en el mismo ducto con diferentes rutas en edificaciones pequeñas (lazo del orden de 10 m ²) ³ Lazo formado por conductores alojados en el mismo cable (lazo del orden de 0,5 m ²) ⁴ Cable con resistencia de pantalla R_s unida al barraje equipotencial en ambos extremos y equipo conectado al mismo barraje. NOTA para cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial; los valores de K_{S3} deben multiplicarse por 0,1	

Fuente NTC 4552-2.

Anexo X Según NTC 4552-2: “Valores de probabilidad de P_{LD} en sistemas internos en función de la resistencia apantallamiento R_s y la tensión soportable U_w del cable.”

Tipo de acometida	U_w [kV]	$5 < R_s \leq 20$ [Ω /km]	$1 < R_s \leq 5$ [Ω /km]	$R_s \leq 1$ [Ω /km]
Cable apantallado	1,5	1	0,8	0,4
	2,5	0,95	0,6	0,2
	4	0,9	0,3	0,04
	6	0,8	0,1	0,02
Cable NO apantallado	1			
R_s (Ω /km): resistencia del apantallamiento del cable.				

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo Y Según NTC 4552-2: “Valores del factor K_d como función de las características del apantallamiento de la línea.”

Característica de la Línea	K_d
Con la pantalla en contacto con el suelo	1
Con la pantalla sin contacto con el suelo	0,4

Fuente NTC 4552-2.

Anexo Z Según NTC 4552-2: “Valores del factor K_p como función de las medidas de protección.”

Medida de Protección	K_p
Sin medidas de protección	1
Cables adicionales apantallados - un conductor ¹	0,6
Cables adicionales apantallados - un conductor ¹	0,4
Ducto de cables protegido contra rayo ²	0,1
Cable protegido contra rayos ³	0,02
Cables adicionales apantallados - tubo de acero	0,01
¹ El cable apantallado está instalado 30 cm por encima del cable, dos cables apantallados están ubicados encima del cable dispuestos simétricamente con respecto al eje del cable. ² Ducto para cables de baja resistividad en contacto con el suelo (ej. ducto metálico o de concreto reforzado) ³ Cable especial con soportabilidad dieléctrica aumentada cuya pantalla metálica está en contacto continuo con el suelo.	

Fuente NTC 4552-2.

Anexo AA Según NTC 45552-2: “valores de probabilidades P'_B , P'_C , P'_V y P'_W , en referencia de la corriente de falla I_a ”

I_a [kA]	P'_B P'_C P'_V P'_W
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,9
20	0,8
30	0,6
40	0,4
50	0,3
60	0,2
80	0,1
100	0,05
150	0,02
200	0,01
300	0,005
400	0,002
600	0,001

Fuente: 4552-2.

Anexo BB Según NTC 45552-2: “Valores promedio de L_t , L_f y L_o típicos de para L_1 .”

Tipo de estructura	L_t
Todos los tipos – personas dentro de la estructura	10^{-4}
Todos los tipos – personas fuera de la estructura	10^{-2}
Tipo de Estructura	L_f
Hospitales, hoteles, edificios civiles	10^{-1}
Industrial, comercial, escuelas	5×10^{-2}
Entretenimiento público, Iglesias, museos	2×10^{-3}
Tipo de Estructura	L_o
Riesgo de explosión	10^{-1}
hospitales	10^{-3}

Fuente: 4552-2.

Anexo CC Según NTC 4552-2: “Valores de factores de reducción r_a y r_u en función del tipo de suelo”

Tipo de Superficie	Resistencia de contacto [K Ω] ⁽¹⁾	r_a y r_u
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Mármol, cerámica	1 - 10	10^{-3}
Gravilla, tapete	10 - 100	10^{-4}
Asfalto, madera, linóleo	≥ 100	10^{-5}
⁽¹⁾ Valores medidos entre 400 cm ² electrodos con una fuerza de 500 N y un punto infinito		

Fuente NTC 4552-2.

Anexo DD Según NTC 4552-2: “Valores de factores de reducción r_p en función de las medidas de prevención para reducir la consecuencia de fuego.”

Medida de prevención	r_p
Sin medida de prevención	1
Una de las siguientes prevenciones: Extintores manuales; instalaciones de alarma manual; hidrantes, compartimientos contra fuego; rutas de evacuación	0,5
Una de las siguientes prevenciones: Extintores automáticos; instalaciones de alarma automática (*)	0,2
(*) Solo si esta protegida contra sobretensiones o otros daños y tiempo de respuesta de los bomberos menor a 10 min. Si más de una de estas medidas de provisión se aplican, es necesario tomar el valor mas bajo entre los calculados individualmente. En una estructura con riesgo de explosión $r_p = 1$.	

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo EE Según NTC 4552-2: “Valores de factor de reducción r_f en función del riesgo de la estructura.”

Riesgo de fuego	r_f
Explosión	1
Alto	10^{-1}
Ordinario	10^{-2}
Bajo	10^{-3}
Ninguno	0

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo FF Según NTC 4552-2: “Valores de incremento h_z en función de la cantidad de pérdidas en presencia de situaciones especiales de peligro.”

Clase especial de riesgo	h_z
Sin riesgo especial	1
Nivel bajo de pánico (Edificación de dos pisos con un número no mayor a 100 personas)	2
Nivel medio de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes entre 100 y 1 000 personas)	5
Dificultad de evacuación (edificación con personas inmovilizadas)	5
Nivel alto de pánico (Edificaciones diseñadas para eventos culturales o deportivos, con un número de participantes superiores a 1 000 personas)	10
Peligro por ambiente alrededor	20
Contaminación del ambiente alrededor	50

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo GG Según NTC 4552-2: “Valores medios típicos L_f y L_o para L_2 .”

Tipo de servicio	L_f	L_o
GAS, ACUEDUCTO	10^{-1}	10^{-2}
TV, TLC, SUMINISTRO DE POTENCIA	10^{-2}	10^{-3}

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo HH Según NTC 4552-2: “Valores promedio típicos para L_t, L_f y L_o para pérdida económica L_4 .”

Tipo de Estructura	L_t
Todos los tipos – personas dentro de la estructura	10^{-4}
Todos los tipos – personas fuera de la estructura	10^{-2}
Tipo de Estructura	L_f
Hospitales, industrias, museos, uso agrícola	0,5
Hoteles, escuelas, oficinas, centros comerciales, Iglesias, bancos	0,2
otros	0,1
Tipo de Estructura	L_o
Riesgo de explosión	10^{-1}
Hospitales, Industria, oficinas, hoteles, bancos	10^{-2}
Museos, uso agrícola, escuelas, iglesias, centros comerciales,	10^{-3}
otros	10^{-4}

Fuente: NTC 4552-2.

Anexo II Según NTC 45552-2: “componentes de riesgo para cada tipo de daño en la estructura”

componentes de riesgo para cada tipo de daño en la estructura				
tipo de daño		lesiones a seres vivos	daños físicos	falla de sistemas eléctricos y electrónicos
componente de riesgo		Rs	Rf	Ro
tipo de riesgo	R1	3,94322E-11	1,7931E-06	6,69538E-06
	R2		1,7931E-06	6,69538E-06
	R3		1,7931E-06	
	R4	3,94322E-11	1,7931E-06	6,69538E-06

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo JJ Según NTC 45552-2: “componentes de riesgo para cada tipo de daño en las acometidas de servicio.”

componentes de riesgo para cada tipo de daño en las acometidas de servicio				
tipo de daño		lesiones a seres vivos	daños físicos	falla de sistemas eléctricos y electrónicos
componente de riesgo		Rs	Rf	Ro
tipo de riesgo	R'1		2,05171E-06	
	R'2		2,05171E-06	-0,000518002
	R'4		2,05171E-06	-0,000518002

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo KK Según NTC 45552-2: "Componentes de riesgos en estructura."

componentes de riesgos en estructura				
Daño	Descarga sobre la estructura S1	Descargas cercanas a las estructuras S2	Descargas sobre las acometidas de servicio S3	Descargas cerca de las acometidas de servicio S4
D1	1,63351E-13		3,92689E-11	
D2	1,63351E-13		1,7931E-06	
D3	3,72947E-08	0	1,7931E-06	4,86499E-06

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo LL Según NTC 45552-2: "Componentes de riesgo en acometidas de servicio."

componentes de riesgo en acometidas de servicio			
Daño	Descargas sobre la estructura s1	descargas sobre las acometidas de servicio s3	descargas cercanas a las acometidas de servicios s4
D2	2,04189E-06	9,81706E-09	
D3	2,04189E-10	9,81706E-09	0,000518012

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo MM Según NTC 45552-2: "Datos de Área y Densidad de Descargas Para la Subestación."

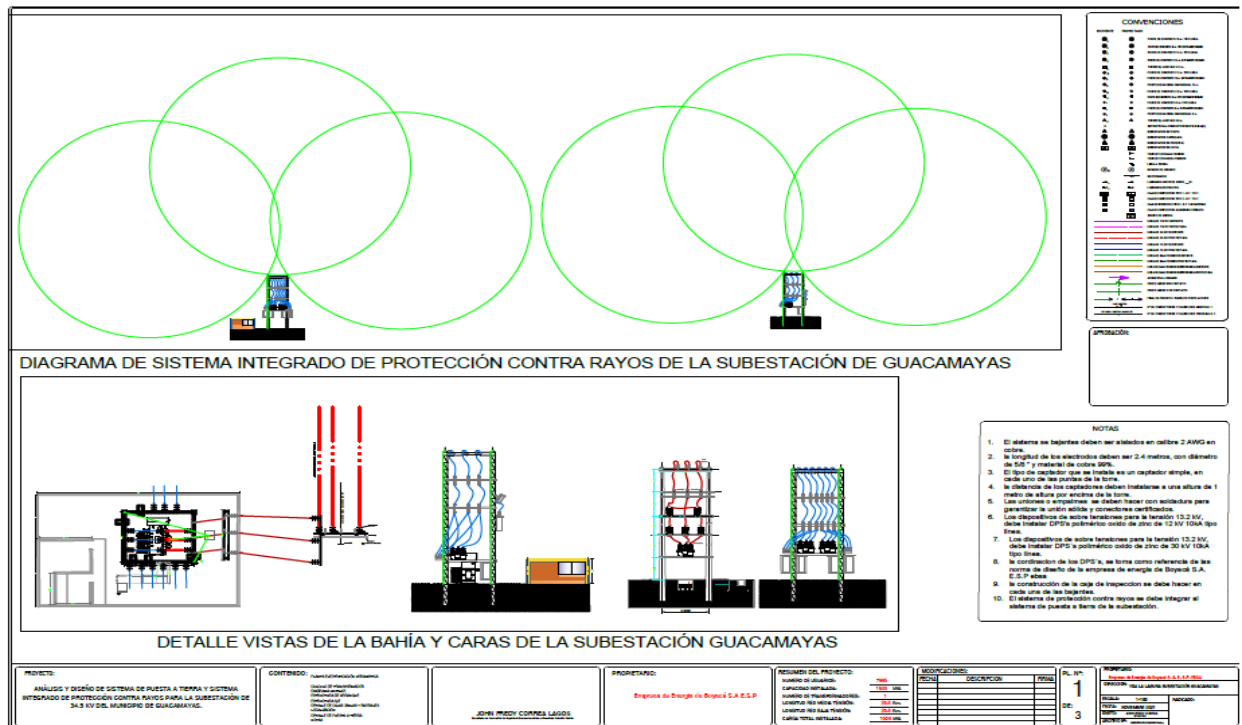
CACULOS PARA EVALUACION DE RIESGO PARA INSTALACION DE SISTEMA INTEGRADO DE PROTECCION CONTRA RAYOS			
IINSTALACION DE SISTEMA INTEGEADO DE PROTECCON CONTRA RAYOS PARA LA SUBESTACIONDE GUACAMAYAS 34,5 KV			
NOMBRE	SUBESTACION GUACAMAYAS 34.5 KV		
DIRECCION	SALIDA SAN MATEO VDA LA LAGUNA		
ZONA	GUACAMAYAS BOYACA		
DESNSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA (DDT)	5,606270253		
AREA A CALCULAR DE LA ESTRUCTURA		AREA A CALCULAR DE LA ESTRUCTURA ADYACENTE	
LARGO (L)	15	LARGO (L)	10
ANCHO (W)	10	ANCHO (W)	8
ALTURA (H)	12	ALTURA (H)	2,5

AREA EFECTIVA (Ad)	6021,504079	AREA TOTAL (Ad/a)	526,7145868
ND	0,001687909	NDa	0,000147645
NM	0,000981097		
NL	5180,193714		
NI	0,078487784		
área efectiva dependiendo de las características			
Am	250		
Ad/b	150		
Al	1848		
Ai	14000		

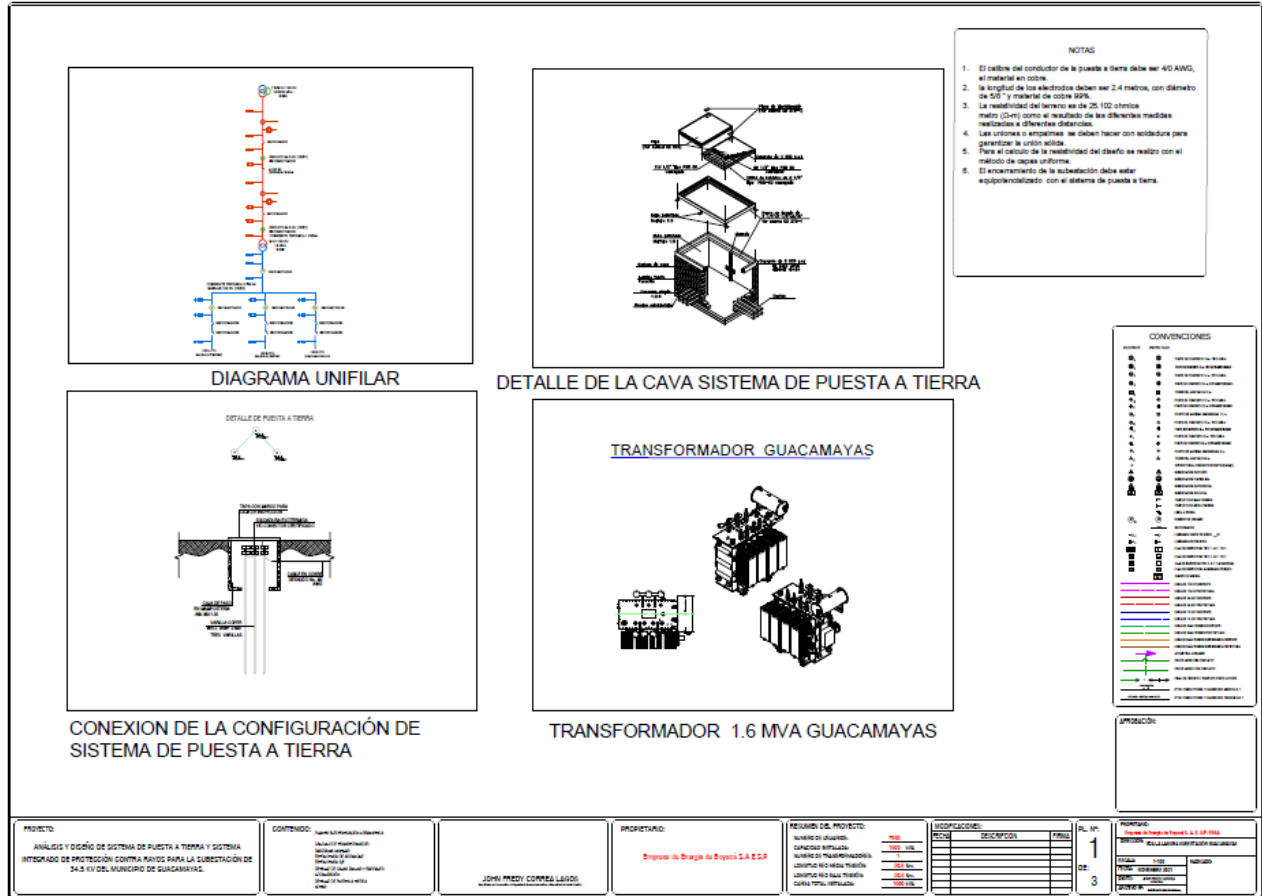
Fuente: Elaboración Propia

Anexo NN diseños de sistemas de puesta a tierra y sistema integrado de protección contra rayos en formato DWG.

Diseño del sistema de integrado de protección contra rayos



Diseño del sistema de puesta a tierra



Bibliografía

- [1] «Historia | EBSA». <https://www.ebsa.com.co/nuestra-empresa/historia/> (accedido nov. 21, 2021).
- [2] «(1) (PDF) NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 4552-1 | Oscar Eduardo Campillo Fraija - Academia.edu». https://www.academia.edu/9710508/NORMA_T%C3%89CNICA_NTC_COLOMBIANA_4552_1 (accedido may 03, 2021).
- [3] «Energía Eléctrica - Ministerio de Minas y Energía GM». <https://www.minenergia.gov.co/retie> (accedido nov. 21, 2021).
- [4] «IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding», *IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015)*, pp. 1-226, may 2015, doi: 10.1109/IEEESTD.2015.7109078.
- [5] «Apantallamiento Contra Rayos | Relámpago | Electricidad». <https://es.scribd.com/document/400154438/Apantallamiento-Contra-Rayos> (accedido may 07, 2020).
- [6] «IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System - Redline», *IEEE Std 81-2012 (Revision of IEEE Std 81-1983) - Redline*, pp. 1-192, dic. 2012.
- [7] «IEEE Xplore Abstract Record». Accedido: mar. 17, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6654225>
- [8] «Snapshot». Accedido: may 07, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/400154438/Apantallamiento-Contra-Rayos>
- [9] «NORMA TÉCNICA COLOMBIANA - PDF Free Download». <https://docplayer.es/21056730-Norma-tecnica-colombiana-4552-2.html> (accedido nov. 22, 2021).
- [10] «NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 4552-3 - sistema de puesta a tierra usando adecuadamente los cimientos - [PDF Document]», *fddocuments.in*. <https://fddocuments.in/document/norma-tecnica-ntc-colombiana-4552-3-sistema-de-puesta-a-tierra-usando-adecuadamente.html> (accedido nov. 23, 2021).