

## **Pararrayo Multipuntas Tipo Franklin para Protección de Descargas Atmosféricas de Equipos Eléctricos y Electrónicos**

**Gallardo, Carlos**<sup>1</sup>

Universidad SEK

[cgallardo.istg@gmail.com](mailto:cgallardo.istg@gmail.com)

**Repetto, Juan**<sup>2</sup>

Instituto Superior Carlos Cisneros

[jrepetto88@hotmail.com](mailto:jrepetto88@hotmail.com)

**Yungan, Luis**<sup>3</sup>

Instituto Superior Carlos Cisneros

[luisefra47@hotmail.com](mailto:luisefra47@hotmail.com)

**Quishpi, Carlos**<sup>4</sup>

Instituto Superior Carlos Cisneros

[carlosandres25031992@outlook.com](mailto:carlosandres25031992@outlook.com)

Recibido: 16/02/2020

Aceptado: 01/04/2020

### **RESUMEN**

Las descargas eléctricas provocan sobretensiones que pueden alcanzar los 6000 voltios hasta 3000 amps, por lo tanto, el impacto en las edificaciones causa daño en la infraestructura, equipos eléctricos - electrónicos e instalaciones. El objetivo del estudio fue implementar un pararrayo multipuntas tipo Franklin según el sistema puesto a tierra para que proteja los equipos eléctricos y electrónicos de sobrecargas atmosféricas. El diseño metodológico fue de tipo aplicativo, puesto que, busca conocer, actuar, construir y modificar una problemática existente, mientras que, el enfoque de la investigación fue de orden cuantitativo, debido al análisis de simulación de escenarios generados para la construcción del pararrayo. El resultado principal fue la instalación del pararrayo logrando cubrir el edificio para protección de los equipos en su totalidad el edificio y proteja los equipos, dando como efecto su objetivo. Se concluye que el ángulo de captación de las descargas no depende ni de la altura de la estructura o del valor de la corriente, sin embargo, se debe tomar en cuenta la normativa IEEE que establece las pautas a cumplir en este tipo de edificaciones.

<sup>1</sup> Docente investigador, Universidad Internacional SEK, Ecuador.

<sup>2</sup> Docente investigador, Instituto Tecnológico Superior "Carlos Cisneros", Ecuador.

<sup>3</sup> Docente investigador, Instituto Tecnológico Superior "Carlos Cisneros", Ecuador.

<sup>4</sup> Docente investigador, Instituto Tecnológico Superior "Carlos Cisneros", Ecuador.

**Palabras clave:** Descargas eléctricas; Equipos eléctricos; Equipos electrónicos; Pararrayo tipo franklin.

## **Franklin-type multi-purpose arrester for protection of atmospheric discharges in electrical y electronic equipment**

### **ABSTRACT**

Electric shocks cause surges that can reach 6000 volts up to 3000 amps, therefore, the impact on buildings causes damage to infrastructure, electrical-electronic equipment and facilities. The objective of the study was to implement a Franklin multi-purpose lightning rod according to the grounded system to protect electrical and electronic equipment from atmospheric overloads. The methodological design was of the application type, since it seeks to know, act, build and modify an existing problem, while the research focus was of a quantitative nature, due to the simulation analysis of scenarios generated for the construction of the lightning rod. The main result was the installation of the lightning rod managing to cover the building to protect the equipment as a whole and protect the equipment, giving as its effect its objective. It is concluded that the angle of collection of the discharges does not depend on the height of the structure or the value of the current, however, the IEEE regulations that establish the guidelines to be met in this type of buildings must be taken into account.

**Keywords:** Electric shock; Electric equipment; Electronic equipment; Franklin type lightning rod.

### **Introducción**

Las descargas atmosféricas también conocidas como rayos, siempre estuvieron presentes en la historia de la humanidad. Es por ello que una de las manifestaciones más llamativas de las tormentas son las descargas eléctricas, generadas ya sea entre nubes o de nube a tierra. En el país, el promedio de días al año en que hay una tormenta eléctrica (también denominado nivel cerámico) es significativo, es decir, que ocurre con frecuencia. En la Amazonía este es un promedio mayoritario con relación a las otras regiones (Costa, Sierra y Galápagos),

por dichas condiciones climatológicas, se debería tomar en cuenta herramientas que ayude a proteger las edificaciones contra rayos.

No obstante Verdugo, Aires y Merchán (2018), señalan que las descargas eléctricas se producen a menudo en Esmeraldas, Tena o Quito por su ubicación geográfica. Mientras que, CONELEC (2011) indica que en el país los fallecimientos causados por rayos ocupan el décimo lugar y la inexistencia de sistemas de prevención direccionada hacia dichas situaciones.

Por lo tanto, en la temporada de invierno muchos de los ciudadanos de la región costa no se preocupan en proteger las edificaciones de tormentas eléctricas, esto ocasiona daño en la infraestructura, equipos eléctricos, instalaciones e incluso vidas humanas. Por otro lado, la región amazónica ha registrado más prevalencia de descargas eléctricas, alrededor de 10 y 20 golpes por kilómetro cuadrado al año (Gualpa y Mora, 2013).

No obstante, en la ciudad de Ambato, el nivel isoceráunico ocurre en un promedio de veinte (20) tormentas eléctricas anuales, los mismos que, son estimados por cambios climáticos, volviéndolos impredecibles (Camacho, Ivonne, y Trujillo 2018). En este sentido, se ha considerado necesario implementar un sistema de protección contra descargas atmosféricas basado en un pararrayo y un sistema puesta a tierra; en sí, la colocación de este instrumento, permitirá prevenir o mitigar ampliamente el deterioro causado por los rayos, a partir de una serie de receptores con rutas de baja impedancia para conducir la gran corriente de la descarga inofensivamente.

Mientras que, en la periferia del Instituto Superior Tecnológico Guayaquil (ISTG) campus Picaihua se han evidenciado los daños de los equipos originados por las descargas atmosféricas, las cuales provocan sobretensiones que duran solo unos o pocos microsegundos, de manera que, resulta ser perjudicial para los aparatos y dispositivos eléctricos y electrónicos. Su magnitud puede alcanzar los

6000 voltios y 3000 AMPS (Álvarez y Borrajero 2018). Por tal razón, la principal problemática que enfrenta el instituto educativo es la inexistencia de sistemas de protección atmosférico que interrumpe el funcionamiento momentáneo o genera daños permanentes en los equipos.

Por lo tanto, la capacidad del equipo para soportar los transitorios, tiene un gran impacto en su fiabilidad. Tomando en cuenta, la norma IEEE Std 80-200. La implementación de un sistema de protección contra los rayos es advertir o mitigar en gran medida el deterioro causado por un rayo directo o cercano a la instalación protegida (Ramirez y Cano, 2010).

De modo que, el pararrayo multipuntas tipo Franklin está diseñado para evitar daños al proporcionar una serie de receptores de ataque preferenciales con rutas de baja impedancia para conducir la gran corriente del rayo inofensivamente a tierra (Landerá et al. 2014). Los principios básicos de los sistemas convencionales de protección contra descargas han sido incorporados en muchos estándares nacionales e internacionales.

De acuerdo con Castro (2010), actualmente los pararrayos se utilizan en torres, fabricas, edificios y plataformas de lanzamiento de transbordadores espaciales, que consta principalmente de cuatro partes, las cuales son supresores de sobretensiones, terminales de aire de cobre, varillas de tierra revestidas de cobre y cable de cobre. Por lo cual, se propone implementar un pararrayo para la protección de los equipos eléctrico y electrónicos.

De tal manera, se planteó la siguiente interrogante de investigación ¿Cuáles son los procesos para implementar un sistema de protección contra descargas atmosférica?. Para el desarrollo del estudio fue necesario tomar en cuenta los principales elementos teóricos que facilitaron en el desarrollo y la implementación del estudio.

## **Pararrayo**

Los pararrayos solo sirven para encaminar el relámpago de manera inofensiva al suelo. Al hacerlo, desvían el rayo cuyo está a una distancia de diez (10) a cien (100) yardas. Seguidamente Alba y Hernández (2018), aseguran que los pararrayos deben tener ciertas características como los son: terminal de aire, enlace, conductor.

- Terminal de aire: es un tipo de dispositivo de terminación de contacto instalado intencionalmente con el fin de interceptar relámpagos (Lazo y Vélez, 2016).
- Enlace: sirve para una conexión eléctrica entre un objeto eléctricamente conductor y un componente de un sistema de protección contra rayos (Escalada 2013).
- Conductor: proporciona una igualación potencial entre cuerpos conductores en / sobre la estructura.

Por lo tanto, el rango de protección forma una base circular alrededor del edificio a proteger. Este sistema se usa para edificaciones de una altura de 20 m o menos, este pararrayo reduce significativamente los daños causados por los rayos. Existen en versiones de níquel/cromo, cobre y acero inoxidable. Posee un modelo de 2,4 metros y puede expandirse con varillas de elevación de material de acero inoxidable o acero (Lazo y Vélez, 2016).

## **Nivel cerámico**

Con base a, Chica (2018) el nivel cerámico es un sistema para describir la actividad de rayos en un área basada en la detección audible de truenos. Se define

como el número promedio de días por año cuyo se escuchan truenos en un área determinada, y la probabilidad de una tormenta eléctrica.

Por lo tanto, el número de cerámico se ha utilizado para establecer estándares para el diseño seguro de sistemas eléctricos en estructuras conectadas a la red eléctrica local. Antes de que se desarrollara la tecnología para detectar y registrar con precisión los relámpagos, las medidas de cerámico eran el medio estándar para evaluar la probabilidad de rayos en una ubicación. Sin embargo, un número de cerámico no distingue entre las formas de rayos, como nube a nube o nube a tierra, y está limitado por el requisito de que el trueno sea detectado audiblemente.

## **Zona de protección**

El concepto de zona de protección contra rayos, de acuerdo con Llerena (2018), es una estructura para crear un entorno de compatibilidad en el entorno del campo electromagnético que a su vez crea una inmunidad. Los requisitos más altos en cuanto a la capacidad del rayo se combinan con la capacidad de descarga y los descargadores de sobretensión, que realizan la transición de la Zona de Protección de Rayo 0A a 1 o 0A a 2. Esta zona debe poder conducir corrientes de rayo parciales, forma de onda 10 / 350  $\mu$ s varias veces sin destruir para evitar la entrada de corrientes de rayos parciales destructivas en la instalación eléctrica de un edificio.

## **Sistema de descarga eléctrica**

Los sistemas tradicionales de protección contra rayos, según Dávila et al. (2011), son sistemas eléctricos especiales diseñados para capturar y controlar los rayos. Estos sistemas intentan interceptar rayos y transportan la corriente de impacto a tierra con seguridad. Protegen edificios y otras estructuras mediante dispositivos de terminación de contacto (receptores), conductores principales y

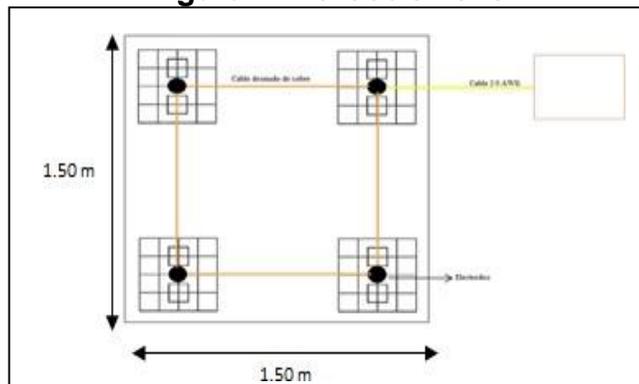
terminales de tierra (Mora y Syoval, 2009). Por lo tanto, los sistemas tradicionales de protección contra rayos generalmente también contienen uno o más conductores de unión.

Cuyo una descarga de rayos pasa a través de un sistema de protección contra rayos, su flujo de corriente hace que diferentes componentes del sistema alcancen diferentes voltajes. Estas diferencias se producen debido a la resistencia y la impedancia en el circuito (Avendaño, Ibañez, y Ortiz, 2016).

## Mallado a tierra

La malla puesta a tierra es importante ya que brinda protección, debido a que proporciona una vía rápida de descarga con la finalidad de proteger y asegurar; igualmente evita sobre voltajes ocasionados por los rayos, cabe mencionar que es un mecanismo de seguridad que forma parte de una instalación eléctrica, ocasionando el desvío hacia la tierra (Cando y Rosero, 2018).

**Figura 1.** Mallado a tierra



**Fuente.** Adaptado de Ruiz y Rivero (2014). *Modelación de sistemas depuesta a tierra para evaluación de sobretensión.*

## Materiales y métodos

El diseño metodológico del estudio es de tipo aplicativo, puesto que, busca conocer, actuar, construir y modificar una problemática existente. En este caso, se

prevé solventar los daños generados por los rayos de las tormentas eléctricas en los equipos eléctricos y electrónicos del edificio del ITS Guayaquil de la ciudad de Ambato.

De acuerdo al enfoque de la Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa, se analizan los escenarios generados para la construcción del pararrayo tipo Franklin, en cuanto a la medición de la superficie de implementación, el cálculo del calibre conductor, resistencia y longitud de la malla de tierra forman parte de dicha simulación (Monje, 2011)

Por ende, el nivel de investigación fue descriptivo, pues, describe características que producen las descargas atmosféricas que han sido generadas, se detalló el beneficio del pararrayo en el descenso de las descargas eléctricas, mediante la malla puesta a tierra. Así también, el estudio fue de corte transversal, ya que, el proyecto fue ejecutado en el periodo marzo-agosto del 2017.

En la tabla 1 se detallan los costos y materiales que fueron utilizados para la implementación del proyecto.

**Tabla 1. Costos y materiales**

Material	Imagen	Cantidad	Valor Unitario	Total
Tensor para 3/8		3	\$ 20,00	\$ 60,00
Pararrayo franklin 5 puntas		1	\$ 90,00	\$ 90,00
Varillas Cooperweld 5/8x1.80m + connector		4	\$ 6,45	\$ 25,80
Tratamiento de tierra		3	\$ 27,00	\$ 81,00
Contador de rayos INGESCO		1	\$ 400,00	\$ 400,00
Cable desnudo de cobre #2		25m	\$ 4,50	\$ 112,50
Suelda 115 FASTWELD (varilla cable)		3	\$ 5,00	\$ 15,00
Suelda 150 FASTWELD (cable cable)		1	\$ 5,00	\$ 5,00
Termómetro		1	\$ 300,00	\$ 300,00
Cable de hilos de aceros		39m	\$ 5,00	\$ 90,00
Tubería EMT 1 pulg		18m	\$ 43,21	\$ 43,21
Uniones de 1pulg		6	\$ 1,00	\$ 6,00
Conectores de 1pulg		2	\$ 1,00	\$ 2,00
Abrazaderas		10	\$ 1,00	\$ 10,00
Tacos F10		10	\$ 0,10	\$ 1,00
Tornillos colepato 1.5x10		10	\$ 0,10	\$ 1,00
Cemento		1	\$ 8,00	\$ 8,00
Arena y ripio		Lb	\$ 8,00	\$ 8,00
Base (torre)		1	\$ 70,00	\$ 70,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1461,36</b>

**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019).

De igual forma, en la tabla 2 se estableció el procedimiento que se llevó a cabo desde la implementación de electrodos, preparación del pararrayo y elaboración de sensores.

**Tabla 2.** Procedimiento del pararrayo Franklin

Proceso	Requerimientos	Nota	Elaboración	Imagen
Implementación de electrodos	-La resistividad del suelo	Sistema del pararrayo debe ser menor a $10\Omega$	- Construcción de 4 surcos con una profundidad 20cm y diámetro ( $\phi$ ) 40cm	
	-La agresividad del suelo (pH) -La estructura física del suelo - Los sistemas de protección contra la corrosión.		- Rellenar los surcos con el cemento (power gem) mezclado con agua, arena y ripio	
Preparación del pararrayo	-Considerar la altura (10m) - Fusión de tubería EMT	Normativas EIEC 62305 y IEC 62561C	-Unir el pararrayo Franklin con la tubería EMT -Atornillar	
Elaboración de sensores	-Tensor - Cable de hilo de acero		- Atravesar el tensor con el hilo aproximadamente 10cm -Sujetarlo con la abrazadera (repetir 4 veces)	

**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019)

## Resultados

El orden en el cual se presentan los resultados, es el siguiente: a) ubicación del pararrayo, b) ubicación del contador de descargas, c) calibre del conductor a tierra, d) resistencia de la red, e) diseño de la malla de tierra, f) modelo de simulación final.

### a) Ubicación del pararrayo

La norma editada según Soto, Pérez y Río (2018) indican que el montaje del pararrayo tipo franklin debe de ser estimado, desde la punta hasta la puesta a tierra del edificio, para ello se considera lo siguiente:

**Tabla 3.** Características del edificio

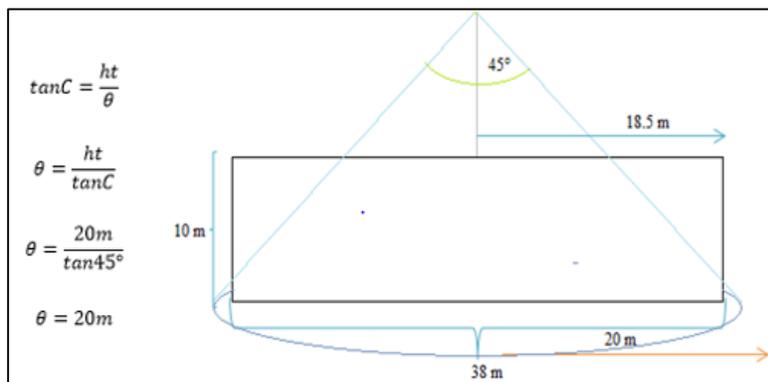
<b>Coordenadas geográficas</b>	Latitud: 1°16'31" S Longitud: 78°35'02"W
<b>Altitud</b>	2849 msnm
<b>Altura del edificio</b>	10 m
<b>Uso del edificio</b>	Aulas de clases
<b>Tipo de estructura</b>	Bloque
<b>Tipo de cubierta</b>	Techo metálico y techo de fibrocemento

**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019)

Se tomó como referencia el punto más alto del pararrayo, que forma un ángulo mínimo de 45° y un máximo de 60°. El edificio tiene 10m, el pararrayo 10m por separado y una altura total en conjunto de 20 m.

### Caso 1

**Figura 2.** Angulo de Protección 1

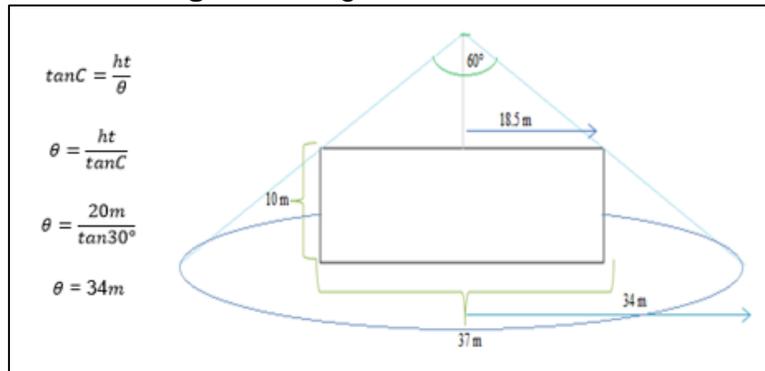


**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019)

La figura 2 presenta un ángulo de 45°, el mismo que, presenta deficiencias en la protección total del edificio. Por lo tanto, no se considera propicio para obtener el mayor rendimiento del mismo.

## Caso 2

**Figura 3. Angulo de Protección 2**



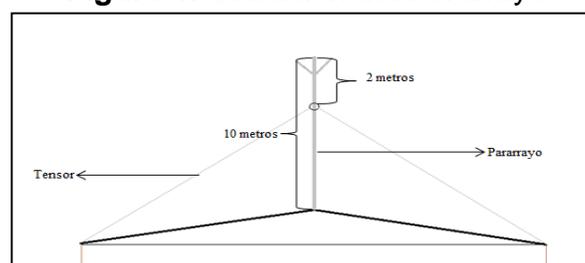
**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019).

Como se observa en la figura 3 en ángulo de  $60^\circ$ , el mismo que, cumple con las especificaciones acordadas con el objetivo, es decir, desempeña su función al proteger al edificio de manera absoluta.

El pararrayo se colocó en la mitad de la edificación. Para ello, el cable desnudo de cobre atravesó la manguera anillada, que se encontraba en la tubería EMT que estaba conectado con el pararrayo de 5 puntas.

A dos metros a partir desde la punta del pararrayo se instalaron dos conectores, los mismos que sirvieron para colocar los sensores. Por lo cual, se obtuvo estabilidad en el pararrayo (Ver figura 4).

**Figura 4. Ubicación del Pararrayo**



**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019)

## Ubicación del contador de descargas

La caja eléctrica que protege el contador de descargas, fue ubicada en la planta baja del edificio a 40 centímetros sobre el nivel del adoquinado. De tal manera, que el contador funge como intermediador entre el pararrayo y la malla. (Ver figura 5).

**Figura 5.** Ubicación del Pararrayo



**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019)

## Calibre del conductor a tierra

La malla de tierra fue construida con herramienta de suelda exotérmica, por lo cual, el valor de conductividad del conductor es del 97% y Kf es 7.06. (Ver tabla 2)

*Calculo para el mallado a tierra y su diseño*

El tiempo de duración de la falla  $t_s$ , se fijó en 1.5 segundos.

Calibre conductor a tierra (3)

$$A_{mm^2} = \frac{I_x K_f \sqrt{t_c}}{1.9740} mm^2$$

$$A_{mm^2} = \frac{IxKf\sqrt{tc}}{1.9740} mm^2$$

$$A_{mm^2} = \frac{5.1526x7.06x\sqrt{1.5}}{1.9740} mm^2$$

$$A = 22.57 mm^2$$

El diámetro del conductor es de 22.57 mm<sup>2</sup>, que corresponde al conductor de cobre #2AWG de siete hilos de diámetro 33.54 mm<sup>2</sup>. Además, las normas nacionales (NEC 250-81 y EEQ) e internacionales (IEEE Stda 80) el mínimo conductor a usarse en sistema de protección a tierra debe ser el cable de cobre #2AWG (mm<sup>2</sup>) de siete hilos, con el fin de mejorar la rigidez mecánica de la malla para soportar la corrosión (Ramirez y Cano, 2010; Soto et al., 2018).

## Diseño de la malla de tierra

Cálculo de longitud total del conductor:

$$L_t = L_c + N * LV [m] \quad (4)$$

$$L_T = 0.5m + (4) (1.80m)$$

$$L_T = 7.7m$$

Por Norma la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) el electrodo debe ser de 1.8m. Por ende, la longitud horizontal del conductor de mallas cuadradas o rectangulares es de 7.7 m. según la configuración de la figura.

## Resistencia de la Red

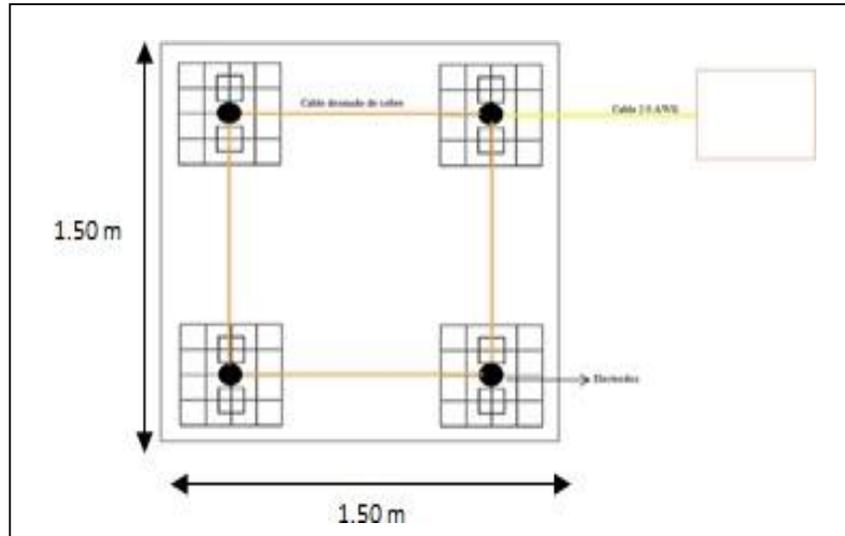
Cálculo de la resistencia de puesta a tierra R<sub>g</sub> en Ω

$$A = a^2 * \quad (5)$$

$$A = (1.50\text{m})^2$$

$$A = 2.25\text{m}^2$$

**Figura 6.** Área de mallado



**Fuente.** Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019).

Con esta finalidad, se calculó primordialmente el área de mallado, el cual permitió es siguiente calculo presentado.

$$R_g = P_x \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20XA}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (6)$$

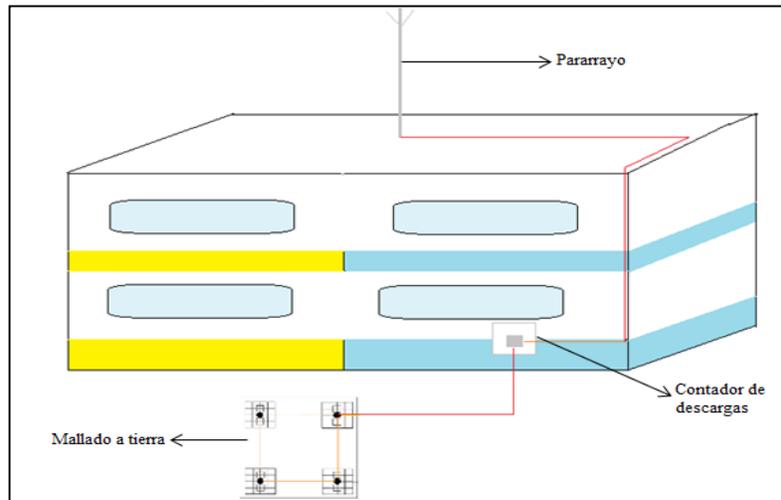
$$R_g = 10\Omega \left[ \frac{1}{77\text{m}} + \frac{1}{\sqrt{20(2.25\text{m}^2)}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.5\sqrt{\frac{20}{2.25\text{m}^2}}} \right) \right]$$

$$R_g = 3.38 \Omega$$

## Modelo de simulación final

Se determinó el modelo de simulación, en la cual se puede observar la estructura final del pararrayo (ver figura 7).

Figura 7. Área de mallado



Fuente. Elaboración propia. Gallardo, C; Repetto, J; Guaman, L y Quishpi, C (2019)

## Conclusiones

En respuesta a la interrogante investigativa, fue necesario la implementación de electrodos, preparación del pararrayo, elaboración de tensores y su colocación fue en un área estratégica donde se consideró el radio de cobertura que protege la totalidad del edificio. En este caso, se optó por la simulación de  $60^\circ$ , puesto que, brinda una protección de todo el edificio. De ese modo, el pararrayo cumplió con la funcionalidad que es resguardar ante las descargas eléctricas y preservar los dispositivos eléctricos y electrónicos durante tormentas eléctricas.

De la misma manera, se verificó que el área de captación y la probabilidad de impacto en estructuras altas y esbeltas dependen de la altura de la estructura y del valor de la corriente. El ángulo de captación de las descargas no depende ni de la altura de la estructura ni del valor de la corriente. Sin embargo, se debe tomar en

cuenta la normativa IEEE que establece las normas que debe cumplir este tipo de estructuras por criterios de seguridad.

El estudio se alineó al cumplimiento de la Norma IEEE Std 80-200. Se halló que la conductancia es de  $1\Omega$ , la misma que está dentro del rango de subestaciones pequeñas. Por esta razón, se midió la superficie de implementación, el cálculo del calibre conductor, resistencia y longitud de la malla de tierra.

Es esencial conocer el funcionamiento de la resistividad del suelo donde se va aplicar el mallado a tierra con relación a las descargas eléctricas para que el sistema de protección funcione correctamente y su resistencia en tierra sea entre 1 a  $5\Omega$  dentro de la normativa IEEE Std 80-200.

## Referencias consultadas

- Alba, Boris, y Orestes Hernández. 2018. **Desempeño de Modelos de Pararrayos de Óxido Metálico Frente a Impulsos de Corriente**. *Revista de Ingeniería Energética* 39: 65–75.
- Álvarez, Lourdes, y Israel Borrajero. 2018. **Distribución Espacial de Fenómenos Meteorológicos En Cuba Clasificados a Partir Del Código de Tiempo Presente II**. *Cubana de Meteorología* 24(1): 111–27. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/322506491\\_Distribucion\\_espacial\\_de\\_fenomenos\\_meteorologicos\\_en\\_Cuba\\_clasificados\\_a\\_partir\\_del\\_tiempo\\_presente\\_i](https://www.researchgate.net/publication/322506491_Distribucion_espacial_de_fenomenos_meteorologicos_en_Cuba_clasificados_a_partir_del_tiempo_presente_i).
- Avendaño, Carlos, Henry Ibañez, y Helmuth Ortiz. 2016. **Selección de DPSs En Sistemas Eléctricos de Baja Tensión Altamente Expuestos a Descargas Eléctricas Atmosféricas**. *Udistrial*: 16.
- Camacho, Oscar, Silvana Ivonne, y Hidalgo Trujillo. 2018. **Contribución Para La Implementación de Una Red de Detección de Rayos En Ecuador**. *Revista Politécnica* 41: 58.
- Cando, J., & Rosero, C. (2018). **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA ESTACION AUTONOMA DE MONITOREO DE RAYOS COSMICOS Y VARIABLES AMBIENTALES**. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de

<http://hdl.hyle.net/123456789/53>.

Castro, Miguel. 2010. **La Seguridad Eléctrica y Los Sistemas Eléctricos.** *Ingeniería Energética XXXI(1):* 10–18.

Chica, Anibal. 2018. **Análisis y Estudio Para Minimizar El Riesgo Por Descargas Atmosféricas y Determinación de Sitios Desprotegidos En Campus UCSG.** Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/hyle/3317/11405>.

CONELEC. 2011. **Estadística Del Sector Eléctrico Ecuatoriano - Folleto Resumen.** Ecuador.

Dávila, José, Galeas, Salomé, Guerrero, Víctor, Pontón, Patricia, Rosas, Nelly Sotomayor, Verónica, Valdivieso, Carla. 2011. **Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales.** Imprefepp. ed. Victor Guerrero. Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/hyle/15000/4532>.

Escalada, Ángel. 2013. **Implementación Del Sistema de Pararrayos Para Los Equipos de La Estación Base de La Torre 1 de La Radio Universitaria 98.5 MHz.** Universidad Nacional de Loja.

Gualpa, Eduardo, y Janeth Mora. 2013. **Estudio, Diseño e Implementación Del Sistema Eléctrico y Puesta a Tierra Para La Escuela Fiscal Mixta 'Gonzal Zaldumbide' de La Parroquia Lita-Ibarra.** Escuela Politecnica Nacional.

Landera, Yandi, Angel Rojas, Alberto Ruiz, y Adis Rivero. 2014. **Modelación de Sistemas de Puesta a Tierra Para Evaluación de Sobretensiones Transitorias.** *Ingeniería Energética XXXV:* 183–92.

Lazo, Juan Fernyo, y Norberto Vélez. 2016. **Estudio Para La Implementación de Pararrayos En Sistemas de Distribución de Media Tensión.** Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12782/1/UPS-CT006635.pdf>.

Llerena, Jose. 2018. **Evaluación de Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosféricas En Una Unidad Minera a 4000 MSNM Acondiciono Fórmula Para La Aplicación Del Método Electrogeométrico.** Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/hyle/UNSA/8348>.

- Monje Álvarez, Carlos Arturo. 2011. **Universidad Surcolombiana Metodología de La Investigación Cuantitativa y Cualitativa. Guía Didáctica.** Neiva. Colombia. Recuperado de <https://biblioteca.usco.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=23967>.
- Mora, César, y M. Syoval. 2009. **Modelos Erróneos Sobre La Comprensión Del Campo Eléctrico En Estudiantes Universitarios.** *Latin-American Journal of Physics Education* 3(3): 24.
- Ramirez, Samuel, y Eduardo Antonio Cano. 2010. **Sistemas de Puesta a Tierra: Diseñado Con IEEE-80 y Evaluado Con MEF.** In *Sistemas de Puesta a Tierra: Diseñado Con IEE-80 y Evaluado Con MEF*, Colombia, 122. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/hyle/unal/8215/eduardoantoniocanoplata.2010.pdf?sequence=1>.
- Soto, Edison, Ernesto Pérez, y Diego Río. 2018. **Obtención Del Índice de Fallas de Líneas de Distribución Ante Impactos Indirectos de Rayo En Zona Tropical.** *Revista UIS Ingenierías* 13(1): 217–22. Recuperado de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/7666>.
- Verdugo, Karla, Luis Aires, y Hernyo Merchán. 2018. **Contribución Para La Implementación de Una Red de Detección de Rayos En Ecuador.** *Revista Politécnica* 41(1): 17–24. Recuperado de [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/937](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/937).



Esta obra está bajo una  
licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.