



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS CON
DISPOSITIVOS DE CEBADO PARA EL LABORATORIO DE
AUTOTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA – CAMPUS GRAL. GUILLERMO
RODRÍGUEZ LARA**

AUTOR: MANZANO VELA, CRISTIAN ANDRÉS

DIRECTOR: ING. FREIRE LLERENA, WASHINGTON RODRIGO

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de investigación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS CON DISPOSITIVOS DE CEBADO PARA EL LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA – CAMPUS GRAL. GUILLERMO RODRÍGUEZ LARA”***, fue realizado por el señor ***Cristian Andrés Manzano Vela***, el mismo ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnico, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 2 de agosto de 2018

Firma:

Ing. Washington Freire

C.C. 1801910884



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, ***Cristian Andrés Manzano Vela***, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de investigación ***“Diseño e Implementación de un Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas con Dispositivos de Cebado para el Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga – Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara”***, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 2 de agosto de 2018

Firma:

.....
Cristian Andrés Manzano Vela

C.C.:0603803255



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, ***Cristian Andrés Manzano Vela***, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar el trabajo de investigación titulado: ***“Diseño e Implementación de un Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas con Dispositivos de Cebado para el Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga – Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara”***, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 2 de agosto de 2018

Firma:

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal dotted line. The signature is cursive and appears to read 'Cristian Andrés Manzano Vela'. Below the signature, the name 'Cristian Andrés Manzano Vela' is printed in a bold, black, sans-serif font.

Cristian Andrés Manzano Vela

C.C.:0603803255



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia por su apoyo incondicional.



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis profesores de la carrea de Ingeniería Electromecánica, a mis padres por inculcarme valores y principios, a mis hermanos por confiar siempre en mí y a mis amigos por su apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XIV

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Formulación del problema.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación.....	3
1.4 Importancia.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes Investigativos	5
2.1.1	Localización	5
2.1.2	Condiciones climáticas	6
2.2	Fundamentación Teórica	7
2.2.1	Rayos	7
2.2.2	Antecedentes de la investigación	14
2.3	Fundamentación Conceptual	16
2.3.1	Bases Teóricas	16
2.4	Fundamentación Legal	22
2.5	Sistema de variables.....	23
2.5.1	Definición nominal	23
2.5.2	Definición Conceptual.....	23
2.5.3	Definición Operacional.....	25
2.6	Hipótesis.....	27
2.7	Cuadro de operacionalización de las variables	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Modalidad de la investigación.....	31
3.2	Tipos de Investigación	31
3.2.1	Exploratoria	31
3.3	Diseño de la investigación	32
3.3.1	Exploratorio	32
3.3.2	Nivel descriptivo	32
3.3.3	Nivel Correlacional.....	32
3.3.4	Nivel explicativo	32

3.3.5 Nivel Experimental	33
3.4 Población y Muestra	33
3.5 Instrumentos para la recolección de datos	35
3.5.1 Instrumentos	35
3.5.2 Validez y confianza.....	36
3.6 Técnicas de análisis de datos.....	36
3.7 Técnicas de comprobación de hipótesis.....	37
3.7.1 Herramientas estadísticas	37
3.8 Criterios para la implementación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas utilizando pararrayos con dispositivo de cebado	37
3.8.1 Densidad de impactos de rayo sobre el terreno N_g	39
3.8.2 Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d) sobre una estructura...	39
3.8.3 Frecuencia aceptable de rayos (N_c) sobre una estructura.....	43
3.8.4 Selección del nivel de protección.....	44
3.8.5 Zona de protección	46
3.8.6 Cálculo de la resistencia de la malla a puesta a tierra	48

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Análisis de resultados.....	51
4.1.1 Desarrollo del sistema propuesto	53
4.1.2 Resumen de resultados.....	63
4.2 Discusión de resultados.....	64
4.3 Comprobación de Hipótesis.....	66

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 Datos Informativos.....	76
-----------------------------	----

5.1.1 Condiciones geográficas de la zona	77
5.2 Antecedentes de la propuesta	77
5.3 Justificación	78
5.4 Objetivos.....	79
5.5 Fundamentación de la propuesta	80
5.6 Diseño de la propuesta	80
5.6.1 Desarrollo del sistema propuesto	80
5.6.2 Resumen de resultados.....	83
5.7 Metodología.....	84
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Condiciones climáticas de la parroquia Belisario Quevedo.....</i>	7
Tabla 2	<i>Estudios e investigaciones referentes a la protección contra descargas atmosféricas.....</i>	14
Tabla 3	<i>Porcentaje de afectación según la colocación del sistema de protección</i>	19
Tabla 4	<i>Cuadro operacionalización de las variables.....</i>	28
Tabla 5	<i>Efectos causados por la descarga atmosférica.....</i>	38
Tabla 6	<i>Situación relativa a la estructura.....</i>	41
Tabla 7	<i>Tipo de construcción C₂.</i>	43
Tabla 8	<i>Contenido de la estructura C₃.....</i>	44
Tabla 9	<i>Ocupación de la estructura C₄</i>	44
Tabla 10	<i>Consecuencias sobre el entorno C₅.....</i>	44
Tabla 11	<i>Eficiencia del sistema y el nivel de protección</i>	45
Tabla 12	<i>Meses con mayores precipitaciones de lluvia durante el año</i>	51
Tabla 13	<i>Resistividad promedio del campus</i>	55
Tabla 14	<i>Valores máximos de resistencia de puesta a tierra.....</i>	57
Tabla 15	<i>Constantes de materiales para puestas a tierras.....</i>	58
Tabla 16	<i>Dimensiones de conductores de puesta a tierra.....</i>	60
Tabla 17	<i>Resultados de Eficiencia, nivel de protección y distancia de cebado.</i>	62
Tabla 18	<i>Datos pararrayos nimbus 15 CIRPROTEC.....</i>	63
Tabla 19	<i>Resumen de resultados.....</i>	63
Tabla 20	<i>Resumen de resultados.....</i>	83
Tabla 21	<i>Resumen de las fórmulas y criterios a implementar</i>	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica ESPE extensión- Latacunga Campus Gral. Guillermo Rodríguez.....	6
Figura 2 Rayo.....	8
Figura 3 Formación de un rayo	9
Figura 4 Sistema de protección contra descargas eléctricas en general.....	17
Figura 5 Método de las esferas rodantes	18
Figura 6 Funcionamiento de la Jaula de Faraday	20
Figura 7 Para rayos con dispositivo de cebado.....	22
Figura 8 Grafica para determinar el valor de A_e	40
Figura 9 Ejemplo estructura rectangular para captura equivalente	40
Figura 10 Ejemplo estructura compleja para captura equivalente	42
Figura 11 Zona de protección PDC.	46
Figura 12 fórmulas de cálculo de resistencia a tierra de la IEEE 80.....	49
Figura 13 Selección de fórmula dos varillas $S > L$ separación s de <i>IEEE 80</i>	54
Figura 14 Separación de varilla.....	55
Figura 15 Introducción de datos del proyecto en el Software Nimbus Project.....	68
Figura 16 Selección de normativa a utilizar en el Software Nimbus Project	69
Figura 17 Introducción del Nivel isocerámico en el Software Nimbus Project	69
Figura 18 Introducción de mediada de la edificación en el Software Nimbus Project...	70
Figura 19 Introducción de datos según estructura y cubierta de la edificación en el Software Nimbus Project.....	71
Figura 20 Introducción de datos según contenido, uso y actividades de la edificación en el Software Nimbus Project	72
Figura 21 Selección de la ubicación para el emplazamiento del pararrayos en el Software Nimbus Project	73
Figura 22 Resultados de sistema contra descargas atmosféricas en el Software Nimbus Project	74

Figura 23 Resumen de resultados en el Software Nimbus Project.....75

Figura 24 Laboratorio de Auto trónica ESPE extensión- Latacunga Campus Gral.
Guillermo Rodríguez 76

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se pudo determinar un nivel cerámico de 20.37 (número de impactos/año, km²) el mismo que se obtuvo con datos estadísticos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y las condiciones climáticas del canto Belisario Quevedo, hay que denotar que no se dispone de un mapa isocerámico del Ecuador, sin embargo en el proyecto de investigación se implementó un contador de descargas atmosféricas el cual recogerá datos más exactos sobre los eventos suscitados en la zona, esta información será valiosa en futuras investigación y determinar la cantidad de descargas que ocurren en la zona donde se realizó la implementación. Se analizó los protectores de descargas atmosféricas PDC, su zona de protección y su radio de protección, para el proyecto de investigación se determinó que el radio de protección adecuado para el laboratorio es de 32m. Las normas UNE 21186 y IEEE80 fueron consideradas para determinar en el sistema la frecuencia esperada de impactos directos de rayos, coeficientes relacionados con el entorno, frecuencia aceptable de rayos, determinar la necesidad de implementación del sistema, nivel de protección el cual fue NIVEL I con D=20m y una eficiencia del 0.999, configuración de varillas verticales para la resistencia a puesta a tierra con el cual se obtuvo una resistencia de 9.22 ohmios. Se analizó, que al utilizar sistemas PDC se obtiene una zona y un radio de protección mayor que al utilizar sistemas de protección con descargas atmosféricas convencionales como son las puntas Franklin. Se desarrolló una metodología para realizar la implementación de sistemas contra descarga atmosféricas con dispositivos PDC.

PALABRAS CLAVE:

- **PARARAYOS**
- **RAYOS ATMOSFÉRICOS**
- **RADIO DE PROTECCIÓN**

ABSTRACT

In the present research work it was possible to determine a ceráunico level of 20.37 (number of impacts/year, km²) which was obtained with statistical data from the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI) and the climatic conditions of the song Belisario Quevedo, it must be noted that there is no isoceráunico map of Ecuador, however in the research project was implemented an atmospheric download counter which will collect more accurate data on events raised in the area, this Information will be valuable in future research and determine the amount of downloads occurring in the area where the implementation was carried out. We analyzed the PDC atmospheric defacers, their protection zone and their protection radius, for the research project it was determined that the adequate protection radius for the laboratory is 32m. The Norms UNE 21186 and IEEE80 were considered to determine in the system the expected frequency of direct lightning impacts, environment-related coefficients, acceptable frequency of rays, determine the need for system implementation, level of protection which was level I with $D = 20\text{m}$ and an efficiency of 0999, configuration of vertical rods for ground resistance with which a resistance of 9.22 ohms was obtained. It was analyzed that when using PDC systems is obtained a zone and a protection radius greater than using protection systems with conventional atmospheric discharges such as Franklin tips. A methodology was developed to implement the atmospheric download systems with PDC devices.

KEYWORDS:

- **LIGHTNING**
- **ATMOSPHERIC RAYS**
- **PROTECTION RADIUS**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad las edificaciones, laboratorios, aulas y oficinas de la Universidad Politécnica del Ejecito Extensión Latacunga no cuenta con un sistema o elementos para la protección contra descargas atmosféricas, pese a que se han realizado estudios de mallas de puesta a tierra y de apantallamiento que requiere el campus Belisario Quevedo, es notable la necesidad a cubrir en las edificaciones donde se realizan las actividades en el presente para evitar el riesgo de incidentes perjudiciales.

1.1.1 Formulación del problema

¿Qué sistema de protección contra descargas atmosféricas necesitan las edificaciones de la Universidad Politécnica del Ejército Extensión Latacunga y que consideraciones se deben tomar en cuenta al aplicarlo?

1.2 Antecedentes

En el país se denota la falta de un sistema para la detección de descargas atmosféricas ya que se desconoce cómo predecir y evidenciar la manera de identificarlas o pronosticarlas, sin embargo en base al nivel ceráuneo es posible tener una estimación estadística de tormentas eléctricas que sucedieron en días al cabo de un año en una

población demográfica. Existen avances gracias a sistemas internacionales como el World Wide Lightning Location Network el cual revela información en tiempo real con fidelidad sobre las descargas eléctricas atmosféricas por ello se considera que en el Ecuador existen niveles elevados y considerables de descargas, se estima que en la región amazónica existe un nivel de 120 con un número promedio de 20 tormentas eléctricas. (Camacho, Ivonne, & Trujillo, 2018) Es notable la necesidad de un sistema que diagnostique de forma real las descargas eléctricas no solo para conocer en qué lugar pueden suceder con mayor incidencia si no para poder proteger de manera adecuada estas de “cuidado” al conocer esta información un sistema de protección será indispensable en las edificaciones.

En la Escuela Superior Politécnica del Ejercido extensión Latacunga se han realizado investigaciones referentes a la implementación de apantallamientos es decir maneras en las cuales las descargas eléctricas no se consideren “nocivas” con la utilización de acometidas y puestas a tierra que desvíen la electricidad producida por estos fenómenos atmosféricos en base a estudios de campos eléctricos y redes de distribución en diferentes edificaciones del campus, por otro lado se han investigado implementaciones de pararrayos es decir solo se ha investigado un elemento de protección de descargas eléctricas no un sistema que proteja estas edificaciones además los requerimientos de la edificación investigada es dirigido a la protección de antenas y no de laboratorios(Paste Lasluisa & Gualoto Sangucho, 2002)(Pardo Romero, 2014).

1.3 Justificación

Al realizar el estudio de los dispositivos de cebado se requiere un análisis técnico aplicando conceptos y técnicas asistidas, ya que el edificio de laboratorio de Autotrónica necesita de un sistema de protección contra descargas debido a que se debe prevenir estos incidentes que pueden resultar de forma desafortunada causando no solo daños materiales gracias a la atracción electromagnética y campos magnéticos que se pueden generar dentro del mismo, el proyecto que se pretende realizar: dimensionar e implementar un pararrayos con dispositivo de cebado PDC, así como la puesta a tierra correspondiente sin desfavorecer o atentar contra la red de distribución eléctrica de la edificación.

1.4 Importancia

El presente proyecto no solo pretende salvaguardar los bienes materiales de la institución si no también brindar protección a los usuarios de la edificación donde será implementado, además los cálculos y análisis de dimensionamiento servirán como punto de partida para otras investigación de relevancia o para la selección adecuada del sistema de protección ante descargas atmosféricas en diferentes edificaciones.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC en el edificio de laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar los protectores de descarga con dispositivos de cebado
- Dimensionar el sistema de protección contra descargas atmosféricas
- Implementar un sistema de protección contra rayos en base a dispositivos de cebado PDC
- Desarrollar una metodología para implementar sistemas de protección con dispositivos de cebado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

Los antecedentes investigativos utilizados en el presente estudio están relacionados a la localización y área de influencia del proyecto, debido a que se debe considerar en las especificaciones de diseño, el lugar o espacio físico donde se desea implementar la protección atmosférica, ya que las condiciones tanto climáticas como estructurales juegan un papel decisivo en el diseño, es por esta razón que se considera:

2.1.1 Localización

En un nivel macroscópico el sistema será implementado en el laboratorio de autotrónica de la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga – Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara el cual se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi en el cantón Latacunga en la parroquia Belisario Quevedo.

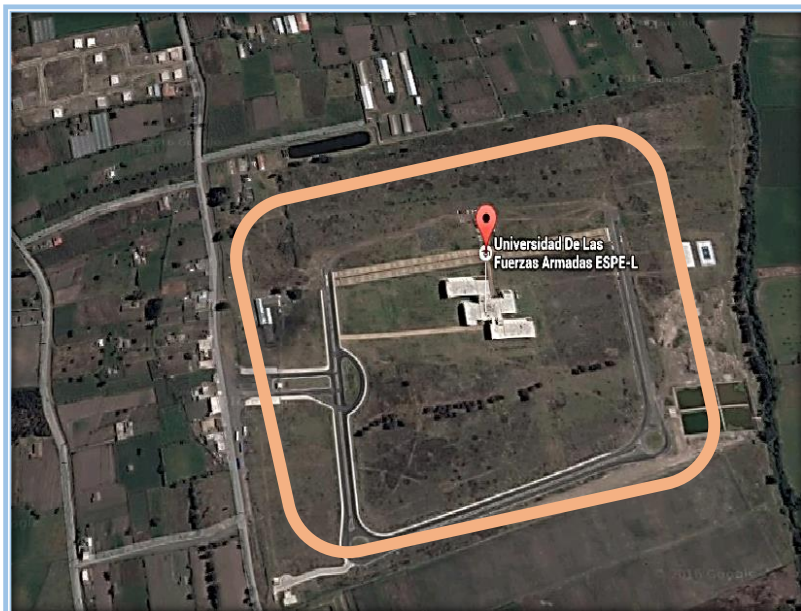


Figura 1 Ubicación geográfica ESPE extensión- Latacunga Campus Gral. Guillermo Rodríguez

Fuente: Google Maps, 2018.

2.1.2 Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas de la parroquia Belisario Quevedo demuestran la presencia de lluvias en las cuales pueden existir rayos o tormentas eléctricas con mayor frecuencia en los meses de Febrero hasta Mayo y en los meses de Octubre y Noviembre según datos del gobierno autónomo descentralizado de la parroquia, además se muestran datos y parámetros de relevancia para la implementación del proyecto tanto como temperaturas y la velocidad promedio del viento. (Gonzales, Almachi, & Montachana, 2015)

Tabla 1*Condiciones climáticas de la parroquia Belisario Quevedo*

PARÁMETRO	ZONA BAJA	ZONA ALTA
Temperatura anual media	13.3 °C	7.7°C
Temperatura mensual media	12.4 a 13.8 °C	6 a 12 °C
Temperatura extrema	máx: 27.5 °C	máx: 18°C
	min: 6 °C	min: 7.5 °C
Precipitación media	450 a 700 mm. Max (lluvia): de feb. a mayo, oct. y nov. min. (seco): jun. a sep	700 a 1500 mm. Max (lluvia): feb. a abril. min. (secos): junio a sep.
Velocidad promedio anual del viento	4.6 m/s. Max: 6.5 m/s en Octubre min: 3.6 m/s en Julio	Max: jul. a sep

Fuente:(Gonzales et al., 2015)

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Rayos

Es posible definir al rayo como una descarga atmosférica eléctrica en forma de ondas electromagnéticas debido a la carga eléctrica presente en la atmósfera y en la tierra sin depender de las conducciones de hilos, esta descarga es visible y sonora debido a la gran cantidad de energía que contiene. Es decir un rayo contiene una cantidad grande

de energía electromagnética, esta descarga es posible gracias a los gases contenidos en las nubes.(Torres, 2010)



Figura 2 Rayo

Fuente:(Kingfield, Calhoun, & de Beurs, 2017)

a. Tipos de rayo

En base a la tipificación que considera la dirección y movimiento del rayo según la atmosfera así como su carga líder, los rayos pueden ser:

- **Rayos negativos**

Son considerados bajo esta denominación ya que su carga predominante es negativa en relación a la atmosfera y la tierra y se considera que aproximadamente el 90% de descargas atmosféricas son de este tipo.(Porcel, 2009b)

- **Rayos positivos**

En este tipo de rayos se asume que la descarga eléctrica está cargada de forma positiva en relación a la atmosfera y la tierra.

b. Formación de los rayos

Los rayos serán el resultado de la carga negativa en la base de la atmósfera y la carga positiva situada debajo de ella, cuando la atmósfera pierde la capacidad de tener la carga eléctrica separada debido a colisiones y movimientos del viento y la temperatura, el resultado de esta variación es la generación de una descarga. Se estima que contiene al menos un millón de voltios por metro, por ende el rayo contiene al menos 10^{20} electrones dotándolo de una potencia eléctrica enorme, dicha energía es electrostática pero en fracciones de segundo la energía electrostática se convierte en energía electromagnética que contendrá un gran campo electromagnético el cual se convierte en energía acústica causado por las ondas magnéticas contenidas y al contener tanta energía esta finalmente es calor. (Horacio, 2002)

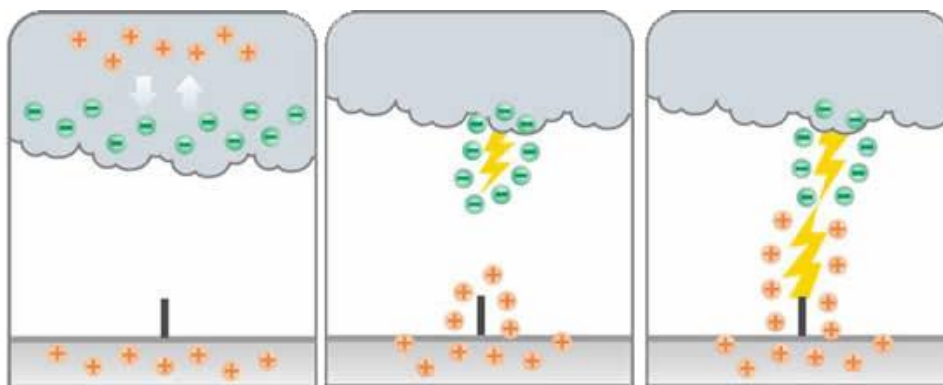


Figura 3 Formación de un rayo

Fuente: (ULHI, n.d.)

- **Etapas para la formación de un rayo**

Existen diversas teorías sobre este cambio físico que sufre la energía contenida en la descarga atmosférica pero en general se puede definir:

- **Encendido de la descarga:** se considera que pequeñas gotas de agua que se encuentran dentro de las nubes contiene carga positiva y están separadas por una sección transversal en la nube de la de carga negativa generando un campo eléctrico, por este motivo las gotas de agua se verán alargadas en dirección al campo eléctrico, generando un movimiento hacia la carga negativa de la nube proporcionando un ángulo de inclinación entre las cargas positiva y negativa, por este motivo la región ionizada de la nube se extenderá hacia abajo y el resultado de este movimiento será un embudo, pese a que no exista una alta continuidad conduce carga negativa a las áreas más pequeñas del embudo generando una tensión en el campo eléctrico.(Horacio, 2002)

Para finalizar esta etapa las cargas se habrán combinado en la base de la nube.

- **Líder escalonado:** en esta etapa se iniciará la primera descarga con retorno desde la nube hacia la tierra, esto como resultado de la etapa anterior. Se considera que la corriente contenida en esta etapa oscila entre los 100 a 1000 amperios, con ello se determina la existencia de campos eléctricos y electromagnéticos. Además es necesario mencionar que al finalizar la etapa anterior se tienen cargas negativas en forma de columnas con una diferencia de potencial de al menos el 10% generando en la ionización. Esta descarga y su contenido de carga eléctrica se rigen a la “ley de la avalancha” (Horacio, 2002)

$$n_e = e^{\int_0^x (\alpha - \eta) dx} \quad (1)$$

Dónde:

α = Coeficiente de ionización

η =Coeficiente de recombinación

n_e = Numero de electrones

Determinando el coeficiente de ionización y recombinación así como la ionización efectiva contenida en base al número de electrones dependiendo de la presión y el campo eléctrico.

- **Proceso de enlace:** en esta parte se debe considerar la diferencia del potencial eléctrico presente entre la base de la nube y la tierra, pero cuando en la tierra existen objetos puntiagudos o irregulares estos superan la tensión del aire atrayendo a la descarga atmosférica debido al encuentro de los objetos con el líder escalonado descendente de la nube generando el enlace.

La distancia disruptiva en una descarga atmosférica es el factor más importante a considerar en el apantallamiento de la misma así como en la protección a los campos electromagnéticos. Es pertinente mencionar que la distancia disruptiva es la distancia existente entre la punta del líder escalonado de la nube y la punta del objeto que recibirá el “impacto”, con ello cuando se siente este “impacto” se inicia una descarga ascendente que se libera en búsqueda del líder descendente desde la nube generando la etapa de descarga de retorno.

- **Descarga de retorno** : esta etapa es definida como la onda de campo que sube por el líder escalonado logrando penetrar la nube quedando el líder al potencial presente en la tierra dando lugar a la primera descarga de retorno, una vez esta carga deja de fluir el rayo desaparece.(Torres, 2010) La protección contra las descargas eléctricas estará basa en el cambio o modelo geométrico de la estructura.
- **Líder dardo**: en esta etapa se analiza que la descarga de energía ha regresado a la base de la nube, se expande de forma lateral alcanzado el límite de la descarga contenida en la nube aumentando el campo eléctrico en la misma generando un drenaje, esta etapa se caracteriza por una intensa descarga de gotas de agua resultado de la propagación de la onda ionizante, se absorbe la carga desde una área grande hasta una más pequeña dejada por el líder escalonado y la descarga de retorno saliendo desde la base de la nube como un “camino” luminoso denominado líder dardo.(Horacio, 2002)

c. Parámetros para la evaluación de las descargas atmosféricas

A continuación se detallan los parámetros más importantes que deben ser analizados y evaluados en consideraciones para descargas atmosféricas:

Parámetros de incidencia: aquí se evaluará la probabilidad en la ocurrencia de descargas emitida por la atmósfera y receptadas por la tierra incluyendo como factor determinante la altura de las edificaciones y los índices de incidencia de descarga.(Torres, 2010)

- Densidad de la descarga a la tierra: se define como el número de descargas receptadas por la tierra en un año por cada kilómetro cuadrado de área a estimar.
- Nivel ceráuneo: estima el número de días con tormentas en un año, este parámetro es empleado cuando no existen datos de mediciones directas.
- Polaridad: puede considerarse positiva o negativa.
- Multiplicidad: es el número de descargas contenidas o realizadas por cada descarga atmosférica.
- Duración de la descarga atmosférica.
- Intervalos entre cada descarga.

Además se deben considerar:

- Parámetros de amplitud de corriente en el retorno del rayo
- Parámetros del impulso de la corriente contenida en el rayo

d. Detección de Rayos

Para la detección de descargas atmosféricas se deben descartar las producciones emitidas dentro de la nube o nubes en la tormenta eléctrica, ya que el estudio meteorológico será encaminado a la evidencia del rayo al topar o llegar al suelo, es decir antes de que el rayo logre llegar al suelo atmosféricamente no es posible detectarlo, además los detectores de descargas descartan algunos tipos de campos electromagnéticos generados.(Leon & Lorena, 2014)

2.2.2 Antecedentes de la investigación

La información existente sobre publicaciones relacionadas al tema son prácticamente escasa, es por ese motivo que se analizaron diferentes artículos con los cuales se extrajo información de interés y relevancia denotando las similitudes con el trabajo de investigación presente y con ello una síntesis sobre cada uno de los mismos, es por este motivo que se presenta en la siguiente tabla la información resumida y a continuación la síntesis de la utilidad de los mismo en relación al tema.

Tabla 2

Estudios e investigaciones referentes a la protección contra descargas atmosféricas

NOMBRE DEL ESTUDIO	TIPO	AUTOR	FECHA	LUGAR
Implementación del sistema de pararrayos para los equipos de la estación base de la torre 1 de la Radio Universitaria 98.5 MHz.	Trabajo de titulación	Cabrera Samaniego, Juan Pablo Encalada Ríos, Ángel Alexander	2013	Ecuador
Induced over voltages produced by atmospheric discharges considering JMarti and Pi distribution lines models	Artículo científico	Morales, J. Zhunio, L. Patiño, C. Siavichay, F. Montesdeoca, J. Cabrai, R. J.	2014	Brasil
Metodología para la implementación de los sistemas externos de protección contra	Trabajo de titulación	León, Trujillo Lorena, Cindy	2014	Colombia

CONTINÚA 

rayos (SEPRI) en el sector petrolero.					
Estudio para la implementación de pararrayos en sistemas de distribución de media tensión	Trabajo de titulación	Fernando, Juan Cardenas, Lazo Alonso, Norberto Tenemaza, Vélez	2016	Ecuador	
Análisis de efectos fisiológicos en el ser humano debido a descargas atmosféricas que impactan líneas aéreas de distribución eléctrica.	Trabajo de titulación	Ñauta Ñauta A	2018	Ecuador	

La información contenida en la tabla 2 demuestra no solo la deficiencia de un estudio que evalúe y analice la protección contra descargas con dispositivos de cebado, si no que evidencia que en país no existe un mapa de nivel ceráuneo que detalle claramente las zonas o provincias en las que existe mayor incidencia de descargas. Además las investigaciones están orientadas a la colocación de mallas y puestas a tierra con una protección de descarga clásica conocida como “ Protección Franklin”, es por estos motivos que el presente trabajo no solo genera seguridad contra las descargas atmosféricas si no que pretende ser el punto de partida para nuevas investigaciones, ya que a partir de los datos que se puedan obtener en la implementación de la protección en el laboratorio se podrán conocer niveles y parámetros reales sobre las descargas atmosféricas en la zona.(Kingfield et al., 2017)

2.3 Fundamentación Conceptual

Los fundamentos analizados para la contextualización de las definiciones están relacionados a la protección contra descargas atmosféricas, por este motivo se toma en cuenta conceptos y definiciones implicados a la protección, es decir se conceptualizan métodos y aplicaciones sobre la protección de descargas atmosféricas en edificaciones.

2.3.1 Bases Teóricas

a. Sistemas de protección contra descargas atmosféricas

Los sistemas de protección contra descargas atmosféricas están diseñados con la finalidad de salvar guardar la integridad de las personas así como de los bienes materiales que pueden ser afectados por los voltajes en el contacto, así como en los voltajes llamados de “paso”, distinguiéndose de este modo solo por su aplicación en el entorno los sistemas de protección internos y externos en las edificaciones.

Los sistemas de protección externa están focalizados a recibir la descarga en una estructura física, transportar la corriente y energía recibida a tierra y por último dispersar la corriente en la tierra de forma segura.

Por otro lado los sistemas de protección interna están destinados a evitar la generación de chispas como resultado de la recepción de la descarga atmosférica, es decir protegen sistemas eléctricos, estructuras metálicas y las partes de la infraestructura que contengan mayor conductividad eléctrica.(De La Bodega, Gutiérrez, Aginako, & Sagastabeitia, n.d.)

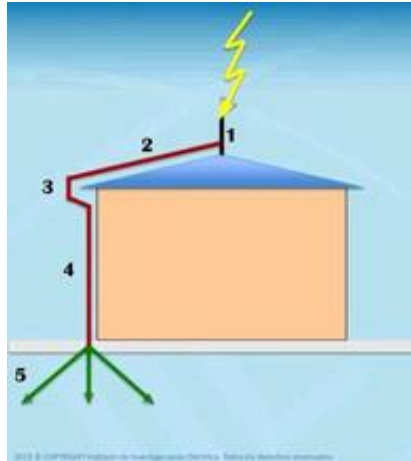


Figura 4 Sistema de protección contra descargas eléctricas en general
Fuente: (Galván, 2013)

b. Método de las Esferas Rodantes

Este método fue diseñado para determinar la ubicación y el dimensionamiento de los elementos o estructuras físicas que reciben las descargas atmosféricas en base a un ángulo de protección generado, el sistema se considera adecuado cuando en ninguna parte del volumen que será protegido está en contacto con el radio de la esfera formada rodando o en movimiento. Es decir la esfera solo estará en contacto con la estructura física que recibirá la descarga y el suelo.

Para determinar el radio de protección se debe tipificar o determinar el sistema de protección contra rayo o (SPCR) ya que existe una relación directa entre el radio de la esfera y el valor de la cresta o pico de la cantidad e corriente que contenga el rayo

Al aplicar el método de esferas rodantes se debe considerar los planos estructurales en los cuales se aplica el sistema de protección con la intención de prevenir salientes o zonas que no se vean directamente en los planos. Es decir se deben considerar

diferentes vistas sean frontales o laterales(Universidad Tecnológica de Pereira. & A., 2006)

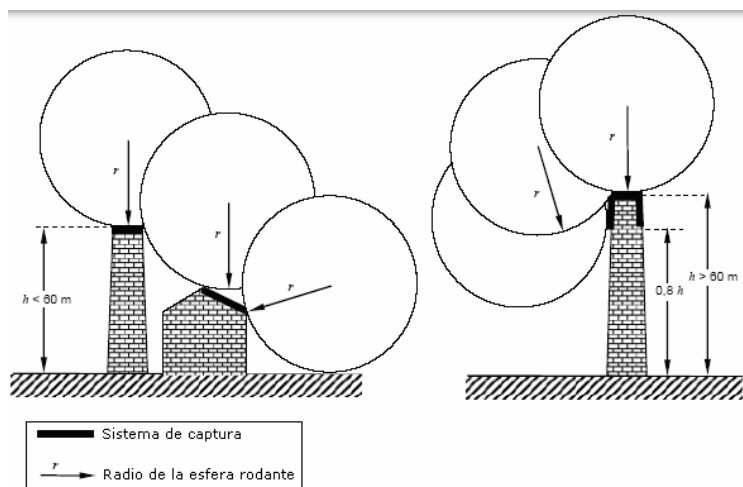


Figura 5 Método de las esferas rodantes
Fuente: (Universidad Tecnológica de Pereira. & A., 2006)

El radio de protección estará definido por la siguiente ecuación:

$$R = 10 I^{2/3} \quad (2)$$

Dónde:

R= el radio de protección

I= el valor de la cresta de la corriente que retorna

En base a estimaciones y datos estadísticos por edificios afectados con daños físicos a causa de descargas atmosféricas es posible determinar la colocación del sistema de protección los mismos se señalan en la siguiente tabla:

Tabla 3*Porcentaje de afectación según la colocación del sistema de protección*

LUGAR DE UBICACIÓN	%
Ángulos esquineros sobre techos planos y en el vértice de los terminados en punta y en sus Vértices (puntos A)	>80
Aristas superiores horizontales (puntos B)	<10
Aristas verticales (punto C)	<5
Superficies planas laterales (puntos D)	<5

Fuente:(Universidad Tecnológica de Pereira. & A., 2006)

c. Eficiencia de un sistema de protección

Es posible definir una eficiencia para el sistema de protección contra descargas atmosféricas en base a la siguiente fórmula (Universidad Tecnológica de Pereira. & A., 2006):

$$E = \frac{1-N_c}{N_d} \quad (3)$$

Donde:

E= eficiencia del sistema**N_c**= el valor de la frecuencia soportados por la estructura (rayos/año)**N_d**= el radio determinado por el nivel de protección

d. Jaula de Faraday

El objetivo de una jaula del tipo Faraday es proteger a estructuras de campos eléctricos considerados estáticos utilizando un recubrimiento metálico ya que en el interior campo eléctrico es nulo.

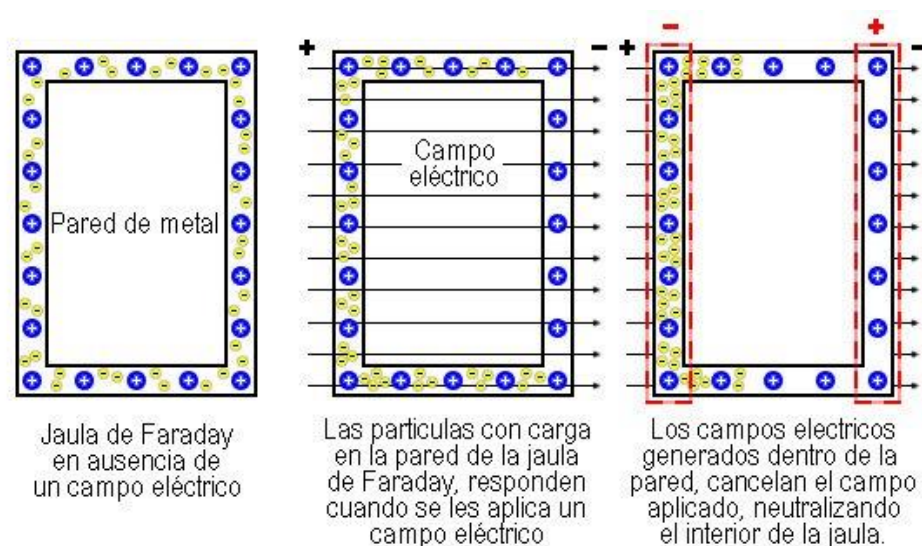


Figura 6 Funcionamiento de la Jaula de Faraday

Fuente: (López, Manuel, & Montserrat, n.d.)

Se basa en la teoría de un conductor en equilibrio electrostático ya que al colocar la jaula en presencia de un campo externo las cargas positivas se mantienen en su posición y los electrones libres se mueven en el metal siguiendo la siguiente ecuación:(López et al., n.d.)

$$\vec{F} = e\vec{E}_{ext} \quad (4)$$

Dónde:

F= será la fuerza

E= la fuerza externa

e= la carga

Por este motivo el movimiento de las cargas en el interior de la jaula crea un campo eléctrico en sentido contrario anulando el campo externo, este fenómeno se conoce como apantallamiento eléctrico el cual ayuda a la protección contra descargas eléctricas.

e. Dispositivos de cebado

Son dispositivos instalados en las puntas de las estructuras físicas que reciben la descarga eléctrica los cuales están formados por electrodos que pueden ser de acero o de diferentes materiales similares incorporando un sistema electrónico para anticiparse en el tiempo a la captura de la descarga, básicamente funcionan como las puntas franklin con la diferencia que estos dispositivos aprovechan la influencia eléctrica en el aumento del potencial de la tierra y la nube para alimentar el cebador, estos componentes eléctricos están contenidos en un envase metálico ayudando a generar la ionización o avalancha de electrones en la descarga. (AENOR, 2011)



Figura 7 Para rayos con dispositivo de cebado
Fuente: (INGESCO, n.d.)

El cebado está de esta manera generando una influencia directa en los efectos térmicos, electrodinámicos y magnéticos presentes en el impacto de la descarga atmosférica, por este motivo los dispositivos de cebado pueden verse afectados por la intensidad de la descarga

2.4 Fundamentación Legal

En el Ecuador no existe una norma determinada en la aplicación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, por este motivo la presente investigación se sujeta a normas internacionales con las cuales se construyen y dimensionan los pararrayos con dispositivos de cebado, estas normas son:

- IEC 61024-1: Determina los principios y generalidades con definiciones sobre los sistemas de protección contra descargas, así como las determinación en el proyecto como los materiales, instalación e inspección de los mismos.
- IEC 61024-1-1: Determina la selección del nivel de protección a ser utilizado en sistema contra descargas.
- IEC 61024-1-2: Analiza la construcción manteniendo y chequeo de los sistemas de protección contra descargas.
- UNE 21186: Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivos de Cebado.

2.5 Sistema de variables

2.5.1 Definición nominal

Variables dependientes:

- Nivel de protección

Variables independientes:

- Diseño del sistema de protección atmosférica con dispositivo de cebado
- Diseño de Puesta a tierra

2.5.2 Definición Conceptual

a. Sistema de protección

- **Elementos de diseño del sistema de protección de descargas**

El nivel de protección es una cantidad que relaciona los parámetros de la corriente de la descarga y se considera relativa a que los valores máximos y mínimos para que no sobrepasen el estimado.(AENOR, 2011)

- **Ubicación geográfica**

Son las características y parámetros de localización que permiten ubicar geográficamente un lugar o posición.

- **Ubicación en la edificación**

Se considera como la localización dentro de una estructura o en parte de ella.

- **Resistividad del suelo**

Se define con la resistencia generada por el suelo al paso de corriente eléctrica en función al área o superficie que este en contacto con la corriente.(Reyna, n.d.)

- **Tratamientos de mejora en el suelo**

Son aplicaciones realizadas para elevar o disminuir alguna característica física o química que presente el suelo.

- **Descarga eléctrica**

Es un fenómeno en el cual se desplaza la corriente eléctrica de un cuerpo a otro de forma momentánea e instantánea.(AENOR, 2011)

- **Conductor**

Es un material o superficie que cuenta con poca resistencia al paso de corriente eléctrica. (Leon & Lorena, 2014)

- **Campo eléctrico**

Es un espacio o campo físico en el cual actúa una fuerza eléctrica.

- **Campo electromagnético**

Se define como un campo físico en el cual existe tensión producida por elementos que contienen carga eléctrica. (Leon & Lorena, 2014)

- **Energía liberada por los equipos**

Es la cantidad de energía no aprovechada por los equipos e instalaciones.

2.5.3 Definición Operacional

- a. **Dimensionamiento el sistema de protección contra descargas atmosféricas**

- **Nivel de protección**

Es el parámetro definido por el usuario en base a las necesidades de protección para determinar el diseño del sistema de protección.

- **Ubicación geográfica**

Son las condiciones climáticas en las cuales se instalara el sistema de protección.

- **Ubicación en la edificación**

Es la localización en la cual se implementara el sistema de protección dentro de la edificación.

- **Resistividad del suelo**

Es el parámetro propio del suelo en la edificación en la cual se colocara la puesta a tierra.

- **Tratamientos de mejora en el suelo**

Son aplicaciones que mejorara la resistencia del suelo donde estará la puesta a tierra.

- **Descarga eléctrica**

Es la cantidad de corriente que soportara el diseño del sistema de protección

- **Conductor**

Es el dispositivo por el cual se trasportará la corriente recibida por la descarga eléctrica.

- **Campo eléctrico**

Es la intensidad que tendrá la descarga eléctrica en el sistema de protección.

- **Campo electromagnético**

Es el campo generado por los equipos albergados en el laboratorio.

2.6 Hipótesis

- Al implementar un sistema de protección contra descargas atmosféricas se incrementan los niveles de protección seleccionados en base a dispositivos de cebado PDC.

2.7 Cuadro de operacionalización de las variables

Tabla 4

Cuadro operacionalización de las variables

VARIABLES	REFERENCIA CONCEPTUAL	REFERENCIA OPERACIONAL			TÉCNICAS
		Dimensiones	Categorías	Indicadores	
Variables independientes	Se considera a un sistema de protección contra descargas eléctricas al conjunto de elementos capaces de atraer las descargas atmosféricas al sistema para con la finalidad de minimizar los riesgos de las mismas, y que mediante un dispositivo de cebado el área a proteger sea mayor (Casa, 2005)	Nivel de seguridad.	Estocástica local	Nivel isocerámico	Medición física
- Diseño del sistema de protección atmosférica con dispositivo de cebado		Criterio de protección eléctrica contra descargas atmosféricas		Nivel de protección	Implementa norma
	La puesta a tierra es el sitio en el que se fija una estructura para establecer la referencia de potencial y derivar los sobre	Tipos de configuración	Local	Resistencia	Dimensionamiento

CONTINÚA 

<p>- Diseño de Puesta a tierra</p>	<p>voltajes disminuyendo el riesgo eléctrico al disipar la energía(Casa, 2005)</p> <p>Se define con la resistencia generada por el suelo al paso de corriente eléctrica en función al área o superficie que este en contacto con la corriente.(Reyna, n.d.)</p>	<p>Ohmios por metro cuadrado</p>	<p>local</p>	<p>Resistividad del suelo</p>	<p>Medición</p>
---	---	----------------------------------	--------------	-------------------------------	-----------------

<p>Variables dependientes:</p>	<p>Valoración conjunta de la probabilidad de ocurrencia de accidentes, de la gravedad de sus efectos y de la vulnerabilidad del medio.</p>	<p>Área y radio a proteger</p>	<p>Local</p>	<p>Nivel de riesgo</p>	<p>Cálculo</p>
<p>• Nivel de protección</p>	<p>Es una cantidad que relaciona los parámetros de la corriente de la descarga y se considera relativa a que los valores</p>				

CONTINÚA 

máximos y mínimos para que no
sobrepasen el estimado.(AENOR, 2011)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la investigación

La modalidad de la presente investigación se basa en ser netamente exploratoria para la determinación de variables en la implementación del sistema de protección contra descargas eléctricas, además se define como descriptiva y de correlación ya que no existen datos valederos para la obtención de resultados debido a que es imposible predecir el momento exacto en el cual se va a producir un rayo o descarga eléctrica, del mismo modo resulta imposible predecir el lugar exacto en donde esta se realiza, por este motivo la investigación se basa en la utilización de normas extranjeras bajo las cuales se han realizado los diseños de los pararrayos, se debe denotar que no existe información sobre el nivel ceráuneo en la zona pero si existe información climática sobre temporadas de lluvias en las cuales es posible la existencia de tormentas eléctricas.

3.2 Tipos de Investigación

3.2.1 Exploratoria

La parte exploratoria de la presente investigación se basa en la determinación de cómo se producen la descargas eléctricas y que parámetros deben ser analizados en la protección sobre los mismos, así también se define las variables más importantes bajo las cuales se debe considerar el diseño del sistema de protección. Además se puede

definir como se debe realizar los cálculos y parámetros en la implementación del sistema de protección contra descargas eléctricas, así como se definirá la manera bajo la cual se puede comprobar la eficacia del sistema de protección.

3.3 Diseño de la investigación

3.3.1 Exploratorio

Se determina como suceden las descargas eléctricas, los tipos de descargas eléctricas existen, las más importantes o de mayor ocurrencia, los datos existentes sobre la incidencia de descargas eléctricas en la zona donde se colocara el sistema de protección.

3.3.2 Nivel descriptivo

Se analiza y define como afectan las variables de un sistema de protección según los diferentes niveles, con ello se pretende explicar en base a que parámetros se debe diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas con dispositivos de cebado.

3.3.3 Nivel Correlacional

Con las variables para el sistema de protección en base a los niveles de protección ya definidos se pretende identificar cual es el mejor tipo de protección.

3.3.4 Nivel explicativo

Aquí se desea explicar cómo se realiza el diseño e implementación del sistema de protección.

3.3.5 Nivel Experimental

Es la evidencia de la colocación e implementación del sistema de protección.

3.4 Población y Muestra

Dentro de la investigación se consideran los datos históricos sobre las descargas eléctricas en la zona, es decir los datos sobre los rayos que impactaron en la provincia de Cotopaxi en el transcurso del tiempo. Por esta razón se considera la población igual a la muestra a ser analizada, ya que es el punto de partida real sobre la cantidad de descargas atmosféricas de incidencia en la zona.

Con lo anteriormente dicho se usa la siguiente información publicada por el INHAMI a los medios públicos:

Un promedio de 108.200 rayos caen en el Ecuador en enero

“El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inamhi) dio a conocer esta tarde, a través de un boletín, que la información captada entre 1998 y 2013 por el sensor óptico de la red de satélites TRMM muestra que un promedio de 108.200 rayos caen en el Ecuador durante los meses de enero. La región Amazónica es la zona -según la fuente- donde se produce la mayoría de estos fenómenos con promedios de 5 a 18 rayos por cada 10 kilómetros cuadrado (km²), presentándose una mayor intensidad en las áreas norte y sur de ese sector del país. El cantón Tiwintza (Morona Santiago) es, a su vez, el

punto amazónico con un registro más alto de rayos: 18 rayos por cada 10 km². La Sierra muestra un promedio de 0 a 3 rayos caídos por cada 10 km² durante el primer mes del año. En tanto que la mayor densidad de estos se presenta en la provincia de Cotopaxi, específicamente el cantón Sigchos, con un factor de 3 rayos por 10 km². En el Litoral, el promedio va de 0 a 4 rayos por cada 10 km², siendo el cantón Buena Fe (Los Ríos) el que registra la mayor cantidad durante enero, con un valor de 4 descargas eléctricas por 10 km². “(El Telégrafo, 2018)

“¿Qué provincias de Ecuador recibirían más caída de rayos en abril?”

Según la estadística del Inamhi, la Amazonía sería la zona del país donde más rayos se presentarían durante el mes de abril.

El promedio de rayos que se puede presentar por la actividad eléctrica atmosférica en Ecuador durante el mes de abril es de 170 mil rayos, según una estimación estadística realizada por el Instituto Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inamhi), con datos recogidos desde 1998 a 2013.

Según los datos del Inamhi, 45.790 rayos se presentarían en la región Costa, 19.750 en la Sierra y 103.730 en la Amazonía.

¿Qué pasa en las provincias?

La Amazonía es la zona del Ecuador con mayor probabilidad de rayos en el país, con mayor intensidad en el norte y sur de la región. En Sucumbíos, especialmente Lago Agrio, es la localidad con el registro más alto de rayos, de 23 rayos por 10 kilómetros cuadrados.

En la Sierra, la provincia de Pichincha, sobretodo Gualea, es la zona con mayor registro de este fenómeno, con un promedio de 11 rayos por 10 kilómetros cuadrados.

En cuanto a la región Litoral, la mayor actividad eléctrica se registra en Quinindé, en Esmeraldas, con un promedio de 15 kilómetros cuadrados”.(Martinez, 2018)

Como se puede apreciar en el artículo publicado en un diario de la prensa nacional existe un promedio de 3 rayos por cada 10 kilómetros cuadrado que impactaron la zona de Cotopaxi solo en enero, es por ello que se considera de interés esta información.

3.5 Instrumentos para la recolección de datos

3.5.1 Instrumentos

En base a la investigación cualitativa se analiza documentos públicos y datos sobre los índices de lluvias y temporadas en las cuales se presentan, estos documentos son relevantes sobre la investigación ya que son datos recolectados netamente en la parroquia rural Belisario Quevedo.

Además se toma como instrumento para la recolección de datos los datos e índices de la caída de rayos “descargas eléctricas” en el Ecuador y en especial en la Provincia de

Cotopaxi, los cuales fueron revelados por el INHAMI hacia los medios de prensa públicos en forma de boletines.

3.5.2 Validez y confianza

Debido a la estimación muestral que en la presente investigación es igual a la población, se considera un nivel de confianza para los datos recolectados del 100 por ciento ya que no existen variaciones entre los datos recolectados en base a información certificada.

3.6 Técnicas de análisis de datos

Para el análisis de los datos obtenidos como parte de la investigación se propone la utilización de la estadística descriptiva así como probabilística, además de un análisis correlacional sobre los parámetros tomados en cuenta en el diseño e implementación del sistema de protección contra descargas atmosféricas con dispositivo de cebado.

Una de las técnicas para el análisis de datos empleada en la determinación de los objetivos será un análisis de escenario ya que con las evidencias de las épocas lluviosas ayudan a estimar datos sobre tormentas eléctricas posibles en las fechas señaladas, es decir esta técnica sirve para poder estimar los eventos futuros sobre las descargas atmosféricas.

Por ello el conjunto de técnicas estadísticas empleadas en los datos estimados podrá definir la probabilidad de una descarga atmosférica en la zona y con ello la necesidad de un sistema de protección.

3.7 Técnicas de comprobación de hipótesis

3.7.1 Herramientas estadísticas

a. Análisis de históricos

Es una cantidad que permite la introducción de una corrección numérica en los cálculos en base a las restricciones.

b. Cálculos de estadística descriptiva

Recolección de datos y procesamiento de los mismos en base de la información disponibles en el INHAMI.

3.8 Criterios para la implementación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas utilizando pararrayos con dispositivo de cebado

Los diseños para sistemas de protección con dispositivo de cebado se basan principalmente en el nivel de protección necesario y en la posición del pararrayos.

Para determinar la necesidad de la implementación de un pararrayos se debe realizar un análisis del riesgo de impacto, donde se determina criterios para evaluar los riesgos y daños debidos a la descarga atmosférica donde únicamente se analiza los daños causados por el impacto directo del rayo y sobre la estructura que se desea proteger, luego de esto se podrá establecer la mejor protección de acuerdo al nivel de protección deseado y obtenido.

En la siguiente tabla se describe ejemplos de efectos causados por una descarga atmosférica (rayo) en diferentes tipos de estructuras.

Tabla 5

Efectos causados por la descarga atmosférica

CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS	TIPO DE ESTRUCTURA	EFFECTOS DEL RAYO
Estructuras comunes (En todos los casos existe riesgo para las personas que se encuentren en el interior y alrededor de la estructura. Los equipos electrónicos sensibles pueden estar instalados dentro de cualquier tipo de estructura y pueden ser fácilmente dañados por las sobretensiones debidas a las descargas.)	Casa Particular	Perforación de las instalaciones eléctricas, incendio y daños materiales que se limitan normalmente a los objetos próximos al punto de impacto o de paso de la descarga
	Granja	Riesgo de incendio y de chispas peligrosas. Riesgos de corte de corriente: muerte del ganado debido a la pérdida de control de la ventilación y de la distribución de los alimentos. Riesgo de tensión de paso.
	Teatros, escuelas, grandes superficie, áreas deportivas.	Riesgo de pánico y de fallo de las alarmas de incendio, causando retraso en la lucha contra el fuego.
	Bancos, compañías de seguros, sociedades comerciales, centro de salud	Como los anteriores, más problemas con pacientes de cuidados intensivos y dificultad de auxilio a las personas impedidas
	Industrias	Efectos adicionales dependiendo del contenido de las fábricas, desde daños menores hasta inaceptables y a la pérdida de producción
Museos y emplazamientos arqueológicos	Pérdidas irreparables de patrimonio cultural	

Fuente: (AENOR, 1996)

“Según la norma UNE 21186, propone una evolución de los riesgos teniendo en cuenta el riesgo de impacto y los siguientes factores:

- *Entorno del edificio*
- *Naturaleza de la estructura del edificio*
- *Valor de contenido*
- *Ocupación humana y riesgo de pánico*

- *Consecuencias que tendría sobre el entorno, los daños al edificio.*” (AENOR, 1996)

Para determinar un nivel de protección correcto se debe identificar la frecuencia de impactos (rayos) N_d , que caerían en la zona a proteger, la frecuencia de anual aceptable de impactos N_c , para la zona es también importante determinar.

3.8.1 Densidad de impactos de rayo sobre el terreno N_g

“La densidad de impactos de rayos sobre el terreno, expresado en numero de rayos por km^2 , se determina mediante la utilización del nivel cerámico local” (AENOR, 1996)

3.8.2 Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d) sobre una estructura

En una estructura la frecuencia media de impactos directos obtenida en un año N_d se calcula con la siguiente formula:

$$N_d = N_g * 1.1 * A_e * C_1 * 10^{-6} / \text{año} \quad (5)$$

Donde:

N_g : es la densidad anual media de impactos de rayo en la región donde está situada la estructura (número de impactos/año, km^2)

1.1: es el coeficiente de seguridad ligado a la evaluación de impactos

A_e : es la superficie de captura equivalente de la estructura aislada (m^2)

C_1 : es el coeficiente relacionado con el entorno

“La determinación de la superficie de captura equivalente A_e se define para estructuras asiladas en un terreno llano, por la intersección entre la superficie del terreno y una línea pendiente 1/3 que pasa por parte superior de la estructura (tocándola en ese punto) y girando alrededor de ella. El valor A_e puede determinarse matemáticamente o gráficamente.

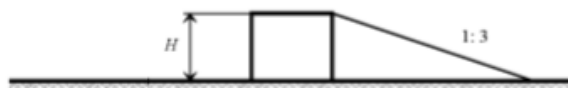


Figura 8 Grafica para determinar el valor de A_e
Fuente: (AENOR, 2011)

Una evaluación más precisa se podrá obtener considerando la altura relativa de la estructura con respecto a los objetos circundantes o al suelo dentro de una distancia $3H$ desde la estructura.” (AENOR, 2011)

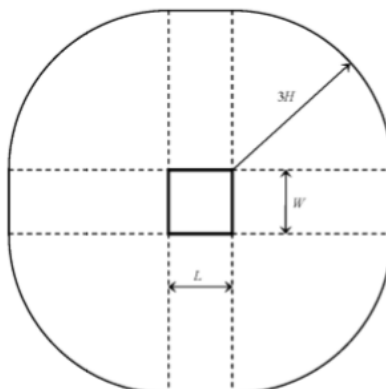


Figura 9 Ejemplo estructura rectangular para captura equivalente
Fuente: (AENOR, 2011)

Para una estructura rectangular la superficie de captura equivalente viene dado por la siguiente formula:

$$A_e = L * W + 6H * (L + W) + 9 * \pi * H^2 \quad (6)$$

Donde :

L: longitud (m)

W: ancho (m)

H: altura (m)

Existe un coeficiente que relaciona el entorno de la edificación a proteger el cual influye en forma significativa este factor tiene los siguientes valores:

Tabla 6

Situación relativa a la estructura

SITUACIÓN RELATIVA A LA ESTRUCTURA	C1
Estructura situada en un espacio donde hay estructuras o árboles de la misma altura o más altos	0.5
Estructuras rodeadas de estructuras más bajas	0.75
Estructura aislada	1
Estructura aislada situada sobre una colina o promontorio	2

Fuente:(AENOR, 1996)

- “Cuando la superficie de captura equivalente de una estructura cubre completamente otra estructura, ésta última no se tendrá en cuenta.” (AENOR, 1996)
- “Cuando se cubre la superficie de captura de varias estructuras, la superficie de captura común correspondiente se considera como una única superficie de captura.” (AENOR, 1996)

Para una estructura compleja la superficie de captura equivalente viene dado por la siguiente formula:

$$A_e = 9 * \pi * H^2 \quad (7)$$

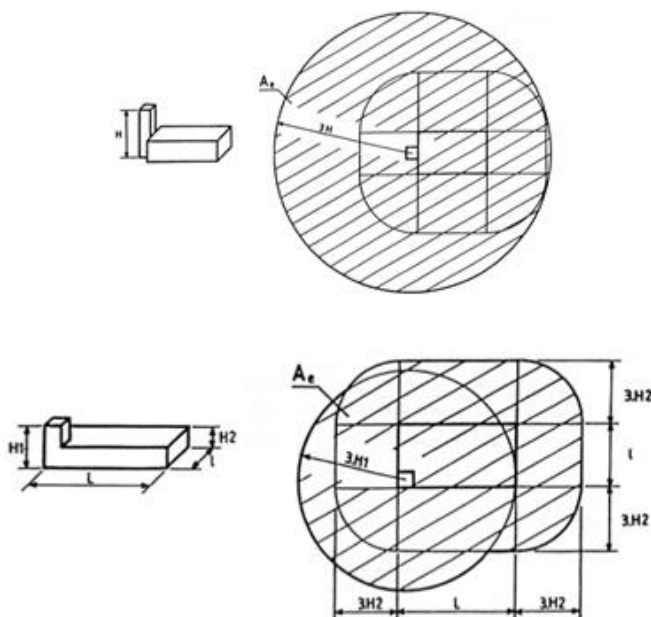


Figura 10 Ejemplo estructura compleja para captura equivalente

Fuente: (AENOR, 1996)

3.8.3 Frecuencia aceptable de rayos (N_c) sobre una estructura

Los valores para N_c se estiman por medio de cuatro factores :

- Tipo de construcción (C_2)
- Contenido de la estructura (C_3)
- Ocupación de la estructura (C_4)
- Consecuencias sobre el entorno (C_5)

Donde N_c se determina de la siguiente forma:

$$N_c = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5} \quad (8)$$

Tabla 7

Tipo de construcción C_2

CUBIERTA	METAL	COMÚN	INFLAMABLE
ESTRUCTURA			
Metal	0.5	1	2
Común	1	1	2.5
Inflamable	2	2.5	3

Fuente: (AENOR, 1996)

Tabla 8**Contenido de la estructura C₃**

Sin valor o no inflamable	0.5
Valor común o normalmente inflamable	2
Gran valor o particularmente inflamable	5
Valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo	10

Fuente: (AENOR, 1996)

Tabla 9**Ocupación de la estructura C₄**

No ocupada	0.5
Ocupada normalmente	3
De difícil evacuación o riesgo de pánico	7

Fuente: (AENOR, 1996)

Tabla 10**Consecuencias sobre el entorno C₅**

Sin necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	1
Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	5
Consecuencias para el entorno	10

Fuente: (AENOR, 1996)

3.8.4 Selección del nivel de protección

Para poder seleccionar un nivel de protección adecuado a la estructura a proteger se debe realizar la comparación entre los valores de la frecuencia aceptable sobre la

estructura N_c con el valor de frecuencia de impactos directos de rayos sobre la estructura N_d .

“Esta comparacion permite decidir si es necesario un sistema de proteccion contra el rayo, si lo es, que nivel de proteccion”(AENOR, 1996):

Si $N_d \leq N_c$, el sistema de protección no es necesario

Si $N_d > N_c$, el sistema de protección se debe instalar

Para determinar la eficiencia del sistema y el nivel de protección se debe seleccionar la distancia de cebado de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 11

Eficiencia del sistema y el nivel de protección

EFICIENCIA CALCULADA	NIVEL DE PROTECCIÓN CORRESPONDIENTE	DISTANCIA DE CEBADO
$E \geq 0.98$	Nivel I	20m
$0.95 \leq E < 0.98$	Nivel II	30m
$0.80 \leq E < 0.95$	Nivel III	45m
$0 \leq E < 0.8$	Nivel IV	60 m

Fuente: (AENOR, 1996)

Donde la eficiencia viene dada por:

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (9)$$

3.8.5 Zona de protección

“La zona protegida está delimitada por una superficie de revolución definida por los radios de protección correspondientes a las diferentes alturas h tomadas, el eje de dichos radios de protección es el mismo que el del PDC.” (AENOR, 2011)

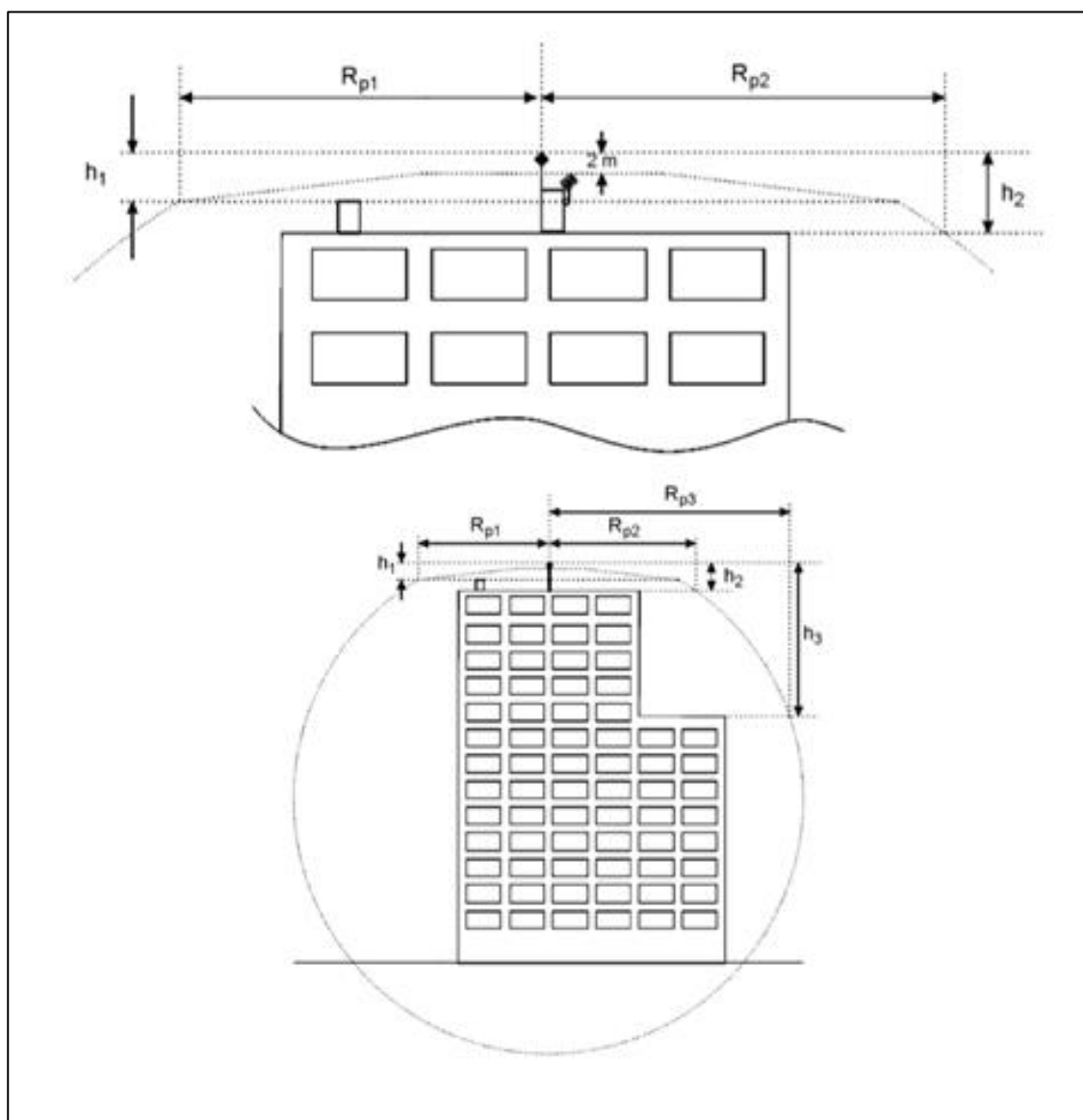


Figura 11 Zona de protección PDC.
Fuente: (AENOR, 2011)

Dónde:

h_n es la altura de la punta del PDC sobre el plano horizontal a proteger más lejano

R_{pn} es el radio de protección del PDC a la altura considerada h_n

El radio de protección de un PDC depende de su altura (h) respecto a la superficie a proteger, de su tiempo de avance y del nivel de protección seleccionado.

$$R_p = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{para } h \geq 5m \quad (10)$$

$$R_p = h * R_p(h = 5)/5 \quad \text{para } 2m \leq h \leq 5m \quad (11)$$

Dónde:

$R_p(h)$ (m) es el radio de protección a una altura dada h

h (m) es la altura de la punta del PDC sobre el plano horizontal del punto a proteger más lejano

r (m) 20 m para nivel de protección I

30 m para nivel de protección II

45 m para nivel de protección III

60 m para nivel de protección IV

$$\Delta \text{ (m)} \quad \Delta = \Delta T * 10^6 \quad (12)$$

“La experiencia en campo ha demostrado que Δ (en metros) es igual a la eficacia obtenida durante los ensayos de evaluación de los PDCs (ΔT en microsegundos).

Para la instalación de la punta del PDC debe estar situada al menos 2 metros por encima de la zona que protege, incluyendo antenas, torres de enfriamiento, techos, depósitos, etc.” (AENOR, 2011)

3.8.6 Cálculo de la resistencia de la malla a puesta a tierra

Un sistema de puesta a tierra debe presentar una resistencia de tierra tan bajo como sea posible, una tierra de protección contra descargas atmosféricas es un sistema separado el cual debe conectarse al sistema de tierra general.

Para una puesta tierra contra descargas atmosféricas (rayos) se puede utilizar las fórmulas de cálculo de resistencia a tierra de le IEEE 80.


Símbolo	Descripción	Fórmula
	Hemisterio, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	Varilla Longitud L, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• •	Dos varillas S > L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• •	Dos varillas S < L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
—	Alambre horizontal enterrado Longitud 2L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
L	Alambre en ángulo recto Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
⋈	Estrella de tres puntas Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+	Estrella de cuatro puntas Longitud de lado L Profundidad 2/s	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
⋈	Estrella de seis puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.409 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
⋈	Estrella de ocho puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
○	Anillo de alambre Diámetro del anillo D Diámetro del alambre d Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	Placa enterrada horizontalmente Longitud 2L, sección a por b, profundidad s/2 b < a/8	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
●	Placa redonda enterrada horizontalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$
	Placa redonda enterrada verticalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99}{320} + \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

Figura 12 fórmulas de cálculo de resistencia a tierra de la IEEE 80
Fuente: (Díaz, 2007)

Para calcular el conductor se utiliza la fórmula:

$$A_c = \frac{I * K_f * \sqrt{t_c}}{1,974} \quad (13)$$

Dónde:

A_c : Sección transversal del conductor a utilizar en mm²

I : Corriente de falla monofásica a tierra en el secundario en KA

K_f : Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión T_m y una temperatura ambiente de 40°C

t_c : Tiempo de despeje de falla en segundos

Por experiencia de campo se acostumbra realizar las mallas de puesta a tierra con conductor calibre 2/0 AWG de cobre, ya que este conductor hace que la malla disponga de una mejor rigidez mecánica y le ayuda a soportar la corrosión. (Casa, 2005)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Análisis de resultados

El informe generado por el GAD parroquial de Belisario Quevedo brinda información de vital importancia para poder identificar o determinar cuando las condiciones climáticas serán apropiadas para la presencia de descargas atmosféricas en la zona, ya que el GAD ha realizado estudios e informes sobre la incidencia de temporadas lluviosas durante todo el año de este modo (Gonzales et al., 2015)

Análisis de días lluviosos en temporadas determinadas revela los siguientes datos:

Tabla 12

Meses con mayores precipitaciones de lluvia durante el año

MESES	DÍAS
Febrero	28
Mayo	31
Octubre	31
Noviembre	31
Total	121

En base a los datos recolectados sobre el número de descargas eléctricas en la provincia por kilómetro cuadrado y considerando la superficie de Cotopaxi y la de la

Parroquia Belisario Quevedo (GAD Provincia de Cotopaxi, 2015) se pueden tener una aproximación sobre el número de descargas eléctricas en la zona del siguiente modo :

- **Extensión de la Provincia de Cotopaxi:** 6109 km²
- **Extensión Parroquia Belisario Quevedo:** 37,9 Km²
- **Numero de rayos por Km² estimados por el INHAMI:** 3 rayos por cada 10 Km²

$$\text{Numero de rayos en Cotopaxi según su extensión} = \frac{0,3 \text{ Rayos}}{1 \text{ km}^2} \times 6109 \text{ km}^2 \quad (14)$$

Numero de rayos en Cotopaxi según su extensión=1832,7 Rayos

$$\begin{aligned} &\text{Porcentaje que ocupa Belisario Quevedo en Cotopaxi} = \\ &\frac{100 \% \text{ Km}^2 \text{ Cotopaxi} \times 37,9 \text{ Km}^2 \text{ Belisario Quevedo}}{6109 \text{ Km}^2 \text{ Cotopaxi}} \quad (15) \end{aligned}$$

Porcentaje que ocupa Belisario Quevedo en Cotopaxi= 0,62 %

$$\begin{aligned} &\text{Numero de rayos que podrían caer en Belisario Quevedo=} \\ &\frac{0,62 \% \times 1832,7 \text{ Rayos}}{100\%} \quad (16) \end{aligned}$$

Numero de rayos que podrían caer en Belisario Quevedo= **197,98 Rayos**

A partir de los datos obtenidos sobre la estimación de rayos que podrían afectar la parroquia rural de Belisario Quevedo en base a datos recopilados del INHAMI, los mismos

pueden ser relacionados con las temporadas lluviosas o de precipitaciones ya que se estima que la pueden llegar a tener más incidencia en dentro de estos fenómenos climáticos , es por esta razón que los datos tendrían mayor validez dentro del dimensionamiento del sistema de protección contra descargas atmosféricas de tal modo se puede estimar de la siguiente manera los datos obtenidos:

Numero de rayos que podrían caer en Belisario Quevedo= 197,98 Rayos

Número de días donde se consideran la caída de rayos = 31 mes (Enero)

Número de días donde se consideran las precipitaciones o lluvias en la zona = 121

Numero de rayos considerados en año por la temporada lluviosas =

$$\frac{\frac{121 \text{ dias}}{\text{año}} \times 197,98 \text{ rayos}}{31 \text{ dias}} \quad (17)$$

Numero de rayos considerados en año por la temporada lluviosas = **772,76 Rayos/año**

$$\text{Cálculo del índice ceráuneo} = \frac{772,26 \frac{\text{rayos}}{\text{año}}}{37,9 \text{ km}^2 \text{ Belisario Quevedo}} \quad (18)$$

$$\text{Cálculo del índice ceráuneo} = \mathbf{20,37} \frac{\text{rayos}}{\text{Km}^2 \times \text{año}}$$

4.1.1 Desarrollo del sistema propuesto

Para la propuesta de puesta a tierra se utiliza la configuración de dos varillas verticales según la IEEE 80 de la tabla 12 de fórmulas para el cálculo de las resistencias a tierra.


Símbolo	Descripción	Fórmula
	Hemisterio, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	Varilla Longitud L, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• •	Dos varillas S > L, separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^8} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• •	Dos varillas S < L, separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
—	Alambre horizontal enterrado Longitud 2L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
└	Alambre en ángulo recto Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
⋈	Estrella de tres puntas Longitud de un lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+	Estrella de cuatro puntas Longitud de lado L Profundidad 2/s	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.471 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
⋈	Estrella de seis puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.409 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
⋈	Estrella de ocho puntas Longitud de lado L Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
○	Anillo de alambre Diámetro del anillo D Diámetro del alambre d Profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	Placa enterrada horizontalmente Longitud 2L, sección a por b, profundidad s/2 b < a/8	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
●	Placa redonda enterrada horizontalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$
	Placa redonda enterrada verticalmente radio a profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99}{320} + \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

Figura 13 Selección de fórmula dos varillas $S > L$ separación s de IEEE 80
Fuente: (Díaz, 2007)

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{2\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^8} + \frac{2L^4}{5s^4} \right) \quad (19)$$

Donde:

ρ : Resistividad aparente del terreno tomando como un suelo uniforme en $\Omega \cdot m$

L : Longitud de la varilla en metros

s : Separación entre varillas en metros

a : Radio de la varilla en metros

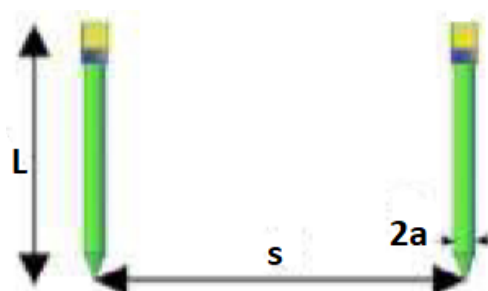


Figura 14 Separación de varilla.

La resistividad promedio del campus en base a una investigación realizada para el diseño de malla de puesta a tierra del campus es $38.52 \Omega \cdot m$ (Pardo, 2014) :

Tabla 13

Resistividad promedio del campus

REFERENCIA	A:	R:	R:	RESISTENCIA	RESISTIV
: ANEXO E	SEPARACIÓN	LECTURA	LECTURA	SELECCIONAD	IDAD
	ENTRE	1	2	A	(ΩM)
	ELECTRODOS	(Ω)	(Ω)	(Ω)	
1. (CT-01)	4	0,95	0,74	0,950	23,88
2. (CT-02)	4	1,32	0,72	1,320	33,18
3. (CT-03)	4	0,95	0,73	0,950	23,88
4. (CT-04)	4	1,2	1,87	1,870	47,00
5. (CT-05)	4	0,8	1,4	1,400	35,19
6. (CT-06)	4	1,19	1,33	1,330	33,43
7. (CT-07)	4	1,25	1,32	1,320	33,18

CONTINUÍA



8. (CT-08) y	4	0,95	2,12	2,120	53,28
9c. (S.I. de Salud)					
9. (CT-09)	4	1,1	0,89	1,100	27,65
10. (CT-10)					
11. (CT-11)					
12. (CT-12)	4	1,71	1,23	1,710	42,98
13. (CT-13)	4	1,52	1,47	1,520	38,20
14. (CT-14)	4	1,72	2,8	2,800	70,37
Resistividad Promedio del campus					38,52

Datos:

$$\rho : 38.52 \Omega.m$$

$$L : 2.40 \text{ m}$$

$$s: 3 \text{ m}$$

$$a : 0.0079375 \text{ m}$$

Para calcular el radio de la varilla de 5/8" se realiza la conversión de pulgadas a metros

$$m = \frac{\frac{5}{8} \text{ in}}{39.370} = \frac{0.015875 \text{ diametro}}{2} = 0.00079375 \text{ radio}$$

Entonces:

$$R = \frac{38.52\Omega \cdot m}{2\pi * 2.40m} \left(\ln \frac{4 * 2.40m}{0.00079375m} - 1 \right) + \frac{38.52\Omega \cdot m}{2\pi * 3m} \left(1 - \frac{2.4m^2}{3 * 3m^8} + \frac{2 * 2.40m^4}{5 * 3m^4} \right)$$

$$R = 9.22 \Omega$$

De acuerdo a la tabla de valores máximos de resistencia de puesta a tierra el resultado obtenido para la puesta a tierra se encuentra dentro de los rangos aceptables para los sistemas de protección contra rayos.

Tabla 14

Valores máximos de resistencia de puesta a tierra

USO PARA	VALOR MAXIMO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras de líneas de transición.	20 (Ω)
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 (Ω)
Subestaciones de media tensión es poste.	10 (Ω)
Subestaciones de media tensión de uso interior.	10 (Ω)
Protección contra rayos.	10 (Ω)
Neutro de acometida en baja tensión.	25 (Ω)
Descargas electrostáticas.	25 (Ω)
Equipos electrónicos sensibles.	5 (Ω)

Fuente:(Casa, 2005)

a. Cálculo del conductor

$$A_c = \frac{I * K_f * \sqrt{t_c}}{1,974} \quad (13)$$

Datos:

I : 250 KA

K_f : 10.45

t_c : 0.002 segundos

Para los valores de K_f se utilizó la tabla de constantes de materiales para puestas a tierras

Tabla 15

Constantes de materiales para puestas a tierras

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (%)	Tm (°C)	K_t
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conexiones mecánicas a presión	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64

CONTINÚA 

Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,64
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero galvanizado			
	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de cinc	8,6	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

Fuente: (Casa, 2005)

Donde:

Se determinó bibliográficamente que la corriente de falla monofásica media es de 250 KA, *“Los rayos pueden alcanzar intensidades de 200 KA (ocasionalmente 500 KA) con una energía media disipada por el canal de descarga de $10^5 J/m$ ”* (Díaz, 2007)

Para la constante K_f se consideró el valor de 10.45 según la tabla 15 entonces:

$$A_c = \frac{250 \text{ KA} * 10.45 * \sqrt{0.002}}{1,974}$$

$$A_c = 59.19 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el calibre del conductor a utilizar es 2/0 AWG con un área nominal de 67.44 mm² según la tabla 16 de dimensiones de conductores de puesta a tierra.

Tabla 16*Dimensiones de conductores de puesta a tierra*

Calibre del conductor		Área nominal (mm^2)	Diámetro (m)
kcmil	AWG		
350		177,35	0,0150
300		152,01	0,0139
250		126,68	0,0127
211,6	4/0	107,22	0,0117
167,8	3/0	85,03	0,0104
133,1	2/0	67,44	0,0093

Fuente:(Casa, 2005)

b. Cálculo de la frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d)

$$N_d = N_g * 1.1 * A_e * C_1 * 10^{-6} / \text{año} \quad (5)$$

Donde :

 N_g : 20.37 (número de impactos/año,km²)

1.1: es el coeficiente de seguridad ligado a la evaluación de impactos

 A_e : 9252.34 (m²) C_1 : 1 (por ser una estructura asilada)

$$A_e = L * W + 6H * (L + W) + 9 * \pi * H^2 \quad (6)$$

Donde :

L: 25.10 (m)

W: 42.65 (m)

H: 11.26 (m)

$$A_e = 25.10 * 42.65 + 6 * 11.26 * (25.10 + 42.65) + 9 * \pi * 11.26^2$$

$$A_e = 9232.54 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$N_d = 20.37 * 1.1 * 9232.54 * 1 * 10^{-6} / \text{año}$$

$$N_d = 0.21 \text{ numero de impactos} / \text{año}$$

c. Cálculo de la frecuencia aceptable de rayos (N_c)

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5} \quad (8)$$

C_2 : 0.5 (Estructura metálica - Cubierta metálica)

C_3 : 2 (Valor común o normalmente inflamable)

C_4 : 3 (Ocupada normalmente)

C_5 : 5 (Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno)

Entonces:

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{0.5 * 2 * 3 * 5}$$

$$N_c = 0.0002$$

d. Cálculo del nivel de protección

$N_d > N_c$, el sistema de protección se debe instalar

$$0.21 > 0.0002$$

e. Cálculo de la eficiencia del sistema

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (9)$$

$$E \geq 1 - \frac{0.0002}{0.21}$$

$$E \geq 0.999$$

Entonces:

Tabla 17

Resultados de Eficiencia, nivel de protección y distancia de cebado.

Eficiencia calculada	Nivel de protección correspondiente	Distancia de cebado
$E \geq 0.98$	Nivel I	20m

f. Cálculo de Zona de protección

Para este cálculo se utilizó la tabla del pararrayos nimbus 15 de la marca **CIRPROTEC**.

$$R_p = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{para } h \geq 5m \quad (10)$$

$$R_p = h * R_p(h = 5)/5 \quad \text{para } 2m \leq h \leq 5m \quad (11)$$

Tabla 18

Datos pararrayos nimbus 15 CIRPROTEC

h (m)	ΔT	R_p (m)
2	15	13
5	15	32
10	15	34
20	15	35
30	15	34
40	15	29
50	15	18

Fuente: (Catalogo nimbus 15 CIRPROTEC, 2012)

4.1.2 Resumen de resultados

Tabla 19

Resumen de resultados

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UNIDAD
Resistencia de la puesta a tierra	9.22	Ohmios

CONTINÚA 

Conductor (bajante a puesta a tierra)	67.44	Milímetros cuadrados
Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d)	0.21	Números de impactos / año
Frecuencia aceptable de rayos (N_c)	0.0002	---
Nivel de protección	$N_d > N_c$	---
	Nivel I , 20 metros	---
Eficiencia del sistema	0.999	---
Radio de protección del PDC a la altura considerada h " R_p "	32	Metros

4.2 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el diseño e implementación del sistema de protección contra descargas atmosféricas con dispositivo de cebado PDC serán analizados con los sistemas de protección considerados "tradicionales" ya que son los más usuales tanto por su precio como por su factibilidad de instalación. Por este motivo es necesario recalcar algunas consideraciones estimadas en el diseño de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas tradicionales:

- Las puntas o pararrayos del tipo Franklin son las consideradas como tradicionales en la instalación.
- El análisis del diseño en la instalación de puntas Franklin se basa en el método del ángulo de protección el cual determina un volumen de protección donde el vértice

es el captado en la parte externa y el ángulo de protección resultante dependerá del nivel de protección seleccionado así como de la altura de la estructura a proteger.

- Por sus características en la instalación de las puntas Franklin es necesario localizar los lugares de mayor altitud así como los considerados como los más “vulnerables” en la edificación como por ejemplo : los vértices , las salientes , etc. (Aplicaciones Tecnológicas, 2012)
- Por lo general es necesaria la colocación de mallas reticulares en la estructura compuestas de conductores con una separación establecida por el nivel de protección que se seleccionó en el diseño.
- En la instalación del sistema de protección la punta Franklin está conectada a la tierra gracias a un conductor de cobre o alambre de acero con recubrimiento de cobre y en la conexión a tierra es necesario hacer huecos en el terreno y conexiones a placas.
- El principio del funcionamiento de un sistema de protección con una punta del tipo Franklin se basa en una zona de protección teórica en el diseño la cual será formada por el extremo de la punta y el vértice generado por la misma con la estructura dando una forma del tipo cónica por ello el ángulo será dependiente de la apertura generado por el nivel de protección seleccionado generando así un campo eléctrico con tensión elevada el cual suele tomar el nombre de “sombra eléctrica”.(Porcel, 2009a)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente podemos relacionar como el diseño e implementación del sistema de protección con dispositivo de cebado PCD

determina no solo un nivel de protección mayor si no una cobertura o protección mayor de este modo:

- En el sistema de protección de la presente investigación para la realización de diseño se consideró la longitud, altura, y el ancho de la edificación con la adición de la punta PDC, además se seleccionó un nivel de protección con el cual se obtiene una zona de protección circular o esférica la cual contiene mayor volumen que una cónica.
- En la instalación la punta PDC puede colocarse en cualquier localización de la estructura ya que con ello se puede obtener una zona de protección mayor dependiendo del nivel de protección y altura de colocación del PDC es decir no precisa de vértices o salientes así como de zonas “vulnerables” ya que genera una zona de protección mayor.
- No es necesaria la instalación de mallas en la estructura para mejorar la conducción eléctrica resultante de la atracción de la descarga eléctrica.
- El sistema de protección propuesto se basa en generar una esfera de protección con mayor volumen protección sobre la zona, es decir al utilizar el diseño propuesto con el dispositivo de cebado PDC no solo se incrementa la zona a proteger si no que la energía es desviada de forma más eficiente.

4.3 Comprobación de Hipótesis

Debido a la dificultad técnica para la obtención de datos correlacionales que defina una prueba de hipótesis estadística que determine la comprobación de la misma, no es

posible la aplicación de este método de comprobación ya que resulta inútil el poder predecir la caída de una descarga atmosférica, por este motivo la comprobación de hipótesis del sistema de protección contra descargas atmosféricas con dispositivo de cebado PDC se basará en la determinación analítica de los cálculos de diseño realizados para la implementación y regidos a las normas internacionales utilizadas destacándolos siguientes resultados:

- **Resistencia de la puesta a tierra;** 9.22 Ohmios
- **Conductor (bajante a puesta a tierra):** 67.44 Milímetros cuadrados
- **Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d):** 0.21 Números de impactos / año
- **Frecuencia aceptable de rayos (N_c):** 0.0002
- **Nivel de protección:** Nivel I, 20 metros
- **Eficiencia del sistema:** 0,999
- **Radio de protección del PDC a la altura considerada h " R_p ":** 32 Metros

Con los datos presentados es viable determinar que tras la implementación del sistema de protección diseñado en la presente investigación se incrementaron los niveles de protección seleccionados en base a los dispositivos PDC debido a que analíticamente se obtiene un nivel de protección I con 20 metros en la zona de protección así como una eficiencia del sistema del 99,9 por ciento.

Adicionalmente se utilizó el software Nimbus Projectv.4 como técnica asistida para comprobación del diseño de protección contra descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC.

Mis Proyectos **Proyecto** Datos Personales Solicitar Información

Modificar Proyecto. Paso 1 de 8: Datos Básicos

Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

Este asistente le permite modificar su proyecto a través de 8 pasos.

En este primer paso tiene que introducir los datos básicos:

Nombre*	Laboratorio Autotronica
Ubicación*	Belisario Quevedo -Latacunga
Para la empresa	ESPE-L Campus Belisario Quevedo
A la atención de	
Otros Datos	

(* = Campos obligatorios)

Paso 2: Normativa >>

Figura 15 *Introducción de datos del proyecto en el Software Nimbus Project*

Fuente: Software Nimbus Project

Mis Proyectos **Proyecto** Datos Personales Solicitar Información

Modificar Proyecto. Paso 2 de 8: Normativa
 Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

<< Paso 1: Datos Básicos

Seleccione la Normativa que va a utilizar para hacer el cálculo de índice de riesgo para la necesidad de un pararrayos:

Normativa

<< Paso 1: Datos Básicos Paso 3: Valor Esperado de Impactos >>

Figura 16 Selección de normativa a utilizar en el Software Nimbus Project

Fuente: Software Nimbus Project

Mis Proyectos **Proyecto** Datos Personales Solicitar Información

Modificar Proyecto. Paso 3 de 8: Valor Esperado de Impactos
 Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

<< Paso 2: Normativa

Definimos **nivel isocerámico** como el número de descargas eléctricas por unidad de superficie (km^2) y por año, que mide la probabilidad que tiene un punto del terreno de ser alcanzado por una descarga atmosférica.

Introduzca el valor esperado de impactos:

Valor Impactos/año, Km^2

<< Paso 2: Normativa Paso 4: Superficie de Captura Aparente >>

Figura 17 Introducción del Nivel isocerámico en el Software Nimbus Project

Fuente: Software Nimbus Project

Mis Proyectos **Proyecto** Datos Personales Solicitar Información


Modificar Proyecto. Paso 4 de 8: Superficie de Captura Aparente

Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

<< Paso 3: Valor Esperado de Impactos


Introduzca las medidas del edificio según el dibujo (en metros):

H	<input type="text" value="11.26"/>	(<= 60 m.)
L	<input type="text" value="25.10"/>	
I	<input type="text" value="42.65"/>	



Si el edificio presenta una parte prominente indique su altura (en metros):

H (opcional)	<input type="text" value="0.00"/>	(<= 60 m.)
--------------	-----------------------------------	------------



<< Paso 3: Valor Esperado de Impactos **Paso 5: Situación y Materiales >>**

Figura 18 Introducción de mediada de la edificación en el Software Nimbus Project

Fuente: Software Nimbus Project

Mis Proyectos **Proyecto** Datos Personales Solicitar Información

Modificar Proyecto. Paso 5 de 8: Situación y Materiales de la Estructura

Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

<< Paso 4: Superficie de Captura Aparente

Seleccione una opción para cada uno de los conceptos siguientes:

Estructura:

Situación

Material

Cubierta:

Material

<< Paso 4: Superficie de Captura Aparente

Figura 19 Introducción de datos según estructura y cubierta de la edificación en el

Software Nimbus Project

Fuente: Software Nimbus Project

Mis Proyectos **Proyecto** Datos Personales Solicitar Información

Modificar Proyecto. Paso 6 de 8: Contenido, Uso y Actividades del Edificio

Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

<< Paso 5: Situación y Materiales

Seleccione una opción para cada uno de los conceptos siguientes:

Contenido

Uso

Que pasaría si el edificio se deteriorase (necesidad de continuidad en sus actividades):

Valor

<< Paso 5: Situación y Materiales

Figura 20 Introducción de datos según contenido, uso y actividades de la edificación en el Software Nimbus Project

Fuente: Software Nimbus Project

Mis Proyectos **Proyecto** Datos Personales Solicitar Información

Modificar Proyecto. Paso 7 de 8: Posición del Pararrayos

Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

<< Paso 6: Contenido, Usos y Actividades

Indique dónde quiere instalar el Pararrayos:

Posición



<< Paso 6: Contenido, Usos y Actividades

Figura 21 Selección de la ubicación para el emplazamiento del pararrayos en el Software Nimbus Project

Fuente: Software Nimbus Project

Mis Proyectos Proyecto Datos Personales Solicitar Información

Modificar Proyecto. Paso 8 de 8: Resultado

Proyecto: 26598_Laboratorio Autotronica

[<< Paso 7: Posición del Pararrayos](#)

Según los parámetros que ha introducido, se determina que:

ES NECESARIO INSTALAR UN PARARRAYOS EN SU EDIFICIO

La Eficiencia Requerida tiene un valor de **1.00**, por lo que el nivel de protección es de:

Nivel de Protección 1

Cirprotec recomienda en este caso la instalación del siguiente pararrayos:

Nimbus 15 con radio de cobertura de 32 m

Este es el último paso. **Al pulsar Finalizar y Guardar Proyecto** irá a la pantalla resumen del proyecto, donde podrá ver y modificar todos los parámetros que ha introducido, así como descargarse informes técnicos.

[Finalizar y Guardar Proyecto](#)

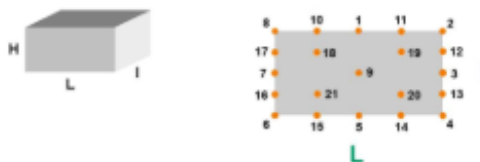
[<< Paso 7: Posición del Pararrayos](#)

Figura 22 Resultados de sistema contra descargas atmosféricas en el Software Nimbus Project

Laboratorio Autotronica

Parámetros Introducidos

Código:	26598
Ubicación:	Belisario Quevedo -Latacunga
Para la empresa:	ESPE-L Campus Belisario Quevedo
A la atención de:	
Otros Datos:	
Normativa:	UNE 21186
Núm. Impactos:	20.37 Impactos/año, Km ²
Medidas Edificio (m.):	H: 11.26 L: 25.10 I: 42.65 Ht: 0.00
Posición Pararrayos:	9
Situación Estructura:	Aislada
Material Estructura:	Estructura metálica
Material Cubierta:	Cubierta metálica
Contenido Edificio:	Valor común o normalmente inflamable
Uso Edificio:	Ocupada normalmente
Necesidad Continuidad:	Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno



Cálculos Realizados

Superficie de Captura Equivalente (Ae):	9232.54 m ²
Mayor distancia a proteger:	24.74 m
Frecuencia Esperada Impactos (Nd):	0.2069 impactos/año
Riesgo Admisible (Nc):	2.000e-4
Eficiencia Requerida (E):	1.00
Nivel de Protección:	1

Cirprotec recomienda en este caso la instalación del siguiente pararrayos:

Nimbus 15 con radio de cobertura de 32 m

Figura 23 Resumen de resultados en el Software Nimbus Project

Fuente: Software Nimbus Project

Con la utilización de estas técnicas asistidas comprobamos la necesidad de la implementación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC en el laboratorio de autotronica y la verificación de los cálculos obtenidos en el radio de protección, nivel de protección y eficiencia del sistema.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 Datos Informativos

El sistema se implementó en el laboratorio de autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga – Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara, el cual se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi en el cantón Latacunga en la parroquia Belisario Quevedo



Figura 24 Laboratorio de Auto trónica ESPE extensión- Latacunga Campus Gral. Guillermo Rodríguez

5.1.1 Condiciones geográficas de la zona

La parroquia Belisario Quevedo presenta una temperatura anual media de 13.3 C° con una precipitación media de 450 a 750 mm, en las cuales se identifican la presencia de lluvias en las cuales existe una gran probabilidad de la ocurrencia de tormentas eléctricas. Con mayor frecuencia en los meses de Febrero hasta Mayo y en los meses de Octubre y Noviembre según datos del gobierno autónomo descentralizado de la parroquia.(Gonzales et al., 2015)

5.2 Antecedentes de la propuesta

Las edificaciones presentes en el Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga ubicadas en la parroquia Belisario Quevedo fueron construidas con diferentes finalidades en las cuales el sistema eléctrico, acomodadas y puestas a tierra se consideraron bajo parámetros de seguridad “básicos” los cuales cumplen los requerimientos legales así como técnicos para el correcto desarrollo de las actividades diarias de la Universidad. Pero las investigaciones realizadas sobre los sistemas de protección contra descargas atmosféricas son escasos ya que están orientados al apantallamiento de dichas descargas solo con sistemas en la colocación de puesta a tierra. Por lo cual es posible determinar que no existe un sistema implementado el cual logre proteger de manera efectiva a las edificaciones sobre los riegos de descargas eléctricas (rayos), además no existe una norma nacional técnica ni ningún tipo de reglamentación nacional que defina el requerimiento de dichos sistemas en las diferentes edificaciones. Adicionalmente no

existen datos sobre el nivel ceráuneo de la zona pero si de la incidencia de rayos en la provincia.(Paste Lasluisa & Gualoto Sangucho, 2002)(Pardo Romero, 2014)

5.3 Justificación

La implementación del sistema contra descargas atmosféricas contempla el aseguramiento físico de las instalaciones de la edificación del laboratorio de auto trónica del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga ya que brinda niveles de eficacia elevados así en base a cálculos analíticos de dimensionamiento para los requerimientos presentes dentro de la edificación. Además el sistema implementado es externo por lo cual no afecta al correcto desarrollo de las actividades diarias de la estructura así como no afecta a las instalaciones eléctricas contenidas en la misma.

En base a los datos recolectados sobre el número de descargas eléctricas en la provincia por kilómetro cuadrado y considerando la superficie de Cotopaxi y la de la Parroquia Belisario Quevedo (GAD Provincia de Cotopaxi, 2015) se pueden tener una aproximación sobre el número de descargas eléctricas en la zona del siguiente modo :

- **Extensión de la Provincia de Cotopaxi:** 6109 km²
- **Extensión Parroquia Belisario Quevedo:** 37,9 Km²
- **Numero de rayos por Km² estimados por el INHAMI:** 3 rayos por cada 10 Km²

Numero de rayos en Cotopaxi según su extensión=1832,7 Rayos

Porcentaje que ocupa Belisario Quevedo en Cotopaxi= 0,62 %

Numero de rayos que podrían caer en Belisario Quevedo= 197,98 Rayos

Número de días donde se consideran la caída de rayos = 31 mes (Enero)

Número de días donde se consideran las precipitaciones o lluvias en la zona = 121

Numero de rayos considerados en año por la temporada lluviosas =772,76 Rayos/año

$$\text{Cálculo del índice ceráuneo} = 20,37 \frac{\text{rayos}}{\text{Km}^2 \times \text{año}}$$

Este valor obtenido de forma analítica basado en datos reales y certificados denota la necesidad de un sistema contra descargas atmosféricas no solo en edificaciones generales si no en las cuales se identifique la necesidad de protección eléctrica debido a los equipos contenidos en las mismas como es el caso del laboratorio de auto trónica.

5.4 Objetivos

- Realizar el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas aplicado al de auto trónica del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.
- Efectuar la implementación del sistema de protección contra descargas atmosféricas en base a dispositivos de cebado PDC.
- Determinar los parámetros de análisis necesarios para una metodología en la implementación sistemas de protección con dispositivos de cebado.

5.5 Fundamentación de la propuesta

Al realizar el estudio de los dispositivos de cebado para implementación de un sistema contra descargas atmosféricas funcional se requiere un análisis técnico aplicando conceptos y técnicas asistidas, con ello es posible determinar la necesidad del mismo ya que aunque no existe una reglamentación nacional a nivel internacional se puede identificar como normas técnicas definen los niveles de protección así como la necesidad para cada requerimiento en general. La presente investigación se basa en la aplicación de dichas normas internacionales tanto en el dimensionamiento como en la implementación del sistema, por ellos los resultados del análisis de dimensionamiento e implementación se rigen a normas internacionales en todos parámetros analizados necesarios. Sin desfavorecer o atentar contra la red de distribución eléctrica de la edificación.

5.6 Diseño de la propuesta

5.6.1 Desarrollo del sistema propuesto

Para la propuesta de puesta a tierra se utiliza la configuración de dos varillas verticales según la IEEE 80.

Resistencia de puesta a tierra:

$$R = 9.22 \Omega$$

De acuerdo a los valores máximos de resistencia de puesta a tierra el resultado obtenido para la puesta a tierra se encuentra dentro de los rangos aceptables para los sistemas de protección contra rayos.

a. Cálculo del conductor

$$A_c = 59.19 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el calibre del conductor a utilizar es 2/0 AWG con un área nominal de 67.44 mm² según la tabla de dimensiones de conductores de puesta a tierra.

b. Cálculo de la frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d)

$$N_d = N_g * 1.1 * A_e * C_1 * 10^{-6} / \text{año}$$

Donde :

N_g: 20.37 (número de impactos/año,km²)

1.1: es el coeficiente de seguridad ligado a la evaluación de impactos

A_e: 9252.34 (m²)

C₁: 1 (por ser una estructura asilada)

$$N_d = 0.21 \text{ numero de impactos/año}$$

c. Cálculo de la frecuencia aceptable de rayos (N_c)

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5}$$

C_2 : 0.5 (Estructura metálica - Cubierta metálica)

C_3 : 2 (Valor común o normalmente inflamable)

C_4 : 3 (Ocupada normalmente)

C_5 : 5 (Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno)

Entonces:

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{0.5 * 2 * 3 * 5}$$

$$N_c = 0.0002$$

d. Cálculo del nivel de protección

$N_d > N_c$, el sistema de protección se debe instalar

$$0.21 > 0.0002$$

e. Cálculo de la eficiencia del sistema

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

$$E \geq 1 - \frac{0.0002}{0.21}$$

$$E \geq 0.999$$

f. Cálculo de Zona de protección

Para este cálculo se utilizó la tabla del pararrayos nimbus 15 de la marca CIRPROTEC.

$$R_p = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{para } h \geq 5m$$

$$R_p = h * R_p(h = 5)/5 \quad \text{para } 2m \leq h \leq 5m$$

5.6.2 Resumen de resultados

Tabla 1920

Resumen de resultados

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UNIDAD
Resistencia de la puesta a tierra	9.22	Ohmios
Conductor (bajante a puesta a tierra)	67.44	Milímetros cuadrados
Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d)	0.21	Números de impactos / año
Frecuencia aceptable de rayos (N_c)	0.0002	---
Nivel de protección	$N_d > N_c$	---
	Nivel I , 20 metros	---
Eficiencia del sistema	0.999	---

CONTINÚA 

Radio de protección del PDC a la altura considerada h " R_p "	32	Metros
---	----	--------

5.7 Metodología

Los parámetros fundamentales que se debe considerar son los siguientes:

- Medir de la resistividad del suelo.
- Configurar de las varillas de puesta a tierra para obtener una resistencia máxima de 10 ohmios.
- La existencia de una malla de puesta a tierra en el edificio la cual debe ser unida a la puesta tierra del pararrayos con una bobina de choque o vía de chispa para equipotenciar ambos sistemas de referencia y no causar sobre voltajes en el sistema eléctrico del edificio.
- Calcular la sección del conductor de acuerdo a la corriente de falla de un rayo que bordea como mínimo los 200 KA y 500 KA, el tiempo de despeje de la falla y la constante de materiales para puestas a tierra.
- Determinar el nivel ceráuneo de la zona con los datos disponibles.
- Calcular la frecuencia esperada de los impactos directos de rayos, el coeficiente relacionado con el entorno y la altura, ancho y largo de la estructura a proteger.
- La frecuencia aceptable de rayos, el tipo de construcción de la edificación o estructura, el contenido de la edificación o estructura, la ocupación de la

edificación o estructura y las consecuencias de la edificación o estructura con el entorno.

- Determinar la necesidad de la implementación del sistema contra descargas atmosféricas relacionando los puntos descritos anteriormente.
- Calcular la eficiencia del sistema a implementar de acuerdo a los cálculos obtenidos.
- Obtener el nivel de protección de acuerdo a la eficiencia del sistema.
- Obtener la zona de protección con la altura y radio de protección considerada en cada altura tomada desde la punta del PDC sobre el plano horizontal a proteger más lejano, esto se puede obtener de acuerdo a las tablas de radios de protección del dispositivo a instalar seleccionado.

En la tabla siguiente se describe un resumen las fórmulas y criterios a implementar para determinar la implementación en cualquier edificación o estructura a proteger:

Tabla 21*Resumen de las fórmulas y criterios a implementar*

ENTADA DE DATOS	FÓRMULAS	CÁLCULOS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Puesta a tierra • Resistividad del suelo 	Según configuración de varillas	Tabla de fórmulas para el cálculo de las resistencias a tierra	Resistencia menor a 10 ohmios para protección de rayos
<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de sección de conductor "A_c" • Corriente de falla "I" (entre 200 KA y 500 KA) • Tiempo de despeje de falla (t_c) • Constantes de materiales para puestas a tierras "K_f" 	$A_c = \frac{I * K_f * \sqrt{t_c}}{1,974}$	K _f t _c	A _c

CONTINÚA 

<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d) 	$N_d = N_g * 1.1 * A_e * C_1 * 10^{-6} / \text{año}$	A_e	N_d
<ul style="list-style-type: none"> • Número de impactos/año, km^2 (N_g) 	$A_e = L * W + 6H * (L + W) + 9 * \pi * H^2$	C_1	
<ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente relacionado con el entorno "C_1" 			
<ul style="list-style-type: none"> • Largo, ancho y altura de la edificación o estructura "L, W, H" 			
<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia aceptable de rayos (N_c) 	$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5}$	C_2	N_c
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de construcción C_2 		C_3	
<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de la estructura C_3 		C_4	
<ul style="list-style-type: none"> • Ocupación de la estructura C_4 		C_5	

CONTINÚA 

- **Consecuencias sobre el entorno C₅**

- **Necesidad de implementación**

Si $N_d \leq N_c$, el sistema de protección no es necesario

Si $N_d > N_c$, el sistema de protección se debe instalar

- **Eficiencia del sistema**

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

N_c

E

N_d

- **Nivel de protección**

Eficiencia calculada	Nivel de protección correspondiente	Distancia de cebado
$E \geq 0.98$	Nivel I	20m
$0.95 \leq E$	Nivel II	30m
< 0.98		
$0.80 \leq E$	Nivel III	45m
< 0.95		

De acuerdo a la eficiencia del sistema

Nivel de protección y distancia de cebado

CONTINÚA



$$0 \leq E < 0.8$$

Nivel IV

60 m

- **Zona de protección** $R_p = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)}$ para $h \geq 5m$ Según tabla de radios R_p
- **Altura de la punta del PDC sobre el plano horizontal a proteger más lejano "h"** $R_p = h * R_p(h = 5)/5$ para $2m \leq h \leq 5m$ protección del dispositivo a instalar
- **Radio de protección del PDC a la altura considerada h "R_p"**

CONCLUSIONES

- Se analizó los protectores descarga con dispositivos de cebado y se verifico que el radio de protección es mayor a los radios de protección de los pararrayos convencionales ya que ellos prestan una forma cónica en la zona de protección a comparación de la forma esférica generada en zona de protección por los dispositivos PDC.
- Se dimensionó el sistema de protección contra descargas atmosféricas en base a la norma UNE 21186 y sustentándose en las configuraciones de varillas verticales descritas en la IEEE 80, obteniendo una resistencia de puesta a tierra de 9.22 ohmios los cuales se encuentran dentro de los parámetros establecidos y un radio de protección aproximado de 32m para la zona de protección de la edificación.
- Se implementó un sistema de protección contra descargas atmosféricas en base a dispositivos de cebado PDC seleccionando el radio y nivel de protección adecuado para la edificación, determinado que la colación del pararrayos se debe realizar en la parte más alta y porción media de la superficie de la cubierta del laboratorio de autotrónica, una bajante a puesta a tierra con conductor 2/0 AWG, y una configuración de 2 varillas verticales de 5/8" de diámetro y 2.40 m de longitud separadas 3 metros entre sí, además de un contador de descargas que guardará información de los eventos suscitados durante una descarga de energía del sistema que se encuentra resguardando el laboratorio de autotrónica.

- Se desarrolló una metodología para la implementación de sistemas de protección con dispositivos de cebado aplicando normas internacionales y que pueden ser utilizadas en cualquier caso de estudio, siempre y cuando se siga los pasos establecidos en la metodología, tomando en cuenta las fórmulas y los criterios de implementación descritos.
- En base a los análisis de nivel ceráuneo de la zona, los radios de protección de los dispositivos de cebado, la configuración de la puesta a tierra adecuada para el sistema y aplicando las normas internacionales para protección de descargas atmosféricas (rayos), se diseñó e implementó un sistema de descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC en el edificio de laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.

RECOMENDACIONES

- Para la implementación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC se recomienda utilizar los criterios de implementación y la metodología desarrollada en el presente trabajo de investigación.
- Se recomienda que los datos recogidos por el contador de descargas sean evaluado cada mes durante un periodo de un año para así obtener un nivel cerámico propio de la zona.
- Para el emplazamiento del mástil y dispositivo PDC se debe considerar la factibilidad de la colocación del mismo, tanto como la altura y ubicación en la edificación, ya que esto interfiere en la zona de protección y la distancia más lejana que cubre el radio de protección en la edificación o estructura que se desea proteger contra descargas atmosféricas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR. NORMA UNE 21.186 “ Protección de estructuras , edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivos de cebado” (1996). ESPAÑA.

AENOR. NORMA UNE 21186 “ Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivos de cebado” (2011).

Aplicaciones Tecnologicas, V. (2012). Catalogo, 186.

Camacho, O. E., Ivonne, S., & Trujillo, H. (2018). Contribución para la implementación de una red de detección de rayos en Ecuador. *Revista Politécnica*, 41, 18–45.

Casa, F. (2005). *Tierras : soporte de la seguridad eléctrica*. (INCONTEC, Ed.) (Quinta). Bogotá.

De La Bodega, F., Gutiérrez, M. D., Aginako, Z., & Sagastabeitia, K. J. (n.d.). FACTS Formas de usar más eficientemente las líneas eléctricas existentes. Recuperado el 19 de agosto 2017 Retrieved from <http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/316-delabodega.pdf>

El Telégrafo. (2018, January 4). Un promedio de 108.200 rayos caen en el Ecuador en enero. *Ecuador*. Recuperado el 25 de julio 2018 Retrieved from <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/un-promedio-108-200-rayos-cae-en-el-ecuador-en-enero>

GAD Provincia de Cotopaxi. (2015). Recuperado el 1 de abril 2017 *Plan de Desarrollo y*

ordenamiento Territorial. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Galván, A. (2013). Protección contra descargas atmosféricas. Recuperado el 14 de abril 2017 Retrieved August 3, 2018, from <https://www.youtube.com/watch?v=EkkFr-VTXQ0>

Gonzales, S. N., Almachi, I. R., & Montachana, S. J. (2015). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO 2011-2023 – Actualización 2015.

Horacio, T. (2002). *EL RAYO*.

INGESCO. (n.d.). Pararrayos PDC con dispositivo de cebado. Recuperado el 20 de mayo 2017 Retrieved August 3, 2018, from <https://www.ingesco.com/es/productos/pararrayos-ingesco-pdc>

Kingfield, D. M., Calhoun, K. M., & de Beurs, K. M. (2017). Antenna structures and cloud-to-ground lightning location: 1995-2015. Recuperado el 04 de abril 2017 *Geophysical Research Letters*, *44*(10), 5203–5212. <https://doi.org/10.1002/2017GL073449>

Leon, T., & Lorena, C. (2014). METODOLOGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS EXTERNOS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SEPRA) EN EL SECTOR PETROLERO.

López, L., Manuel, J., & Montserrat, M. R. (n.d.). Jaula de Faraday. Recuperado el 22 de agosto 2017 Retrieved from <http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Presentacion-Blindaje->

electrico_23089.pdf

Martinez, A. (2018, April 12). ¿Qué provincias de Ecuador recibirían más caída de rayos en abril? *EL METRO ECUADOR*.

Pardo, R. (2014). DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA Y APANTALLAMIENTOS ELÉCTRICOS PARA PROTECCIÓN DE PERSONAS Y EQUIPOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE CAPUS GENERAL RODRÍGUEZ LARA.

Pardo Romero, W. A. (2014). Artículo Científico - Diseño de sistemas de puestas a tierra y apantallamientos eléctricos para protección de personas y equipos de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Campus General Rodríguez Lara. Recuperado el 11 de junio 2018 Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8197>

Paste Lasluisa, J. L., & Gualoto Sangucho, J. (2002). Implementación de un pararrayo para protección del sistema de antenas del ITSA. Recuperado el 15 de abril 2018 Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8025>

Porcel, F. (2009a). DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD: INVENTORES E INVENTOS. FRANKLIN Y EL PARARRAYOS, LA LENTE BIFOCAL Y EL CUENTAKILÓMETROS. Recuperado el 05 de mayo 2018 Retrieved from <https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Nu>

mero_18/FRANCISCO M._ PORCEL GRANADOS_1.pdf

Porcel, F. (2009b). DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD: INVENTORES E INVENTOS. FRANKLIN Y EL PARARRAYOS, LA LENTE BIFOCAL Y EL CUENTAKILÓMETROS " Recuperado el 30 de abril 2017 Retrieved from https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Nu_mero_18/FRANCISCO M._ PORCEL GRANADOS_1.pdf

Reyna, A. (n.d.). ANEXO de la publicación en INGENIERÍA ELÉCTRICA de marzo de 2004 TERMINALES CAPTORES DE RAYOS Y SUS ÁNGULOS DE PROTECCIÓN. *INGENIERÍA ELÉCTRICA*. Recuperado el 11 de marzo 2018 . Retrieved from http://www.reynayasociados.com.ar/assets/articulos/Articulo-ANEXO_ESFERA_RODANTE.pdf

Torres, H. (2010). ¿QUÉ RAYOS SABEMOS? *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, XXXIV(131), 193–208. Recuperado el 22 de abril 2018 Retrieved from http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_34/131/193-208.pdf

ULHI. (n.d.). El rayo - Montaje de las puestas a tierra. Recuperado el 10 de abril 2018, Retrieved June 26, 2018, from http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI05/es_IEA_IEI05_Contenidos/website_10_1_el_rayo.html

Universidad Tecnológica de Pereira., M. A., & A., J. H. S. (2006). *Scientia et technica*.

Scientia et technica (Vol. 3). Recuperado el 5 de junio 2017 Retrieved from
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6257/3543>

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de investigación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS CON DISPOSITIVOS DE CEBADO PARA EL LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA – CAMPUS GRAL. GUILLERMO RODRÍGUEZ LARA**” ha sido realizado por el señor **Manzano Vela, Cristian Andrés** el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

En la ciudad de Latacunga, a los 6 días del mes de agosto del 2018.

Aprobado por


ING. WASHINGTON FREIRE LL.
DIRECTOR DEL PROYECTO


ING. KATYA TORRES
DIRECTORA DE CARRERA



DR. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADÉMICO
