

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

Análisis y diseño del sistema de pararrayos de la subestación eléctrica de la facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

AUTOR:

Crespin Tixe, Mayra Jacqueline

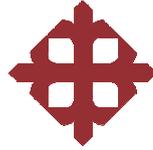
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

Tutivén López, Pedro

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Crespin Tixe, Mayra Jacqueline**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**.

TUTOR

f. _____

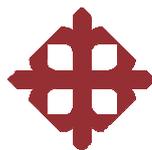
Tutivén López, Pedro

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 17 del mes de septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Crespin Tixe, Mayra Jacqueline

DECLARO QUE:

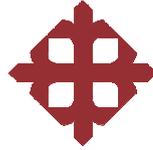
El Trabajo de Titulación, “**Análisis y diseño del sistema de pararrayos de la subestación eléctrica de la facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

f. _____
Crespin Tixe, Mayra Jacqueline



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Crespin Tixe, Mayra Jacqueline**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Análisis y diseño del sistema de pararrayos de la subestación eléctrica de la facultad técnica para el desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR:

f. _____

Crespin Tixe, Mayra Jacqueline

REPORTE URKUND

The screenshot shows an Outlook email window with the following details:

- Documento:** tesis final mayra revu 1.pdf (021514416)
- Presentado:** 2016-06-26 12:01 (-05:00)
- Presentado por:** maymad226@hotmail.com
- Recibido:** orlando.philco.ucsg@analysis.urkund.com
- Mensaje:** TESIS MAYRA CRESPIN [Mostrar el mensaje completo](#)

The email body contains a report titled "REPORTE URKUND" with the following content:

30% de esta aprox. 37 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 4 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Porcentaje	Descripción
83%	que esta se carga constantemente al potencial circundante y define de esta forma ...
97%	El cuerpo del pararrayos está construido por dos discos de aluminio separados po ...
93%	los impactos directos el área de cobertura para evitar daños a las personas y estru ...

https://es.wikipedia.org/wiki/Asociación_C3883n_Nacional_de_Protección_C38E3n...

cada área crítica: 7 pararrayos tipo ionizante 7 área a proteger: Laboratorio de Telecomunicaciones y banco de transformadores que se encuentran dentro de esta facultad. Para realizar el cálculo del radio de protección que brindará el pararrayos a ser implementado, se utiliza la altura del edificio más la cota del pararrayos 55 como tal, de acuerdo al cono de protección. Dado que se utilizará un pararrayos de nivel IV, se utiliza como referencia un ángulo de protección de 55 grados. Luego de obtener las variables mencionadas, se utiliza la siguiente procedimiento para el cálculo. Esta fórmula implica despear el radio, por lo cual se deberá multiplicar la tangente del ángulo (55 grados), por la altura. El edificio de la facultad técnica para el desarrollo con una elevación de 3 metros; por medio de los cálculos ejecutados usaremos uno de una envergadura de 6 metros con esto su altura en conjunto será de 9 metros con eso este sistema de protección nos daría una holgura de seguridad de 12,85 metros. (Govea Morodcho, 2014)

108 Para el sistema propuesto usaremos el pararrayo del tipo ionizante. El funcionamiento básico de este tipo de sistema de protección es la de ionizar el aire circundante de una punta Franklin usando métodos electrostáticos usando el campo eléctrico en las inmediaciones del rayo. Este tipo de protección atmosféricos son construidos generalmente en acero inoxidable este le otorga una gran resistencia a los elementos ambientales es decir que le da una durabilidad larga con casi ningún mantenimiento con lo que solo usaremos los métodos estándar que norman en las puntas Franklin. 3.5 Pararrayos ionizante activo. Este sistema de protección de descargas son elementos que en su construcción no se utilizan materiales de origen radiactivo que tienen la particularidad de proteger desde una misma 109 ubicación multipuntos del área donde se encuentra instalado

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me permite vivir y poder ver realizado uno de mis sueños.

A mis mayores motivaciones Madelane, Génesis y Alexa las tres niñas que le dieron un giro inmenso a mi vida.

A mi madre Inés Tixe Figueroa y a mis padres Efrén Crespín García, Carlos Villao Tibanta y Samuel Tomalá Cueva por su apoyo incondicional y por creer en mí a pesar de todo.

A todos y cada uno de mis familiares quienes me dieron una mano cuando más lo necesité.

Mis sinceros Agradecimientos a mi tutor el Ing. Pedro Tutivén López por su colaboración para la culminación de mi proyecto.

Mayra Crespín Tixe.

DEDICATORIA

A Dios quien me permite vivir y poder ver realizado uno de mis sueños.

A mis mayores motivaciones Madelane, Génesis y Alexa las tres niñas que le dieron un giro inmenso a mi vida.

A mi madre Inés Tixe Figueroa y a mis padres Efrén Crespín García, Carlos Villao Tibanta y Samuel Tomalá Cueva por su apoyo incondicional y por creer en mí a pesar de todo.

A todos y cada uno de mis familiares quienes me dieron una mano cuando más lo necesité.

Mis sinceros Agradecimientos a mi tutor el Ing. Pedro Tutivén López por su colaboración para la culminación de mi proyecto.

Mayra Crespín Tixe.



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

PEDRO TUTIVÉN LÓPEZ

TUTOR

f. _____

MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

LUIS VICENTE VALLEJO SAMANIEGO

COORDINADOR ACADÉMICO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CALIFICACIÓN

RESUMEN

El proyecto a presentarse pretende analizar y realizar un estudio del sistema de protección contra descargas atmosféricas en la subestación eléctrica de la facultad técnica para el desarrollo.

Siendo este un sistema de fundamental importancia ya que su función principal es proteger a las instalaciones eléctricas que suministra la subestación de las diferencias de potenciales que se puedan suscitar por fenómenos naturales, trayendo consigo fallas en los sistemas eléctricos.

Se hace necesario el estudio de los diferentes tipos de Pararrayos para su posterior selección, así como la factibilidad económica para la instalación brindando así la protección adecuada a los laboratorios, personal, aulas y oficinas.

En el capítulo uno se presenta una breve introducción a los temas realizando a su vez el planteamiento de los objetivos y la metodología a realizarse en el tratamiento del problema.

Las premisas más relevantes como el análisis completo y la panificación se detallarán en el capítulo tres, así mismo la factibilidad económica para la ejecución del proyecto se detallará en el capítulo cuatro.

Por último, en el capítulo cinco se brinda una gama de conclusiones y Recomendaciones para el diseño adecuado del sistema de protección de los sistemas

contra sobretensiones transitorias, la selección del sistema adecuado dependerá de los estudios antes mencionados.

Palabras Claves: Atmosférico, Campos eléctricos, conductores, pararrayos.

ABSTRACT

The project aims to analyze and present a study of the system lightning protection in electrical power substation technical development.

Since this is a critical system since its main function is to protect electrical installations supplying the substation potential differences that may arise by natural phenomena, bringing faults in electrical systems.

The study of different types of lightning rod for subsequent selection as well as the economic feasibility for the installation thus providing adequate protection to laboratories, personnel, classrooms and offices is necessary.

In chapter introduces the issues in turn making the approach of the objectives and methodology to be done in addressing the problem.

The most relevant assumptions as complete analysis and baked goods will be detailed in chapter three; also, the economic feasibility for the project implementation will be detailed in chapter four.

Finally, in chapter five a range of conclusions and recommendations for proper system design protection systems against surges is provided, the selection of the appropriate system will depend on the aforementioned studies.

KEYWORDS: Atmospheric, electric fields, conductors, lightning rod.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 TIPO DE INVESTIGACIÓN	5
1.6 HIPÓTESIS	5
1.7 METODOLOGÍA	5
CAPITULO 2	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 PARARRAYOS	7
2.1.1 Origen de las descargas atmosféricas	10
2.1.2 Efectos de los Rayos	11
2.1.3 Índice de riesgos según normas.	17
2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	20
2.2.1 Rayos Positivos	22
2.2.2 Proceso de descarga atmosférica a la nube	25

2.3. Descripción de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas.....	26
2.3.1 Pararrayos Ionizantes.....	27
2.3.2 Pararrayos inhibidor de frecuencia	33
2.3.3 Pararrayos Desionizantes.....	33
2.3.4 Pararrayo Piezoeléctrico	37
2.3.5 Pararrayo PDC.....	38
2.4 ESTRUCTURA DE LOS PARARRAYOS.....	39
2.4.1 Cabezal.....	40
2.4.1 Tipo punta.....	41
2.4.2 Principio de Funcionamiento de los pararrayos	44
2.5 SOBRETENSIÓN POR EFECTO DE FERRORESONANCIA.....	49
2.6 TEORÍA DE DISIPACIÓN DE LOS ELECTRODOS ESTRUCTURALES.	50
2.6.1 Preponderancia Catódica para sistemas de protección atmosférica.....	51
2.6.2 Pararrayos poliméricos.....	53
2.6.3 Pararrayos de porcelana.....	54
2.6.4 Sistema de cebado.....	56
2.7 PARTES PRINCIPALES DEL PARARRAYOS.....	57
2.8 FUNDAMENTOS EN LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS PUESTA A TIERRA.....	59
2.8.1 Componentes de los sistemas puesta a tierra.....	60
2.9 TERMINALES	61
2.9.1 Varilla Copperweld.....	64
2.10 CONDUCTORES Y BAJANTES.....	71

2.10 PARÁMETROS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	74
2.10.1 Mantenimiento del pararrayos.....	74
2.11 RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	75
CAPÍTULO 3	77
ANÁLISIS Y PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS Y PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO.....	77
3.1 MAPA ISOCERÁUNICO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	77
3.2 UBICACIÓN DE PARARRAYOS.....	78
3.4 SISTEMA DE PARARRAYOS A UTILIZAR EN LA FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.....	79
3.4.1 Introducción al Pararrayo Tipo Dipolo.....	81
3.4.2 Descripción del funcionamiento.....	82
3.4.3 Construcción del pararrayo dipolo.....	84
3.5 PARARRAYOS IONIZANTE ACTIVO.....	90
3.6 PUESTA A TIERRA Y ESTUDIO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	91
3.7 MÉTODO DE CAÍDA DE POTENCIAL.....	94
CAPÍTULO 4	97
FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE LA FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.	97
4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	97
4.2 PRESUPUESTO UNITARIO DEL PARARRAYO IONIZANTE CON PUESTA A TIERRA.	98
4.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA LA “FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE GUAYAQUIL. .	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102

CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Fig. 2. 1 Determinación del ángulo de protección por el método de apantallamiento.....	18
Fig. 2. 2 Área de Protección de un pararrayos.....	19
Fig. 2. 3 Rayos negativos.....	21
Fig. 2. 4 Rayos positivos.....	21
Fig. 2. 5 Pararrayo Ionizante.....	27
Fig. 2. 6 Pararrayos tipo puntas.....	28
Fig. 2. 7 Tipos de pararrayos Multipuntas.....	29
Fig. 2. 8 Pararrayo de cebado.....	30
Fig. 2. 9 Tipos de pararrayos Ionizantes.....	31
Fig. 2. 10 Pararrayos de cebado.....	32
Fig. 2. 11 Pararrayo de placa resonante.....	33
Fig. 2. 12 Pararrayos desionizantes.....	34
Fig. 2. 13 Pararrayos sistema CTS.....	35
Fig. 2. 14 Tipo Piezoeléctrico.....	37
Fig. 2. 15 Pararrayo tipo PDC.....	38
Fig. 2. 16 Pararrayos Tipo Multipuntas.....	39
Fig. 2. 17 Pararrayos esféricos.....	40
Fig. 2. 18 Pararrayos tipo cabezal.....	41
Fig. 2. 19 Área cobertura.....	42
Fig. 2. 20 Zona de protección Pararrayo radioactivo.....	43

Fig. 2. 21 Ecuacion 1.....	46
Fig. 2. 22 Preponderancia catódica	47
Fig. 2. 23 Puesta a tierra.....	48
Fig. 2. 24 Preponderancia catódica	52
Fig. 2. 25 Pararrayos tipo estación.....	53
Fig. 2. 26 Partes de un sistema atmosférico	58
Fig. 2. 27 Molde Cadwell y sus partes	63
Fig. 2. 28 Proceso de soldadura Cadweld	64
Fig. 2. 29 Varilla Copperweld.....	65
Fig. 2. 30 Electrodo Tipo Rehilete.....	65
Fig. 2. 31 Electrodo Tipo Placa.....	66
Fig. 2. 32 Electrodo Estrella.....	67
Fig. 2. 33 Electrodo Tipo Malla Simple.....	68
Fig. 2. 34 Electrodo Tipo Malla.....	68
Fig. 2. 35 Placa Estrellada.....	69
Fig. 2. 36 Electrodo Químico.....	70
 Capítulo 3	
Fig. 3. 1 Mapa isocerámico del Ecuador.....	78
Fig. 3. 2 Imagen satelital de ubicación de Pararrayos.....	78
Fig. 3. 3 Ubicación fotográfica del Banco de transformadores.....	79
Fig. 3. 4 Especificaciones Técnicas Pararrayos tipo Dipolo.....	80
Fig. 3. 5 Ángulo de Protección pararrayos tipo dipolo	81

Fig. 3. 6 Proceso de armado de pararrayos Dipolo	86
Fig. 3. 7 Armado de pararrayos dipolo tipo corona con torre.....	87
Fig. 3. 8 Cono de pararrayos.....	88
Fig. 3. 9 Pararrayos Ionizante Activo.....	90
Fig. 3. 10 Resistividad especifica del suelo.....	92
Fig. 3. 11 Método caída de Potencial.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Norma IEEE clasificación de estructuras a proteger.	19
Tabla 2. 2 modelo DDR	47
Tabla 2. 3 Campo magnético estático en amperios/metro en función de la intensidad del rayo, medido a distintas distancias del punto de caída.....	52
Tabla 2. 4 características pararrayos polimerico.....	53
Tabla 2. 5 Características de los pararrayos de porcelana	55
Tabla 2. 6 Sistemas de bajantes.....	71
Tabla 2. 7 división de la energía de bajantes electricos.	72
Tabla 2. 8 Conductores de bajada	73
Tabla 2. 9 Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos de puntas ionizantes.	75
Tabla3.1 Tabla de Resistividad del suelo.....	93
Tabla 3. 2 Distancias de instalación de electrodos.....	96
Tabla 4. 1 Presupuesto de sistema pararrayos.....	99

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Existe una estimación de que en el planeta se presentan simultáneamente unas 2000 tormentas y aproximadamente 100 rayos descargan sobre la Tierra por segundo. Lo que concluye que representa unas 4000 tormentas diarias y unos 9 millones de descargas atmosféricas cada día, los voltajes de descarga fluctúan desde los 5 a 10 KV/cm. (NASA, 2016).

Las sobretensiones generadas por estos inevitables hechos a su paso perjudican a las edificaciones, entrando en ellas y desviándolo hacia la tierra más cercana.

Siendo las descargas más significativas aquellas que llegan a las subestaciones y secciones de líneas cercanas a las mismas, ya que dichas sobretensiones que originan los rayos no son aplacadas por la distancia de la línea, lo cual genera desfases en la potencia instalada en la misma y consecuentemente presentando averías que pueden dañar los equipos de muy elevados costes, así como también generar pérdidas humanas irreparables.

De las premisas expuestas nace la necesidad de la implantación de un sistema de protección contra fenómenos como las descargas atmosféricas siendo esta una forma

de inversión que a largo plazo representara grandes beneficios en este sistema de distribución.

Para el proceso analítico de un sistema de protección contra descargas de tipo atmosféricas se debe determinar el riesgo según el sector, el nivel Isoceráunico, el radio de protección que ofrezca el pararrayos que se pretenda elegir, de ahí la decisión de si es conveniente o no la instalación ya que también se debe resaltar los beneficios que económicamente genere la medida de prevención adoptada o si se podría prescindir de ella.

Aunque el nivel Isoceráunico de Guayaquil es notablemente bajo y cambiante, también se debe considerar que los cambios climáticos son cada vez más impredecibles por causas como la contaminación y demás factores, a su vez basándose en las normativas de protección para una subestación podemos concluir que la instalación de este sistema en la subestación eléctrica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil es indispensable, razón por la cual realizaremos el posterior análisis.

1.2 Justificación.

Las vías de generación eléctrica para una subestación se ven afectadas por una serie de fallas que generan daños en las funciones de los mismos,,uno de ellos son los sobre voltajes permanente que se producen por fallas en el neutro y el otro son los

sobre voltajes transitorios que son generados por las descargas atmosféricas que a su vez dejan infinidad de fallas a su paso.

El tema a tratar se centrará en la prevención de sobre voltajes transitorios para la protección de los sistemas eléctricos de la Facultad, profundizando el estudio en los diferentes tipos y diseños de los pararrayos para subestaciones de generación a la posterior selección así mismo el presupuesto que se generaría el montaje del mismo.

Habiendo este sistema probado su efectividad por más de 200 años y siendo su principal función proteger y minimizar las irregularidades en el normal funcionamiento del servicio eléctrico mediante los complementos y sistemas que desvíen a tierra la intensidad directa del rayo y la estabilicen a niveles permitidos en el sistema.

En el posterior estudio analizaremos los factores de mayor relevancia para la posterior selección del pararrayos, así como la factibilidad económica del montaje del sistema en la subestación de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la UC.S.G.

1.3 Planteamiento del problema

Los sistemas de protección para sobretensiones transitorias en una subestación son indispensables para garantizar continuidad en la distribución eléctrica de los equipos.

La facultad técnica posee una subestación principal que no contiene este medio de seguridad básico encontrándose sus elementos expuestos a descargas que generen diferencias de potencial que pueden arruinar sus equipos tanto como su estructura.

En el análisis del proyecto evaluaremos las pérdidas económicas en los equipos como en las estructuras que generan las descargas atmosféricas, como son los sobre voltaje y a largas distancias hasta ferorresonancia.

Para el Análisis tendremos presente el estado del sistema, el área a proteger , y todo los elementos que sean necesarios e indispensables dejando así a disposición de la Facultad Técnica de la U.C.S.G un presupuesto cuando considere su posible instalación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Seleccionar y Planificar desde un punto de vista técnico económico el sistema de pararrayos con sistema de protección puesta a tierra para proteger a la subestación eléctrica de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la U.C.S.G

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar y Seleccionar el sistema de protección pararrayos a usar en la subestación de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la U.C.S.G.

2. Determinar el diseño del sistema de protección de puesta a tierra de la subestación de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la U.C.S.G.
3. Presentar un presupuesto para la posible implementación del sistema de protección pararrayos de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la U.C.S.G.

1.5 Tipo de investigación

El tipo de investigación para la elaboración de este proyecto es de modalidad analítica y documentada estableciendo una recopilación de datos para la elaboración del análisis y la elección del sistema de pararrayos adecuado para la Facultad Técnica para el Desarrollo de la U.C.S.G.

1.6 Hipótesis

Realizando el análisis de los riesgos que conlleva una descarga atmosférica y reconociendo el área crítica, se plantea un estudio técnico-económico para la implementación de un sistema de protección pararrayos en la Subestación de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la U.C.S.G.

1.7 Metodología

La metodología utilizada para el presente trabajo es del tipo Analítica y descriptiva, que para resolver los objetivos propuestos utiliza como herramientas de información

la recopilación de datos (libros, revistas, internet); para presentar los resultados del estudio y entregar una propuesta que genere la solución a la falencia.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Pararrayos

Por definición pararrayos es un aparato que tiene por objeto atraer el rayo-ionizado que se crea en las nubes a su alrededor y poder transmitir su carga hacia la tierra lo que permite que este no cause daños materiales y/o físicos, se dice que el padre del pararrayos es el estadounidense Benjamín Franklin que realizaba experimentos con la electricidad en 1749 cuando defendía su hipótesis de que las tormentas eran un evento eléctrico presentando una forma para probarlo siendo este el nacimiento del pararrayos para usos prácticos se adoptó el nombre de su creador “PARARRAYOS FRANKLIN”.

Franklin presento en Londres su trabajo en donde propuso su idea de usar varillas en punta hechas de acero instalados sobre las cubiertas de tejado para proteger estas estructuras de los efectos de los rayos. Esta teoría fue puesta en práctica en Francia e Inglaterra antes incluso de que se hiciera el famoso experimento con el papalote en el año de 1752. Con este invento nace también su teoría “DEL FLUIDO ÚNICO” la que da una explicación de los dos tipos de electricidad atmosférica negativa y positiva.

Es en este momento donde se inicia el uso de los pararrayos, que indistintamente a lo que su nombre indica fueron diseñados para atraer las descargas y mediante conductores transmitirlo a tierra en donde no ocasionaría daños. Era tal la confianza que género estos primeros pararrayos en la sociedad de ese entonces que comenzaron a diseñarse y producirse versiones estéticas de paraguas que traían incorporados pararrayos sin tomar en cuenta los riesgos que ello implicaban.

Corría el año 1753 un investigador ruso de nombre George Wilhelm Richman que continuo el trabajo iniciado por Franklin que tenía por objeto verificar el grado de protección de estos elementos, pero lamentablemente en el transcurso de su investigación fue alcanzado por un rayo el que le quito la vida de manera fulminante cuando manipulaba parte de la instalación de un pararrayo.

Nicola Tesla fue quien definió de manera correctamente el funcionamiento y principio de los pararrayos, cuestiono la teoría y la técnica desarrollado por Franklin que estaba enmarcada en su patente. A partir de ese momento la industria del pararrayo dio un salto cuántico en su evolución desatando un sinnúmero de modelos de muy diversos diseños, pararrayos multipuntas, simples punta electrónica siendo todos en su funcionamiento básico el ionizar el aire a partir de un campo eléctrico generado en el terreno por la tormenta, su objetivo es excitar y capturar los rayos que pudieran caer en la zona que estamos protegiendo.

En el siglo XVIII, las máquinas electrostáticas eran motivo de diversión, dado que se podían obtener chispas a partir del rozamiento entre un trapo y una rueda. Con este sistema el monje católico “Mollet” dio energía a toda una comunidad que estaba ubicada en Chartreux esto se hizo entrelazando las manos con una longitud de 3000 metros el hecho curioso es que todos al recibir la descarga se soltaron. Este hecho hizo que los científicos de la época incluyendo a este servidor católico Nollet y otros científicos mezclaran los conceptos entre descargas atmosféricas y chispazos eléctricos habían pensado con razón en la analogía entre los rayos y las chispas eléctricas investigaciones posteriores por allá el año de 1750, Franklin desarrollo experiencias complementarias con eso se le dio una definición general y completa al concepto.

Un científico de origen francés de apellidos “Dalibard” realizo ciertos experimentos de los que surgieron chispas todo esto usando un poste metálico pero este no estaba unido al piso esto ocurrió en mayo 10 del año 1752 entre los resultados obtenidos tenemos : podemos definir que la primera mala práctica ocurrió cuando se elevaban los papalotes en las tempestades con descargas atmosféricas todo esto era por la poca información con la que se contaba en esas épocas se dice que uno de estos hechos fue el que le ocurrió a benjamín franklin mientras volaba su papalote en la zona de cumulonimbus donde su cometa era de 3 m. de largo y ancho sujeta a un hilo de cobre dice la historia que recibió una descarga de miles de voltios siendo arrojado por la descarga al suelo. (Golup, 2002).

Corría el año de 1770 es cuando se da inicio el auge de los pararrayos, desafortunadamente no tuvieron gran aceptación ya que los consumidores y sus usuarios no le veían gran aprecio ya que comentaban que no se daba una garantía plena al uso de estos muchos pensaban que no eran seguros para otros se entraba en el campo de la religión porque se creía que ese era la voluntad o el poder de Dios y que no había que irrespetarlos. Desde un punto de vista meramente científico podemos describir que la propagación de ondas con un concepto fundamental partiendo de que el rayo no es otra cosa más que un conjunto de líneas invisibles o incluso visibles cuyo origen es la luz calor o radiación en su origen parten como líneas rectas, pero son desviadas por el ambiente y el medio que lo circunscribe.

Vale la pena mencionar que en la era moderna se sigue una exhaustiva investigación por parte de empresas generadoras eléctricas este es debido a que tienen los recursos y las instalaciones donde se puede desarrollar estas investigaciones debido a que por su forma son en extremos peligrosas.

2.1.1 Origen de las descargas atmosféricas.

Para efecto de nuestro estudio estableceremos la definición contemporánea de descargas eléctricas o también llamadas descargas atmosféricas esta tiene su formación en la transferencia de cargas positiva o negativa para una mayor comprensión las definiremos:

Entre la nube

Nube –nube

Nube a tierra

Nube ionosfera

Esta última ha sido investigada recientemente, podemos decir a ciencia cierta que existe un aproximado a 1900 tormentas eléctricas en desarrollo sobre la superficie del planeta numerosas esto es posible ya que en la actualidad existe un constante monitoreo en tiempo real de este evento una de ellas es el proyecto de la organización BLITZORTUNG.ORG que efectúa un seguimiento en tiempo real en todo el globo terráqueo. Este funciona con una red de voluntarios y un sistema de detección que consta de un sistema antena amplificador y controlador están especialmente cubiertas zonas en américa del norte y Europa, con esto se ha podido determinar estas cifras también se puede indicar que la intensidad media que se descarga se estima alrededor de los 20 mil amperios, aunque se han logrado a medir unos que llegan a medir 200 mil amperios.

2.1.2 Efectos de los Rayos

Por definición los rayos son emisiones de frecuencia alta un muy alto potencial y gran corriente para esto es necesario transmitir sus descargas al suelo, la alta frecuencia de la descarga de un rayo se debe tener un cable cuya impedancia debe estar en el rango de 1.65 uH/m con una alta característica inductiva, este a su puesta

a tierra hay que considerar que la longitudes mayores la impedancia es de mayor rango lo que hace que la descarga sea más compleja ya que se genera una alta resistencia a la conductividad de la corriente los rayos se irradian como cualquier onda de alta frecuencia esto hace necesario que la impedancia al suelo sea baja para la descarga, esto debido que los sistemas ligados a tierra bajan y suben su potencial todo esto está ligado al tiempo de descarga.

Consideraremos que entre los efectos más representativos de la caídas de los rayos están la destrucción que causa el contacto con el suelo en zonas boscosas donde se producen gigantescos incendios forestales que aumentan la deforestación el acrecentamiento de las manifestaciones de co2 afectado al clima y la fauna de las zonas circundantes, vale indicar que cuando estos impactos son en zonas donde existen instalaciones que tienen materiales combustionables también puede producir incendios por su naturaleza ,cuando un evento de estos se producen este siempre tratara de hacerse camino en busca de la tierra esto lo hace a través de conductores que presentan poca resistencia a la impedancia dicho de otro modo buscara conductores de electricidad para llegar a su destino si en su camino se encuentran equipos electrónicos se verán enormemente afectados lo que es más probable su destrucción lo que ocasionara grandes pérdidas económicas también enumeraremos varios causas complementarias de los impactos de estos eventos. (Freire, 2011).

Entre estos efectos tenemos:

- Carga electrostática

- Pulsos electromagnéticos
- Pulsos electrostáticos
- energía a tierra
- Sobre voltaje transitorio

Carga electrostática

La carga estática es inducida por la tormenta en una estructura que este dentro del área de acción de la tormenta, esto ocasiona una diferencia entre el potencial de la estructura o el cable que está conectado al suelo esto podría resultar en una interferencia, en estos casos se ocasionan arcos secundarios que ocasionan interferencia.

Pulsos electromagnéticos

Definiremos pulsos electromagnéticos a la formación de campos eléctricos fugaces que se establecen por el paso de una corriente eléctrica por medio de una vía de evacuación de la energía , una vez que establecemos la vía de evacuación del rayo entre la nube hasta el suelo resultando una vía de trasmisión con propiedades tan conductivas como cualquier material eléctrico convencional, la energía de neutralización fluye a una velocidad muy rápida lo que genera un campo magnético que está ligado a sí misma ,estas corrientes de descarga se incrementan considerablemente y llegan a picos de varios miles de amperes dando como resultado pulsos magnéticos muy significativos conocidos como pulsos electromagnéticos

especialmente en un grupo de conductores que estén tejidos paralelamente. (IEEE, 1991).

Pulsos electroestáticos

Consideraremos eventos atmosféricos o pulsos electroestáticos como la directa secuela de la variación del campo electroestático que está ligado íntimamente a una tormenta eléctrica, un cable conductor que se encuentre en la superficie del suelo está sumergido en un campo electroestático el cual le será cargado directamente relacionado a su altura con una carga potencial, como ejemplo podríamos señalar un cable de transmisión de tv cable a una altura promedio de 12 metros sobre el suelo el potencial con el que se podría cargar está en el orden de los 100 Kv y los 300 Kv con su par en la tierra.

Mediante un proceso de neutralización la corriente a tierra es descargada luego de un impacto del rayo, este proceso culmina con la descarga en un punto cercano al suelo desde el lugar donde se incita la carga hasta el sitio donde se termina el rayo, aquí se forma un voltaje que está vinculado a la carga que se transporta a través de esos cables a su vez vinculado a la distancia en la que haya caído el rayo, a esto le damos el nombre de “corriente transitoria a tierra”, generalmente estas aparecen en conductores de alambre, tubos y muchas otras formas de conductores. La velocidad que se estima se realiza esta transferencia es de 20 microsegundos, su tasa de aumento del pico es mínima a razón de 50 nanosegundos haciendo que el voltaje inducido sea altísimo; entre otros efectos tenemos:

- Puede destruir tuberías metálicas de transporte de productos derivados del petróleo que estén cercano a estos sistemas.

- Otro de estos efectos es que pueden generar sobrecarga a sistemas a tierra de equipamiento electrónico que son muy sensibles a variaciones de voltaje.

Sobrevoltaje Transitorio.

Este es el conjunto de los precedentemente nombrados, puede causar daños graves en equipamiento y sistemas electrónicos o eléctricos que no se encuentren protegidos para esta eventualidad (arcos secundarios), la más común es la carga electrostática.

Entre los condicionamientos que se deben mantener debemos establecer una circunferencia de 1.5 km desde el lugar que se considerará como punto de ingreso del evento atmosférico, en esta área todos los elementos eléctricos y electrónicos pueden ser afectados e incluso destruidos. Enumeraremos varias formas que se engranan en las características a las interferencias que se originan en los eventos atmosféricos:

Resistivo; cuando un evento atmosférico impacta en una estructura o en las inmediaciones del terreno origina un incremento en el poder eléctrico que daña la ducteria que se encuentre soterrada usándolas como canal conductor lo que les permite acceder al interior de estas edificaciones ,para esta consideración debemos establecer que este radio circundante que hemos mencionado como de 1.5 km tomando en cuenta la posición inicial del golpe del evento atmosférico ,en su

mayoría de ocasiones afectan o pueden incluso destruir todas las instalaciones electrónicas y/o eléctricas de la zona, las representaciones en que se conectan las obstrucciones provocadas por los eventos atmosféricos son:

Acoplamiento resistivo; después de impactar un evento atmosférico sobre alguna construcción o en el suelo se ocasiona un incremento de la energía eléctrica, esto puede atacar las tuberías cables y demás instalaciones soterradas ya que hacen de puente conductor al interior de las construcciones, establecemos que la corriente que se puede transmitir es de 1.5 a 5 Kv en conductores soterrados y 3 a 6 Kv en aéreos.

Inductivo; Las tremendas cantidades de energía que se producen en un evento atmosférico cuando chocan con el suelo usando algún tipo de conductor de descarga forman una ruta que está sometida a un campo electromagnético que hace que se induzca a otros cables conductivos especialmente transmisores de fuerza ,esto es debido a que carecen de apantallamiento.

Capacitivo; este tiene como principal característica la alta frecuencia de los rayos, se alinea capacitivamente entre los ovillados de alta a baja tensión, en los transformadores esto ocasiona daño a las fuentes de poder de equipos electrónicos que son sumamente sensibles a este tipo de descarga.

En contraparte los problemas secundarios realmente son más difíciles de señalar o detectar, la protección normal o primaria no influirá ni limitará, esto quiere decir que los efectos suplementarios si se ven afectados es decir que sí existe una inmensa

probabilidad de que un evento atmosférico impacte. Las astas del pararrayos o terminales aéreos atraen el evento atmosférico e incrementan la fuerza del impacto en los alrededores, esto a su vez genera problemas de comunicación e interferencia en los equipos que se encuentren en este sector. Como el mundo tecnológico apunta cada día más a la miniaturización de los elementos electrónicos, esto conlleva a que sean sensibles a este tipo de eventos al evitar daños por estos fenómenos transitorios, por ejemplo, elementos electrónicos de menos de 3 V pico o niveles de energía más bajos que 10^{-7} julios, pueden ser afectados ocasionando un mal funcionamiento pudiendo llegar a "fundir" esos sistemas y sus componentes. (Zurita, 2004).

2.1.3 Índice de riesgos según normas.

Las investigaciones realizadas acerca de los rayos desde el inicio de la civilización y el uso luego del descubrimiento de la energía eléctrica así como la búsqueda de respuesta por parte de la humanidad ha contribuido en su investigación, se ha determinado que la fuerza que contiene la descarga de un evento atmosférico es de una gran envergadura a su vez de menor duración y se le puede entregar la responsabilidad de numerosos accidentes, daños a propiedades ,la destrucción de inmensas zonas de bosques perdida de vida humana y animal, por ende se hace imperioso un sistema de seguridad contra estos eventos a los que definimos como descargas atmosféricas, a continuación detallaremos varias metodologías con equipos de seguridad contra estas descargas entre los más empleados es el de punta al que también se conoce como punta "franklin".

Estos poseen apantallamiento también conocido como ángulo de protección, en su descripción podemos decir que es un poste sobre el cual se monta un pararrayo, este determina un radio de protección en forma de cono siendo el vértice de este la punta, usando un análisis de riesgos basados en la norma IEC 62305-2 y la norma NTC 4552-2, este tipo de análisis asigna un nivel de riesgo basado en niveles que van desde el I-II-III-IV con estos valores se puede realizar los cálculos los que podemos ver en la Fig 2.1. (IEEE, 1991).

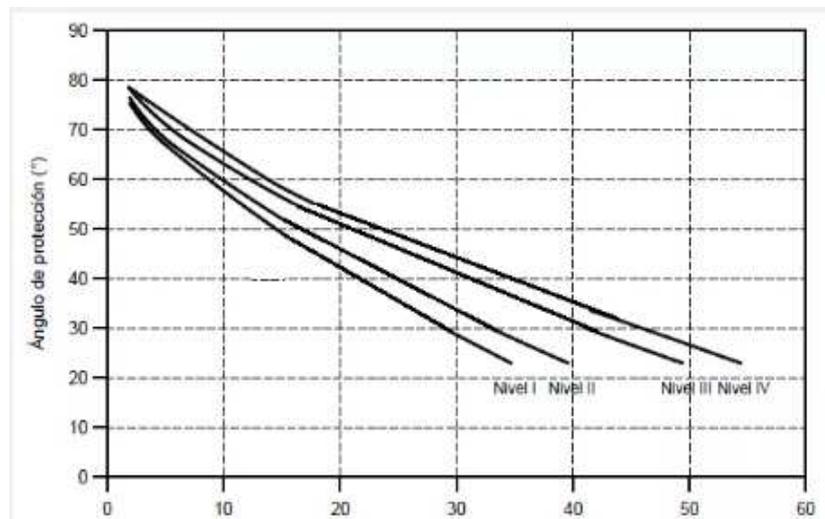


Fig. 2. 1 Determinación del ángulo de protección por el método de apantallamiento.

Fuente: (Amores, 2014).

A continuación, determinamos la altura partiendo de la altura relativa que debe estar en concordancia con las dimensiones del área que vamos a proteger, a partir de allí colocaremos las puntas captadoras, estas deben estar ubicadas dentro del rango de protección de dichas puntas como se muestra en el siguiente gráfico.

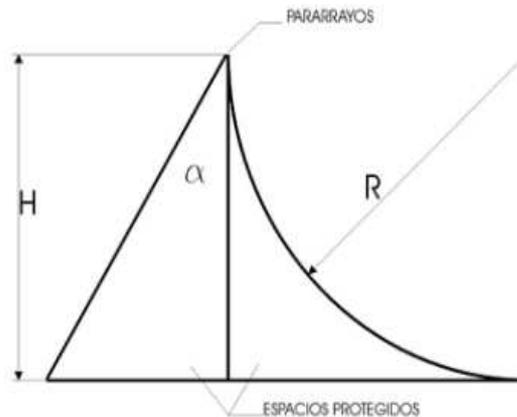


Fig. 2. 2 Área de Protección de un pararrayos.

Fuente: (Amores, 2014).

La norma IEEE está basada en parámetros definidos, así como la norma NFPA cuyo radio de acción es incluso mayor, estas identifican los tipos de estructura áreas comunes, trabajo pesado y acuáticas, aunque su función real es más la de ser una guía donde se marcan los parámetros con los que se deben realizar las conexiones, el tipo de materiales y todo está vinculado a las características del elemento a proteger.

Tabla 2. 1 Norma IEEE clasificación de estructuras a proteger.

	IEEE 142/NFPA 780	IEC 62305
Clasificación de las estructuras según su necesidad de protección	Si la edificación necesitan poca protección, material de la estructura (metal u otro) Si la estructura es de alto riesgo y pérdidas.	Toma en cuenta el tipo de pérdidas, riesgos y el tipo de instalación. Ofrece tablas y metodologías de cálculo de riesgo y pérdidas.
Métodos de protección	Ángulo de protección, esfera rodante y malla	Ángulo de protección, esfera rodante y malla. Depende del nivel de protección.
Eficiencia del sistema de PCDA	No lo toma en cuenta.	Sí lo toma en cuenta.

Fuente: (Mariani, 2007).

“La NFPA (National Fire Protection Association) es una organización fundada en Estados Unidos en 1896, encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendio, utilizados tanto por bomberos, como por el personal encargado de la seguridad. Sus estándares conocidos como National Fire Codes recomiendan las prácticas seguras desarrolladas por personal experto en el control de incendios.” (National Fire Protection Association, 2002).

2.2 Clasificación de las Descargas Atmosféricas

Podemos definir una clasificación de rayos siendo estos:

- Rayos negativos; estos son los que su nacimiento está en la estratosfera en las nubes cargadas hacia la tierra tienen sus ramificaciones mirando hacia abajo su volumen de ramificación es alto.
- Rayos positivos; estos son considerablemente escasos sus características son la de extraer electrones de la masa planetaria y lo trasladan a la atmósfera, sus niveles de energía e intensidad son muchos mayores siendo varios cientos de veces extremadamente potentes que los negativos como se muestra en las fig. 2.3 y 2.4 (SoKoM, 2006).



Fig. 2. 3 Rayos negativos.

Fuente: (SoKoM, 2006)

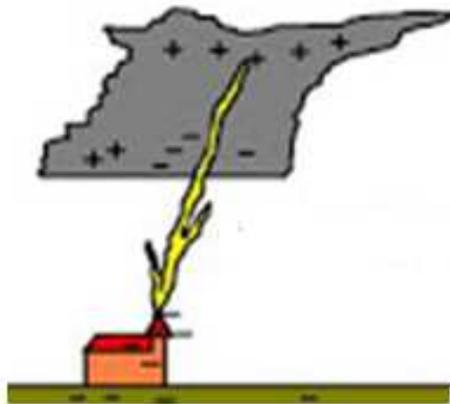


Fig. 2. 4 Rayos positivos.

Fuente: (SoKoM, 2006).

Con una clase aparte existen también los súper rayos que están formados por cargas eléctricas extraordinariamente altas que se generan con una frecuencia que va en el orden de los dos millones de veces inferior a su par considerado como normales. Tienen un radio de acción que puede estar en el orden de los 1.5 kilómetros

cuadrados, pero se registró uno que midió aproximadamente 190 kilómetros cuadrados.

2.2.1 Rayos Positivos

Para este tipo de emisiones existen dos que tienen una secuencia definida desde la nube hasta el suelo, esto hace que miren sus bifurcaciones con dirección al suelo, para otro caso esta orientación va desde suelo a nube, ésta mira sus derivaciones hacia arriba, debemos recalcar la importancia de señalar las diferencias que existen, los eventos de este tipo cuya orientación nube a tierra son menores a su par de tierra a atmósfera tienen menos ramificaciones que los de tierra a nube. Particularmente los eventos atmosféricos de valor positivo que se precipitan al suelo tienen su origen en la sección positiva de la nube, estas están complejamente unidas a los hielos en forma de cristales. (Toapanta, 2015).

Dentro de este tipo de descargas se producen unos casos muy particulares, entre estos destacaremos unos conocidos como descargas atmosféricas duendes que en su formación es desde la nube a cielo despejado, este tipo son de carácter muy escaso y nacen entre la nube.

Además de los tipos de rayos nube-tierra, tenemos otros tipos de rayos:

- Rayos de bola o esferoidal; desafortunadamente este evento es poco visto lo que hace que no exista una explicación lógica y que sea aceptada por la

comunidad científica. En su forma más característica este evento atmosférico va desde los 0,05 m a los 0,50 m de diámetro, se presume que está compuesto por plasma que viaja a una velocidad equivalente a la de una persona en trote ligero y súbitamente explota y desaparece. Siendo esto un motivo para no confundir con una bola de plasma, que es una masa incandescente de gases ionizada que puede también aparecer en las tormentas tras un fuerte cortocircuito.

- Los Difusos; en su más estricta definición a este fenómeno se lo conoce como rayo difuso, evento que se forma como una inmensa iluminación en el cielo, en este no se tiene sonido ni se ven salpicar chispas a su aparición, es principalmente en la estación de verano, aunque también es válida que se los nombre como relámpagos de verano.
- Los laminares; a este se lo define como rayo laminar el que en su forma más única es producido por una andanada al interior de la nube producto del choque de sus cargas positiva y negativa, estas se asemejan a las que se forman en las intranubes (dentro de la nube, entre la carga eléctrica positiva y la negativa).

En común las personas generalmente tienen temor de este evento natural que tiene su origen en las tormentas eléctricas aunque los casos registrados que hayan ocasionado muertes o lesiones graves son relativamente pocos, haciendo una analogía son casi iguales a los accidentes aéreos siendo no necesariamente que el contacto de un

evento atmosférico con un ser humano cause lesiones graves ni la muerte, realmente el mayor peligro es la electrocución y las secuelas que deja este en el sistema nervioso central entre ellos trastornos del sueño hasta daño en zonas completas del cerebro .

Entre las consideraciones de seguridad que debemos asumir esta el hecho que para estar en el interior de una zona de seguridad realmente a salvo debemos estar separados con respecto al punto de impacto al menos 3 mil metros de su origen. Lamentablemente en la práctica es imposible por decirlo menos determinar donde se producirá un evento atmosférico de este tipo, pero estableceremos ciertos parámetros de lugares que habría que evitar:

Fuera de casa; entre zonas que son considerados peligrosas están los árboles frondosos muy altos especialmente si están despejados, en el mismo grado de peligrosidad están postes de energía o alumbrado, infraestructura hecha fundamentalmente de acero, antenas de telefonía y cualquier elemento metálico. Lo mejor es ubicarse en áreas abiertas y de nivel cero botes, equipos pesados como tractores u otros tipos de automotores especialmente los vehículos grandes son los más seguros.

Al interior de las viviendas evitar las líneas telefónicas eléctricas de tv u otras, afortunadamente las tuberías de plomería últimamente son de PVC.

2.2.2 Proceso de descarga atmosférica a la nube.

Este evento atmosférico es una carga temporal de una inmensa intensidad, la mayor parte tiene su némesis dentro de la nube, su contra parte es nube y suelo. Para su cálculo y correspondiente estudio de tensiones saturadas podemos pensar que un evento atmosférico se lo puede mirar como una fuente de emisión de energía, esto se puede representar con una positiva polaridad, negativa polaridad o incluso como la misma descarga, a este fenómeno se lo conoce como onda bipolar. Las investigaciones realizadas hasta el momento determinan que existen cuatro tipos de eventos atmosféricos o rayos entre nube y tierra.

Se puede también decir que las descargas negativas forman el 90 % de las que caen a tierra, menos del 10 % de las descargas son positivas. Por otro lado, podemos decir que existen transmisiones que tienen su origen en tierra hasta la nube, pero vale indicar que estas son muy esporádicas, se ha determinado que su mayor incidencia está en zonas de una altitud mayor en las cumbres de las cadenas montañosas o elementos de origen no natural donde está involucrada la mano del hombre como los rascacielos. Como corolario determinaremos que son ciertos objetos ocasionan una distorsión al ser muy altos, estos inciden en las descargas atmosféricas con respecto al plano de la tierra. (Berger., 2006).

2.3. Descripción de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

Desde cualquier perspectiva los pararrayos solo tienen su única función la que es transmitir la descarga de este elemento de manera directa hacia la tierra sin importar el conjunto de tecnologías usadas para ello.

Comenzaremos definiendo a los tipos de pararrayos:

- Pararrayos de puntas
- Pararrayos de jaula Faraday también conocidos como reticulares
- Pararrayos Ionizantes
- Pararrayos “Franklin”
- Pararrayos Multipuntas
- Pararrayos de Cebado
- Pararrayos inhibidores de frecuencia del rayo
- Pararrayos anti-rayo
- Inhibidor de rayos
- Pararrayos Desionizadores
- Pararrayos Desionizadores de Carga electrostática (Mecsa, grupo, 2016)

2.3.1 Pararrayos Ionizantes.



Fig. 2. 5 Pararrayo Ionizante.

Fuente: (Montes, A.D.S International, 2010).

En esta categoría incluiremos los Pararrayos franklin ,una manera muy práctica de describir este modelo es como una varilla tipo electrodo principalmente construidos en acero o materiales de similar conductividad que pueden terminar en varias puntas, son simples en su concepto es decir que su estructura no está formada por ningún componente electrónico ni elementos de origen radioactivo, su tamaño está sujeto a la condición que cada productor le asigne, en muchas ocasiones los diagraman de tal forma que trabaje como un condensador haciendo que este actúe en forma de canalizador hasta la toma a tierra. En el origen y desarrollo del evento atmosférico se producen campos eléctricos que generan alta tensión, estos se aglutinan generalmente en las puntas que están en la ubicación superior del elemento haciendo que se

produzca una forma de ionización llamado efecto corona, esta tiene una conformación de micro descargas disruptivas que afectan el aire en forma de iones, a este fenómeno pudiendo otorgarle el nombre de fenómeno rayo “Líder”. Su función primordial es la de atraer las descargas atmosféricas de una manera controlada y proteger una subestación de los golpes de estas descargas ,a continuación en la fig. 2.6 lo representamos. (Quirós, 2008).



Fig. 2. 6 Pararrayos tipo puntas.

Fuente: (Montes, A.D.S International, 2010).

Pararrayos multipuntas; su sistema multipuntas atraen las descargas y su mayor ventaja es su alta disipación que a su vez le permite ser usado en un sinnúmero de estructuras como medio de protección ya que puede funcionar en cualesquier mástil, únicamente debe ser fuerte en su punta ,es usado en estructuras de tipo metálico, viviendas ,edificios ,sistemas de telecomunicación ,tanques ducteria en su forma más básica lo podemos encontrar con un punto distribuidos cada 5 grados con esto se

logra un radio de acción de en todos los planos tanto en XYZ, esto hace que el rayo líder se disipe indistintamente al ángulo de formación y con esto efectivamente se disminuya en un 85% la descarga atmosférica.



Fig. 2. 7 Tipos de pararrayos Multipuntas.

Fuente: (Leal, 2010).

Pararrayos de Cebado conformados por electrodos cuyo material básico es de acero o elementos de las mismas características conductivas sus acabados en una punta, reúnen un medio electrónico que forja una ventaja en el cebado del trazador (Líder), otra ventaja es que no tienen ninguna fuente de radiación, formado por un sistema electrónico muy sensible compuesto por diodos, bobinas, resistencias y condensadores, ahogados en una resina aislante, todo ello recubierto. La ventaja de este sistema es la eficiencia al anticipar en la captura del evento atmosférico una vez que se produce la carga del dispositivo de excitación, las dimensiones de los elementos de estos cabezales varían en función del modelo de cada productor. La

forma en que funciona este sistema es transmitiendo por la toma al suelo la diferencia potencial entre la cabeza del pararrayo y la fuente de emisión, se traslada como primera opción hacia la parte superior por el conductor al descubierto. La energía emitida por el evento atmosférico es llevada al punto más alto compensando la diferencia del potencial mediante los circuitos electrónicos ,se utiliza el aumento de la potencia como vehículo para suministrar energía al circuito electrónico eso genera una excitación de los electrones a su vez el rayo es ionizado por impulsos repetitivos con un aumento sustancial de este potencial reflejando una ionización de características nativas al que llamaremos efecto corona véase la fig.2.8 (Bacigaluppi, 2012).



Fig. 2. 8 Pararrayo de cebado.

Fuente: (Bacigaluppi, 2012).

Cuando se forman los eventos atmosféricos suman un gigantesco conjunto de tensión que se centran principalmente en las puntas preponderantes ,esto hace como punto

de partida una zona del campo eléctrico en las mediaciones del electrodo es decir en la punta, en este punto surge una fuente de ionización por pulsos o mejor conocido por impulsos ya que son minúsculas emanaciones eléctricas , si observamos con detenimiento podemos distinguir unas minúsculas flamas de luz, una suerte de ruido audible o frito, frecuencias de radio, alteraciones en forma de vibración en el conductor, sumados al ozono y otros derivados. A partir de este punto este evento inicia un alud electrónico esto es influenciado por el campo, un átomo es ionizado por el electrón esto genera un segundo electrón, estos a su vez se forman en un conjunto por default esto ocasiona una cascada que crece de manera exponencial. (Afinidadelectrica, 2007).



Fig. 2. 9 Tipos de pararrayos Ionizantes.

Fuente: (Afinidadelectrica, 2007).

A su vez de las colisiones que no se completan hacen que ocurra un fenómeno luminoso producto de la excitación de estos nuevos elementos ,las condiciones

atmosféricas varían en ese instante preciso ya que el aire tiene una variación en su forma gaseosa llegando al punto de quiebre dieléctrico ,por consiguiente el evento atmosférico o rayo se produce como resultante debido a la saturación de campos y cargas entre tierra y nube, estas se encargan de pasar instantáneamente un parcial de energía almacenada en este condensador atmosférico (nube-tierra); esto puede ocurrir un sinnúmero de veces. (Mafrsi, 2015).

El siguiente elemento electrónico de protección de carácter electrónico es del tipo PDC su forma de conexión es en serie unido al sustentáculo del colchoncillo y a su vez al colchoncillo flotante. Su papel fundamental o principal función es atraer rayos lo que evita causar daños a las instalaciones esto se logra excitando su carga y atrapando su golpe de potencial de tensión alta transfiriéndolo a la toma ubicada en tierra, a continuación, una descripción grafica de este. (Bruno, 2008).



Fig. 2. 10 Pararrayos de cebado

Fuente: (Angel, 2011).

2.3.2 Pararrayos inhibidor de frecuencia

Formado a partir de una placa electrónica resonante R-L.C, esta se alinea al evento atmosférico y disminuye sus efectos, a continuación, en la figura 2.11 ilustramos este elemento.



Fig. 2. 11 Pararrayo de placa resonante.

Fuente: (Ambiental, consultoria, 2015)

2.3.3 Pararrayos Desionizantes

Este tipo de elemento de protección basa su funcionamiento en la desionización del aire circundante, su principal característica es su forma esférica.

Usualmente instalados en la zona de mayor altura de la estructura ,unidos a tierra mediante un conductor descubierto generalmente, durante un evento atmosférico la canalización de la energía a tierra origina un cambio de estado en la corriente de evasión a tierra pudiendo determinar su valor con un medidor de amperes de fuga a

tierra ,en la medición se obtiene un valor que en un evento atmosférico no es mayor a los 250 mili amperes proporcionalmente a la carga, en la siguiente figura 2.12 lo describiremos. (Gediweld, Manual, 2007).



Fig. 2. 12 Pararrayos desionizantes.

Fuente: (Hobbes, 2012).

Entre sus características básicas están; que en este tipo de pararrayos la carga Electroestática (PDCE), contiene un sistema de transferencia (CTS), igual a otros de su clase no suma elementos radioactivos. Su principal función es transferir la energía electroestática previo al inicio del evento atmosférico ,esto hace que se suprima la ionización o efecto corona, conformado en su estructura por electrodos fabricados en aluminio con una protección dieléctrica todo esto está montado sobre un poste de acero inoxidable conectado entre sí en unión serie a tierra ,esto evita el impacto

directo del evento atmosférico, una descripción grafica del elemento a continuación en la figura 2.13.

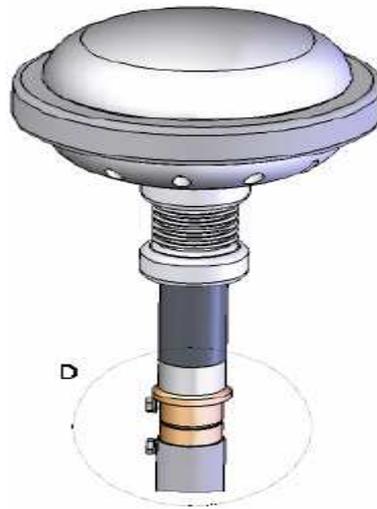


Fig. 2. 13 Pararrayos sistema CTS.

Fuente: (Montes, A.D.S International, 2010).

Su funcionamiento trata de transportar por la unidad de toma a tierra la divergencia de potencial entre la nube y la punta o cabeza del elemento de protección o pararrayos descrito así ,que transporta directamente a la parte superior usando el conductor a tierra ,la energía en forma de tensión que es generada por la tormenta eléctrica a su pináculo de instalación y por medio de este proceso se crean campos de tremenda tensión los cuales se juntan en su parte más baja en este caso en el electrodo inferior al que llamaremos cátodo de carga , desde este punto con una magnitud del campo eléctrico ,por otro lado está el electrodo superior al que llamaremos ánodo de carga positiva quien incita a que se junten cargas de diferente magnitud para estabilizar la magnitud del potencial que se forma en la parte interior

de la cabeza, como hemos descrito cuando este proceso se encuentra desarrollándose en su interior se forman una corriente en forma de flujo, entre estos el ánodo y el cátodo naturalmente equiparan al efecto llamado corona que se forma al exterior del elemento impidiendo la formación de cargas disruptivas, tampoco permiten la formación de ruido así mismo no existe radiofrecuencias ni vibraciones en el cable.

Cuando se desarrolla este proceso se genera un éxodo de energía usando como vehículo de escape el conductor, se marcan valores máximos que se pudieran generar en el clímax de la tormenta no pudiendo superar los 300 miliamperios, en ese preciso instante podemos decir que la tensión de ruptura no puede llegar al punto en la que pueda romper la tensión ya que su carga no es suficiente haciendo imposible romper la resistencia eléctrica.

Con esto podemos definir que la acción de este elemento es precautelar y de cierta manera evitar que en la zona que está bajo su protección exista choque directo, con el afán de proteger a los seres humanos animales y demás instalaciones y estructuras dentro de dicha zona, este sistema en su conjunto se arma para transportar el potencial que se forma en el proceso de formación del rayo desde la punta hasta su descarga en la toma que está en la tierra. (Vale indicar que estas las puestas a tierra y sus demás elementos están normados según reglas de baja tensión).

Recalcaremos que este sistema de cobertura que usa este tipo tecnología (CTS) comparado con sistemas similares los aventaja enormemente por su amplio espacio

de protección, otra ventaja es que son muy eficientes en la forma de disipación de los rayos en su área de cobertura. Este tipo de protección basada en tecnologías CTS tiene un mayor grado de cobertura que otros sistemas. (Salinas, 2014).

2.3.4 Pararrayo Piezoeléctrico

Este tipo de estructura usan elementos externos de alimentación paneles solares baterías y otros similares esto origina campos eléctricos artificiales pero sus principales defectos es que son vulnerables en cuanto en tanto depende de su fuente de energía si esta falla el sistema también lo hará dejando sin protección a la estructura, una descripción grafica del elemento a continuación 2.14.

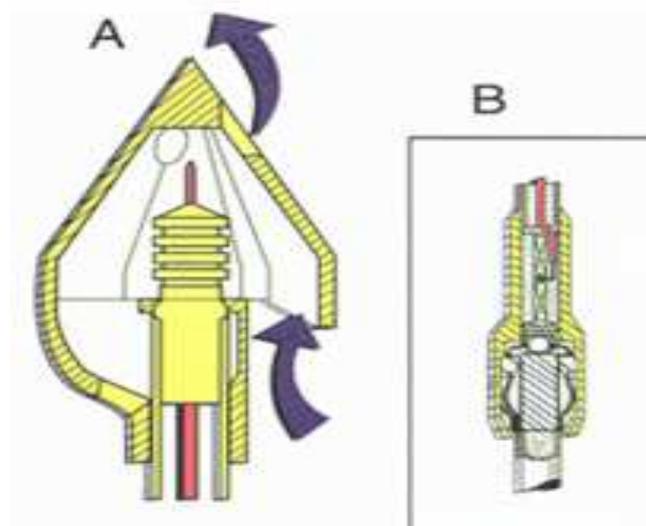


Fig. 2. 14 Tipo Piezoeléctrico.

Fuente: (Internacionales, pararrayos, 2016).

2.3.5 Pararrayo PDC.

Bajo condiciones controladas han demostrado un alto grado de eficiencia lo que le ha permitido tener todas las certificaciones ISO sus elementos son los siguientes:

- Deflector en acero inoxidable con un deflector en el mismo material
- Un conjunto excitador hecho de resina
- Eficacia de descarga es del 100%
- La continuidad eléctrica está garantizada
- Baja resistencia al paso de descargas
- Como no tiene elementos electrónicos cero propensiones a quemarse, una descripción grafica de este elemento en la figura 2.15. (Proaño, 2012).



Fig. 2. 15 Pararrayo tipo PDC.

Fuente: (Ingesco, 2009).

2.4 Estructura de los pararrayos

Básicamente un pararrayos consiste en un poste de cualquier material conductor ya sean estos hierros cobre níquel acero inoxidable aluminio que en su punta tiene un cabezal captador, este dispositivo conocido como cabezal tiene diferentes formas dependiendo su uso y aplicación entre ellos citaremos y mostraremos su forma en las figuras 2.16 y 2.17:

- Punta
- Multipuntas
- Semiesférico
- Esférico



Fig. 2. 16 Pararrayos Tipo Multipuntas.

Fuente: (Grupo Telmovil Comunicaciones, 2010).



Fig. 2. 17 Pararrayos esféricos.

Fuente: (Afinidad Eléctrica, 2007).

2.4.1 Cabezal

Desde el cabezal nace una conexión con un conductor hecho generalmente de cobre y un calibre grueso que se conecta a tierra, la toma a tierra puede diseñarse de varias maneras utilizando varillas metálicas piloteadas con placas metálicas o con una conexión de un tubo ahogado en un pozo de agua.

La teoría indica que la zona que protege un pararrayos tiene una forma cónica cuyo punto de vértice se encuentra en el cabeza, el radio de protección está ligado al Angulo de apertura del cono y obviamente este está ligado al tipo de protección una descripción gráfica a continuación en la figura 2.18.

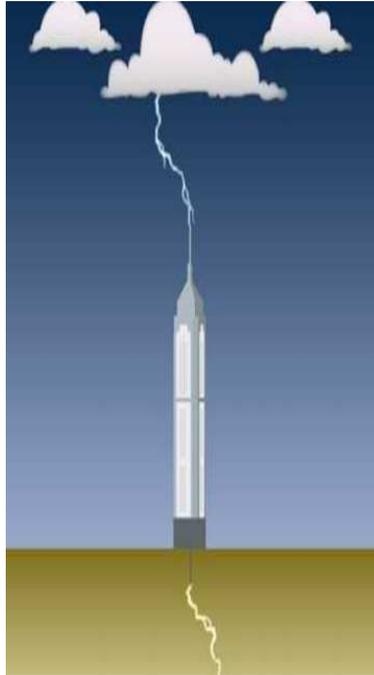


Fig. 2. 18 Pararrayos tipo cabezal.

Fuente: (Levantateyanda., 2004)

Como su primaria función es la de cubrir ,proteger y bajar el daño que se podría ocasionar con el golpe de una emisión atmosférica pudiendo afectar a personas bienes materiales eléctricos y/o electrónicos estos últimos son muy sensibles a este tipo de emisiones.

2.4.1 Tipo punta.

Es su forma más elemental es una vara de 300 o 500 mm de longitud formada por una varilla de 3 a 5 m de largo de acero galvanizado de 50 mm de espesor, en su punta está conformado con una capa de wolframio, esta sirve de protección para que

pueda resistir las enormes temperaturas que se producen al contacto con esto, también podemos evitar la formación del rayo sumado a que se puede transferir de diferentes formas ionizando el aire circundante.

De tipo Franklin; su forma es la de una pica con lo que se puede describir el “efecto punta”. Su diseño básico es un sistema formado por una barra de metal que termina en varias picas o puntas, el área de cobertura de este tipo es de forma cónica y se ve expresado en la figura 2.19.

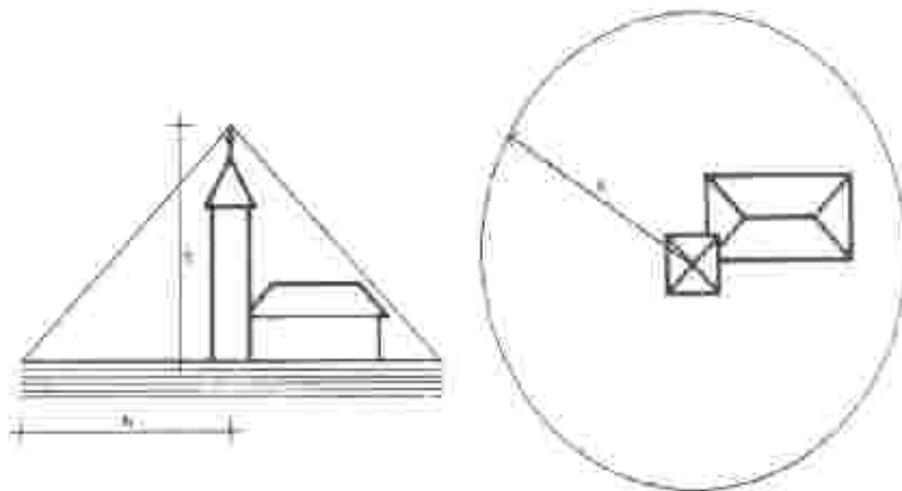


Fig. 2. 19 Área cobertura.

Fuente: (García, 2008).

Para los pararrayos de este tipo se establece un sistema de compensación de la energía que en definitiva es muy bajo, con este parámetro debemos indicar que no es

muy recomendado en entornos de riesgos latentes ,entonces recomendamos otro tipo de sistemas de mayor eficiencia.

De tipo radiactivo; consiste en una vara de metal que en su extremo contiene un contenedor donde está depositado una mínima porción de isotopos radioactivos que se ubican allí para ionizar el aire circundante, esto ocurre porque este isótopo libera partículas del tipo alfa, debido a que este se ve alimentado por aire ionizado ,esto protege una zona que tiene una figura en forma esférica-cilíndrica.

Existe una discusión entre los estudiosos y ecologistas porque en muchos países esta práctica no está regulada pero se ha usado siendo necesaria su ubicación en esta lista. (Mexin, 2013).

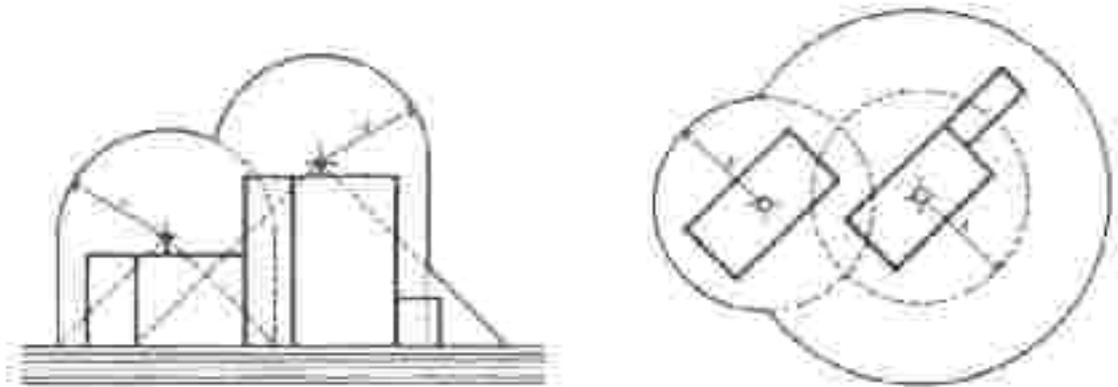


Fig. 2. 20 Zona de protección Pararrayo radiactivo.

Fuente: (García, 2008).

2.4.2 Principio de Funcionamiento de los pararrayos

En las investigaciones realizadas se ha logrado determinar que las nubes generadas en tormenta están negativamente cargadas por el contrario en el nivel del suelo están sometidas a una inducción electrostática es decir su carga es positiva. Esto define entonces que este dispositivo ubicado en la cúspide de una edificación alta canalice la energía desplegada por el rayo usando como vehículo de transporte un conductor de cobre generalmente hasta el suelo.

Por extensión diremos que estas cargas entre si se repelen son de magnitud negativa y a su vez las de carga positiva se unen porque son atraídas entre sí, esto hace que los electrones sean repelidos por las nubes generando que se carguen de manera positiva, esto también se aplica a nivel de la nube. Simultáneamente se produce una fuerte compensación de los potenciales eléctricos, esto se debe a que son acercados a los iones del aire circundante en la nube, equilibrando una cantidad de la carga. Esto otorga un decremento entre el potencial de la tierra a la nube con valores menor a los 10 kv siendo los parámetros en donde se mueve el comportamiento dieléctrico y la conductividad del aire, esto en definitiva lo que logra es anticiparse a la formación del evento atmosférico tomando una vía que permite una descarga a toma a tierra en el cual no encuentra mayor resistencia para su tránsito.

Entre los elementos que se deben considerar como disipadores naturales consideraremos a los árboles ,vallas publicitarias u otros objetos que tengan una

forma de pica en sus bordes, pudiendo ser entre ellos naturales o hechos por la mano del hombre, sometidos al campo eléctrico de la nube de tormenta, estos son una forma de equilibrio natural de los campos de la energía potencial, originando la neutralización de la carga de la nube, o en su defecto neutralizándola significativamente a un menor grado de peligro cuando se acerca a zonas pobladas.

Ahora definiremos a los pararrayos como sistema de protección atmosférica que están regidos por las normas internacionales NFPA, en la norma específica NFC17-102 establecida el mes de julio de 1995 donde se indica el criterio del área de protección que definen las puntas de un pararrayo. Dichas zonas están enmarcadas en tres niveles:

Nivel 1; esta es la condición más extrema en función del riesgo que hay que precautelar, La norma NF C 17-102 concierne los pararrayos con dispositivo de cebado (PDC) y toma en cuenta los niveles de protección N_p , de mayor a menor gravedad (I a IV), que se deben determinar previamente mediante una evaluación del riesgo de rayo de la cual debe ser objeto cada proyecto. La norma NF C 17-102 enmarca el diámetro de protección en función del cebado y los marcos de y del nivel de los PDC (determinado por la evaluación del riesgo rayo en acuerdo con la norma internacional CEI 62305-2). (Blitzplaner, 2007).

Ecuación para calcular el radio de Protección Atmosférica (ecuación 1)

$$R_p = \sqrt{h(2D+h) + \Delta L(2D + \Delta L)}$$

Fig. 2. 21 Ecuacion 1

Fuente: (*Ground & Earth system, 2010*).

Donde...

h = Altura real del pararrayos por encima de la superficie a proteger.

D = Es el nivel de protección requerida por la norma siendo estos tres niveles.

Nivel1 (N1) = 20m.

Nivel2 (N2) = 45m.

Nivel 3 (N3) = 60m.

ΔL = Es la constante de cebado y está dada por la formula.

$\Delta L = 106 * \Delta T$.

Donde ΔT = Tiempo de cebado.

Para nuestra punta de acero inoxidable es $\Delta T = 40\mu s$.

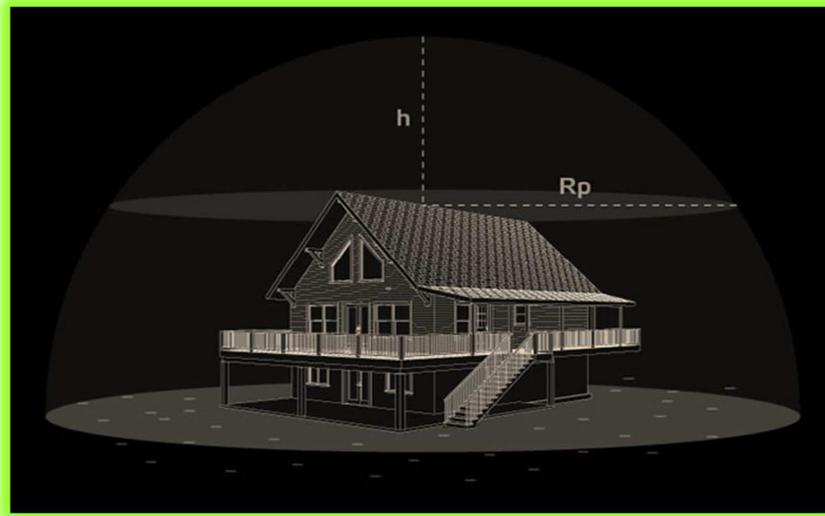


Fig. 2. 22 Preponderancia catódica.

Fuente: (Ground & Earth system, 2010).

Ahora desarrollando la fórmula.

Tendremos la siguiente tabla:

Tabla 2. 2 modelo DDR

MODELO	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	50	H= altura
DdR	36	39	47	58	59	59	59	59	60	59	51	Radio de protección

Fuente: (Ground & Earth system, 2010).

Como se aprecia en la curva de aprovechamiento al tamaño del sistema se le da una holgura de 5 metros, con esta dimensión podemos definir que el área de protección en el marco de los 58 metros cuadrados da como referencia un nivel crítico que llega al nivel 1. Como complemento a este sistema está sujeto un elemento que está

conectado físicamente al suelo mismo que nos permite utilizar los posteriores cálculo.

El desarrollo de las nuevas tendencias tecnológicas que usan un electrodo en su forma física está enfocado para realizar una equipotencialidad en la fusión de sus partes metálicas usando el planeta en común a tierra como referencia de voltaje cero en un terreno homogéneo, con este sistema se obtiene un corte de circuitos y masas metálicas en estrecha acción con acopladores admitancias que esta insertado en el electrodo, permite largas placas de cobre que conectan dos puntos, lo que en efecto produce una disipación con grado alto de inmunidad a la frecuencia alta, con este tipo de elementos se mejora la calidad del disipado de la energía acumulada ante un problema de falla a tierra o un problema que genere un incremento de la tensión a nivel del subsuelo a continuación una gráfica al respecto fig. 2.23.



Fig. 2. 23 Puesta a tierra.

Fuente: (Ground & Earth system, 2010).

Este tipo de electrodos fueron diseñados con un gran nivel tecnológico para obtener un nivel de compatibilidad electromagnética esto a su vez produce que se anulen las cargas electroestáticas generadas por los diversos tipos de materiales conductores de electricidad.

2.5 Sobretensión por Efecto de Ferrorresonancia

Definiremos la ferrorresonancia como un evento de la resonancia lineal que tiene una inmensa afectación en los tendidos eléctricos, su principal característica es que las tasas de armónicos anormales, las sobre tensiones y la sobre intensidad pasan de transitorias a permanentes siendo estas muy peligrosas para los elementos eléctricos muchos daños que son mal reparados son ocasionados por este evento llamado rayo lineal.

En las investigaciones realizadas por el año 1920 este término se acuño para definir una amplia gama de eventos oscilatorios que están vinculados a los circuitos eléctricos pudiendo enumerar a los siguientes:

- Inductancia no lineal llamada también ferromagnética saturable
- Condensador
- Fuente sinusoidal
- Perdidas débiles

Los tendidos eléctricos tienen inductancias saturables, transformadores de potencia, inductivas, de medida de tensión conocidos también como TT, reactancias shunt, etc.

2.6 Teoría de disipación de los electrodos estructurales.

Ejecutando un análisis del flujo de calor se debe a la discrepancia de temperatura que hay entre el entorno ambiental y el conductor, este hecho está sujeto a leyes similares a las que se usan en el campo de la electricidad; donde se comparan corrientes producidas por la diferencia de la potencia que se le aplica a una resistencia. Para un conductor eléctrico sección A y de una longitud L , aplicando una diferencia de potencial V tal como se manifiesta en la ley de Ohm:

$$I = aV/Re = aV \cdot A/g \cdot L \text{ [en amperes].}$$

En un circuito térmico en el que debido a una diferencia de temperatura q fluye calor desde un punto más caliente a otro más frío, análogamente, se cumple.

$$I = a \cdot q/Gt = a \cdot q \cdot A/gt \cdot L \text{ [en amperes].}$$

Igualando el calor generado con el disipado:

$$n \cdot Rt \cdot i^2 = q/Gt \text{ se deduce -2.}$$

$$I = (a \cdot q / (n \cdot Rt \cdot Gt)).$$

Siendo I la intensidad admisible en amperes.

Desarrollados todos estos cálculos tenemos que la capacidad de los electrodos está en función del área y el ancho del mismo, otro factor es la temperatura del suelo considerándose también lo que rodea al electrodo debido a que más amplia sea la superficie la longitud se amplía el grado de corriente a dispersar (García, 2013).

2.6.1 Preponderancia Catódica para sistemas de protección atmosférica.

La carga baja de la nube es de alrededor del 95% este es un dato estadístico que es una carga catódica (negativa) en el suelo, este valor negativo es transferido a la corona del pararrayo ocasionando que las cargas sean iguales por defecto esto ocasiona que se repelan las cargas de negativo valor .El 5% restante consideramos un valor anódico (positivo) siendo sus posibilidades de descargas diferentes ,para tal efecto se requiere un suelo bajo y con impedancia constante donde se pueda garantizar un inmenso volumen energético.

Para el presente consideramos un sistema construido a partir de acero inoxidable en cuyo centro (eje) es vertical, en los tangentes usamos 3 ,en zonas montañosas y/o torres a gran altura, el acero inoxidable permite un tiempo de cebado extendido, el cobre en cambio tiene una ventaja sobre el anterior porque nos libramos de darle un mantenimiento constante para evitar su oxidación y otra es su característica de alta resistencia a la intensidad de descarga que en este tipo de eventos tiende a ser muy alta una demostración grafica a continuación en la figura. 2.24.

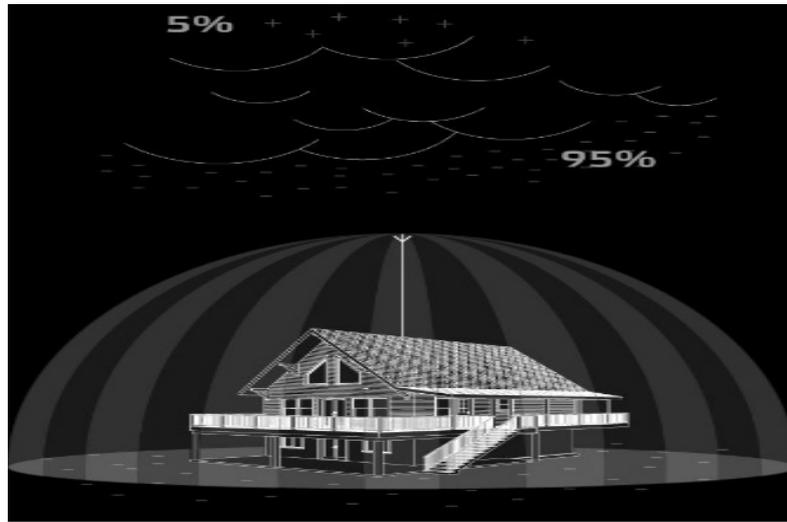


Fig. 2. 24 Preponderancia catódica.

Fuente: (Ground & Earth system, 2010).

Tabla 2. 3 Campo magnético estático en amperios/metro en función de la intensidad del rayo, medido a distintas distancias del punto de caída.

Pico de intensidad (KA)	CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO EN A/m		
	A 10 m del rayo	A 100 m del rayo	A 10 km del rayo
10	1.6×10^2	16	1.9×10^{-2}
20	3.2×10^2	32	3.8×10^{-2}
30	4.8×10^2	48	5.8×10^{-2}
70	1.1×10^3	1.1×10^2	13×10^{-2}
100	1.6×10^3	1.6×10^2	19×10^{-2}
140	2.2×10^3	2.2×10^2	27×10^{-2}
200	3.2×10^3	3.2×10^2	38×10^{-2}

Fuente: (Ground & Earth system, 2010).

2.6.2 Pararrayos poliméricos.

Este tipo de pararrayos son diseñados específicamente para subestaciones eléctricas las que son muy sensibles a los efectos de estos. Los pararrayos poliméricos, ofrecen protección por sobretensiones para las subestaciones eléctricas y son fabricados para tensiones nominales entre 15 kv y 60 kv. (Celsa, 2010).

Tabla 2. 4 características pararrayos polimerico.

CARACTERISTICAS	15/45	30/90	36/110	60/165
Voltaje nominal (kv)	15	30	34.5	60
Corriente nominal de descarga (kv)	10	10	10	10
MCOV (kv)	12.7	24.4	30	48

Fuente: (Celsa, 2010).

“Los pararrayos tipo estación incorporan la última tecnología en varistores de óxidos metálicos (ZnO) y en el diseño de aisladores en material polimérico, con una característica de resistencia altamente no lineal, resistente al agua.” Una descripción grafica a continuación fig. 2. 25 (Celsa, 2010).



Fig. 2. 25 Pararrayos tipo estación.

Fuente: (Power, 2009).

El ejercicio de los pararrayos es la misma de los varistores de óxidos metálicos. En condiciones donde el voltaje se encuentra nominal, donde la línea al suelo está sujeta a sus terminales. Cuando se desencadena un evento atmosférico sobre la tensión resultante es limitada por el elemento de protección que lo lleva a los niveles de protección regulados, está a su vez transporta la energía resultante al suelo. Después de que el evento de sobretensión ha sido neutralizado el elemento de protección regresa a su condición original es decir una alta resistencia no lineal transportando una ínfima energía de escape. Vale la pena indicar que los costos de los equipos en referencia al costo de los equipos de protección solo están en el orden del 1%.

Estos elementos existen en cantidades suficientes y el hecho mismo que su coste sea tan bajo apertura la posibilidad de nuevas ventanas de aplicación en las líneas de transmisión. Como resultado los pararrayos dan una fuente de mejora en la calidad de los sistemas de suministro de energía eléctrica. (Celsa, 2010).

2.6.3 Pararrayos de porcelana.

Esta clase de pararrayos están entrando en desuso debido a la aparición de los anteriormente citados en este trabajo, entre las características de este tipo de pararrayos están: (Celsa, 2010).

Tabla 2. 5 Características de los pararrayos de porcelana.

Tipo	OXIDO DE ZINC DE 6 HASTA 444 KV; 10 Y 20 KA
Referencia	3EP
Tensión nominal	6, 10, 12, 21, 30, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 60, 66, 69, 72, 96, 99, 102, 108, 111, 120, 126, 132, 138, 144, 147, 150, 156, 168, 192, 198, 228, 240, 276, 288, 336, 360, 396, 399, 420 y 444 KV
Corriente nominal de descarga	10 KA Y 20 KA
Corriente nominal de corto circuito	65 KA Y 100 KA
Flamabilidad de polímero, según norma IEC 60707, método FV	FV – 0
Descripción del producto	Pararrayos de oxido de zinc, en porcelana
Otras características	-Terminales en acero inoxidable -Posee dispositivo de alivio de presión

Fuente: (Celsa, 2010).

Inspección técnica y ensayos de prueba;

Vamos a efectuar varias pruebas en el sistema de pararrayos. Se contará con los protocolos de estos ensayos efectuados sobre un pararrayos del mismo tipo, así desarrollaremos un sistema donde se indiquen sus características más sobresalientes.

- Prueba resistividad del aislamiento que lo envuelve.
- Pruebas de tensión residual en esta se confirmará las ondas de corriente: A pulso de energía escarpada de frente 1/5s, 10 kA. A pulso de energía de rayo 8/20s, 10 kA y 20 kA A pulso de energía tipo maniobra 30/60s, 125 A, 500A y 1000^a.
- pruebas de resistencia a los pulsos de corriente de larga duración.
- Ensayo de Ciclo de Operación.

- Revisión del coartador de sobrepresión interna.
- Comprobación a los efectos de las andanadas parciales en el aislamiento interno con un rango menor a 10 pC al aplicar el 1,05 de la tensión permanente.
- Prueba de estanqueidad.
- Reconocimiento de penetración de la infiltración.
- Reconocimiento de degeneración atmosférico.

2.6.4 Sistema de cebado.

Definiremos como particularidad característica de este sistema la emisión de cargas eléctricas de inversa polaridad a la descarga atmosférica con lo que se genera una atracción al lugar de impacto muy por arriba de la estructura a la que se intenta proteger esto genera un diámetro mayor de protección en la base de está dando una tremenda ventaja con respecto a los sistemas convencionales ,los elementos que forman este tipo de protección son:

- Un poste
- Pararrayo con cebado
- Bajantes
- Conectores uno por cada bajante usada
- Tubería para proteger los últimos metros de la guía de la bajante
- Electrodo número igual al de bajantes

- Unión equipotencial de las tomas a tierra

Este sistema no se puede comparar al tipo franklin ya que es como la suma de muchos de ellos lo que mejora la eficiencia y baja los costos de instalación y mantenimiento.

2.7 Partes principales del pararrayos

A continuación, detallaremos los componentes principales del pararrayos entre estos:

- Cabezal o puntal este elemento es el que atrae la descarga atmosférica.
- Placa de fijación esta permite la unión del cabezal con el poste o mástil.
- Poste donde se fija el cabezal.
- Protector del poste permite la descarga inmediata transmitiendo a la tierra.
- Anclaje del poste elemento que sujetan el poste a la estructura generalmente se ancla en tres puntos.
- Conductor de bajante es el conductor que trasmite la descarga a la puesta a tierra.
- Soportes del conductor estos elementos fijan el conductor a la estructura deben ser de material aislante.
- Un elemento contador de descargas que indica cuantos impactos ha recibido
- Elemento de control no es más que un interruptor que desconecta la puesta a tierra del pararrayo especialmente se usa para mantenimiento del foso.

- Protección de tubo este permite proteger el cable de contacto con personas lo que garantiza su descarga sin afectar a personas
- Toma a Tierra. (Pcenter, 2016).

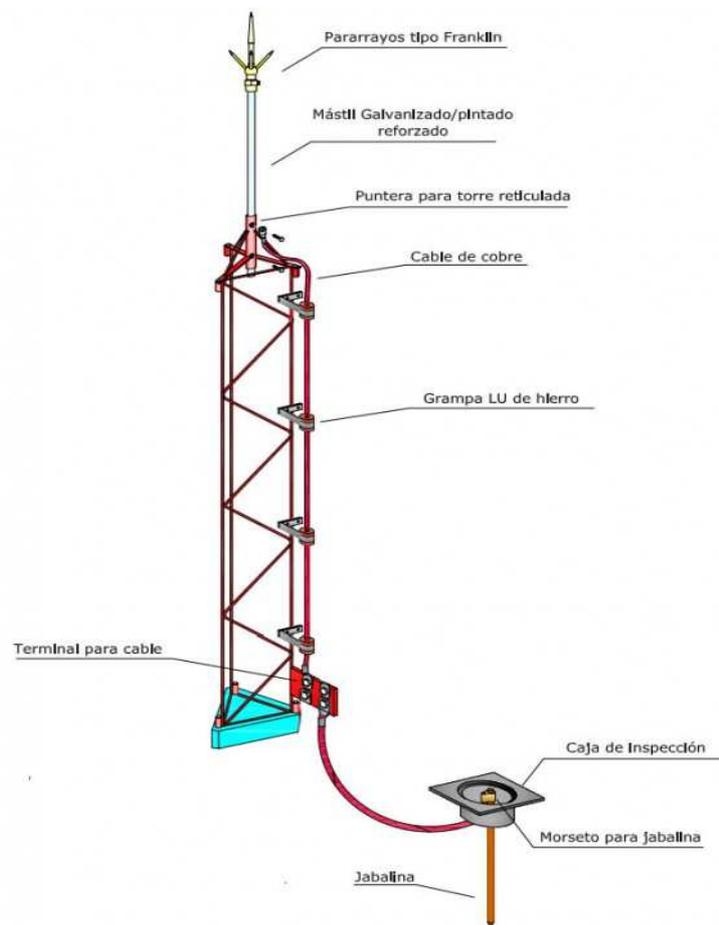


Fig. 2. 26 Partes de un sistema atmosférico

Fuente: (Pcenter, 2016).

2.8 Fundamentos en la aplicación de los sistemas puesta a tierra.

Denominaremos como "puesta a tierra" a todo lo que comprende con la conexión metálica directa, sin cortocircuitos, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un lámina, o grupo de láminas, cubiertos en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificaciones y áreas próximas al terreno eviten la acumulación de energía potencial que puedan ser de peligro y al mismo tiempo sean un canal conductor de tránsito de la energía a su descarga final en el suelo o de descarga de origen atmosférico. Con esto se hace evidente que debemos tener un conocimiento amplio de cómo funciona la energía eléctrica y sus aplicaciones.

Hoy en día es un hecho que el ser humano se ha hecho dependiente de la energía y las comodidades que le brinda se ha llegado incluso a hablar de alta dependencia al consumo de energía se lo ve en el día en las casas ,en el trabajo en las herramientas que dan forma a la civilización como la conocemos hoy en día, es por esas razones que se hace imperioso la necesidad de proteger todos estos elementos eléctricos y electrónicos que se han hecho parte vital de la manera de vivir en nuestra sociedad. El presente estudio está desarrollado en base a solo marcar un pequeño segmento de las protecciones contra eventos atmosféricos y sus respectivas puestas a tierra

Enunciaremos varios conceptos que considero que sean básicos tanto en cuanto a su simbología valores unidades de fuerza y otras. Debido a que estos sistemas tienen

una enorme importancia vale señalar los sistemas de aterrizaje o puesta a tierra, con esto en claro debemos estar conscientes de todos los elementos que producen una diferencia de potencial de gran impacto en la potencia nominal.

2.8.1 Componentes de los sistemas puesta a tierra.

Identificaremos como componentes de sistemas puestos a tierra a los siguientes elementos:

- Tomas a tierra.
- Conductores a tierra.
- Bifurcaciones de los conductores principales de tierra.
- Cables de protección.

El conjunto de conductores, así como sus derivaciones y empalmes, que forman las diferentes partes de las puestas a tierra, constituyen el circuito de puesta a tierra.

Los componentes principales de la puesta a tierra generalmente son. Una resistencia menor e igual a 10 ohm si por alguna razón no se puede obtener esta resistencia la puesta tierra deberá construirse con una distancia mínima de 100 metros del electrodo soterrado y una diferencia vertical u horizontal no será inferior a 20 m, se sotierra una electrodo de forma curva con una diferencia menor a 0.5 metros enterrado y con una distancia mínima de las paredes de 1 metro determinamos el valor de la puesta

tierra mediante métodos normales de una forma aislada a cualquier elemento del cable definimos varias puesta a tierra que están marcadas por el lugar donde están circunscritas al lugar donde están instaladas.

- Piquetas triangulares. - son las que usan menor cantidad de cable en su instalación
- Patas de ganso. - esta forma ocupa un mayor espacio usa 3 cables que tienen una longitud de 8 m
- Piquetas alineadas. - son usados en lugares en donde las condiciones de nivel del terreno no lo permiten

Otra medida es tener una caja de registro donde se pueda medir los cables ,deben estar ajustados con grilletes o sujetadores que deben ser del mismo material al cable usado además deben ser soldados para darle mayor sujeción.

2.9 Terminales

Los terminales en los sistemas de protección atmosférica son los que están conectados al suelo generalmente formados por un electrodo que no es otra cosa que una lámina o varilla de metal altamente conductivo que se encuentra unido al cable conductor o bajante ,sus formas varían desde las mallas de tierra como laminas horizontales o verticales todo está al libre albedrío del diseñador pero no menos importante es determinar la estructura del suelo ya que según sus características de conductividad determinara cual sería el más recomendable a usar.

El método de soldadura que elimina la conexión ya que usa una forma de cohesión molecular las uniones generalmente son el punto débil de todos los elementos electrónicos especialmente los sistemas de puesta a tierra ya que están expuestos a los elementos los que generan corrosión y envejecimiento haciendo que la puesta a tierra y sus circuitos dependan de su calidad para proteger la seguridad de las personas. Este proceso hace que se puedan realizar cohesiones moleculares entre metales de la misma clase y entre ellos sin la necesidad de calentarlos con fuentes externas de energía a continuación una descripción del método.

Se combina la soldadura a usar con un elemento de ignición sobre un envase de grafito lo que hace que la disminución del óxido de cobre usando aluminio secreta una escoria de cobre y óxido de aluminio que es derretido a altas temperaturas la forma de este debe llevar correlación al elemento a soldarse ,el método CADWELD comienza con una reacción en el envase de metal este tipo de unidades tiene medidas estándar su cable de conexión generalmente es de 1.8 metros este se une al encendido mediante un sujetador cuyo conector es especialmente fabricado para este fin como se señala en la figura 2.27. (Ruelsa, 2015).

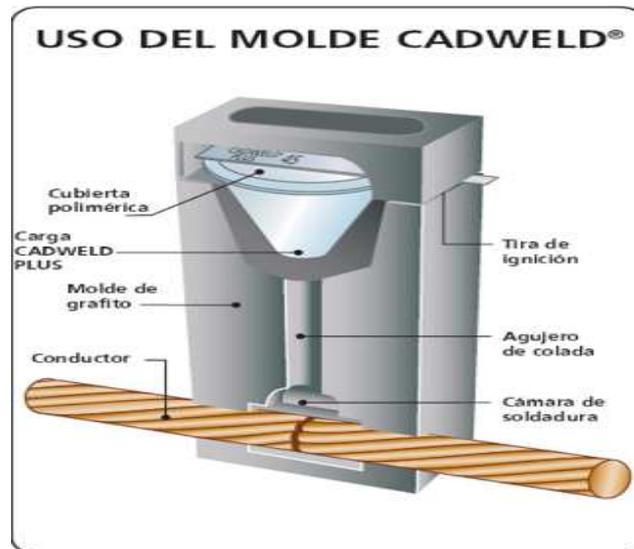


Fig. 2. 27 Molde Cadwell y sus partes

Fuente: (Pronergy, 2016).

La soldadura Exotérmica:

- Acepta un valor de corriente superior al admitido por los conductores.
- No se deteriora con el tiempo.
- Es una unión molecular que elimina cualquier riesgo de desconexión o corrosión.
- Resiste a repetidas corrientes de falla.
- Su calidad puede controlarse con una sencilla inspección visual en la figura 2.18 describiremos el proceso.



Fig. 2. 28 Proceso de soldadura Cadweld

Fuente: (Pronergy, 2016).

A continuación, describiremos algunos de los tipos de electrodos usados en los sistemas puesta a tierra;

2.9.1 Varilla Copperweld.

Este electrodo es el más usado ya que es de bajo costo, consta de una varilla generalmente de acero con una capa de cobre su longitud oscila alrededor de los 3.05 metros con un radio aproximado a los 8 mm ,su colocación se realiza de forma vertical con una profundidad aproximada a los 2400 mm como lo indica la norma , misma también acepta que pueda ser enterrada de forma horizontal en una fosa de no

menos de 0.80 metros de profundidad aunque esto no sea lo más aconsejable ,este electrodo no tiene mucha superficie de contacto aunque si una longitud mayor lo que permite llegar a capas de suelo húmedo véase la figura. 2.29. (Weebly.com, 2008).

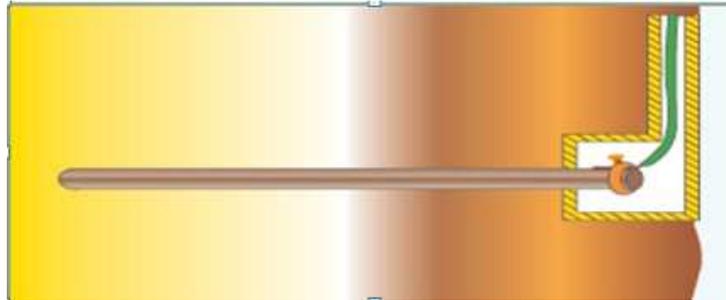


Fig. 2. 29 Varilla Copperweld.

Fuente: (Electroindustria s.a, 2014).

Rehilete.- está formado por dos placas entrecruzadas estas a su vez están unidas por soldadura es usada en suelos difíciles de penetrar ya que tiene una gran superficie de contacto, tal como se muestra en la fig.2.30.



Fig. 2. 30 Electrodo Tipo Rehilete.

Fuente: (Electroindustria s.a, 2014).

Placa. - es uno de los que tiene mayor superficie de contacto ,se lo puede usar en suelos que tienen una muy alta resistividad por norma su superficie debe de tener como mínimo 2 metros cuadrados y un calibre de 6.6 mm en lo que respecta a su parte ferrosa un mínimo de 1.52 mm en material no ferroso así se aprecia en la siguiente figura 2.31. (Gaceta oficial del distriro Federal, 2004).

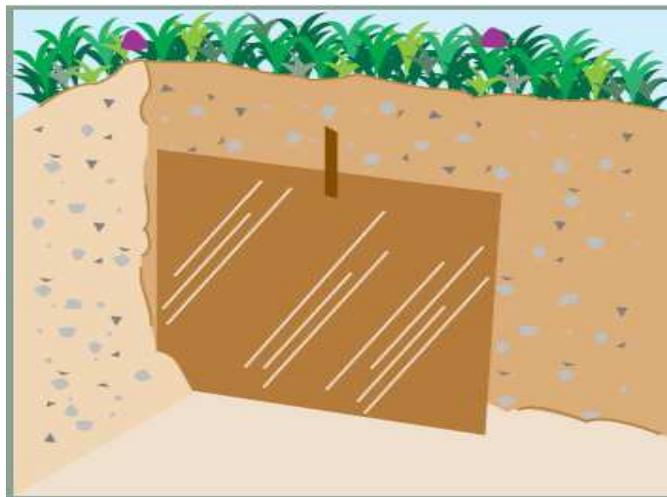


Fig. 2. 31 Electrodo Tipo Placa.

Fuente: (Ingesco, 2012).

Electrodo en estrella. -generalmente construido a partir de conductores de cobre con ramas en forma de estrella a 60 grados de ángulo esto es debido a que por la longitud del conducto se tiene una resistencia menos generalmente usados en el campo, véase la figura 2.32.



Fig. 2. 32 Electrodo Estrella.

Fuente: (Standar, American, 2016).

Electrodo de anillos. - construido en una figura que asemeja a la de un resorte, de un material conductor generalmente de cobre al descubierto debe por lo menos tener un radio que abarque los 33.6 mm² con una distancia mínima de 6 metros que deben tener un nexo con la superficie también deben estar a un mínimo de 0.80 metros pudiéndose conectar con electrodos.

Malla. - construida de tal manera que se asemeja a una red hecha de cables conductores, generalmente de cobre al descubierto sin aislante protector, adicionándole a estos electrodos se les da una mayor eficacia, estos son frecuentemente usada en subestaciones eléctricas, porque una de sus características es la reducción de peligro en las descargas fig. 2.33 y 2.34. (Gaceta oficial del distriro Federal, 2004).

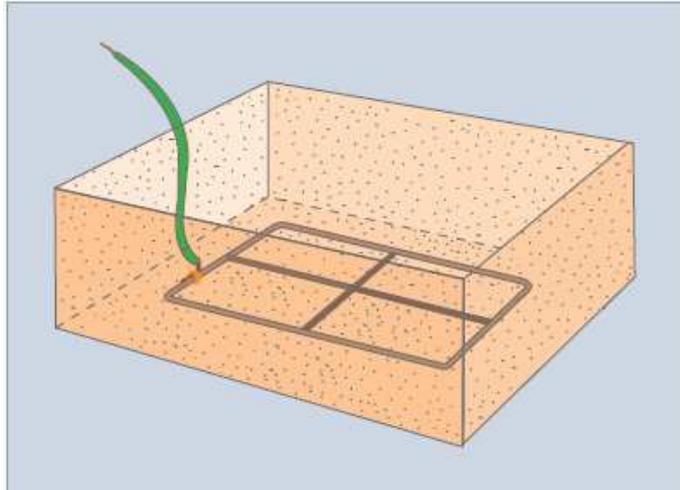


Fig. 2. 33 Electrodo Tipo Malla Simple.

Fuente: (Ingescio, 2012).

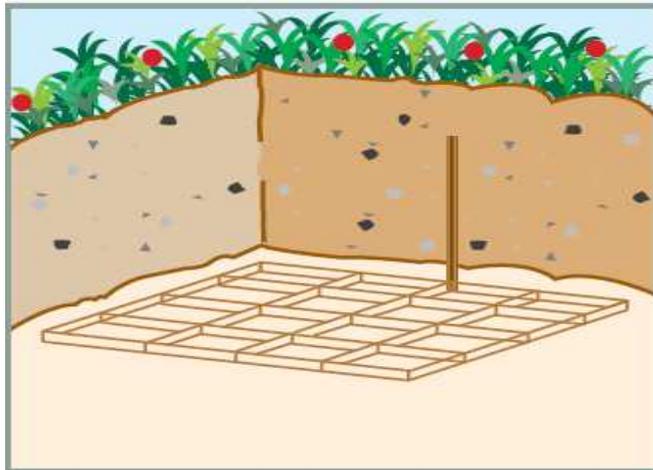


Fig. 2. 34 Electrodo Tipo Malla.

Fuente: (Ingescio, 2012).

Placa estrellada. - construida con muchas puntas alrededor que a su vez están vinculada por una barra que es ajustable, una de sus características fundamentales es la disipación a través de sus puntas así se muestra en la figura 2.35.



Fig. 2. 35 Placa Estrellada.

Fuente: (Procainsa, 2016).

Electrodo de barras de hierro o acero. - son hechos con varilla tipo corrugado son usadas generalmente en la construcción ,se recomienda que sean de un mínimo de 16 mm de diámetro.

Electrodo de tubo metálico. - estos están constituidos por todo tipo de material conductor en forma tubular, pero establecemos que debe tener al menos 19 mm de grosor también debe estar recubierto de algún metal que lo proteja contra el ataque de los elementos debe estar enterrado a un mínimo de 3 metros.

Electrodo empotrado en concreto. -estos son los que están conectados a la estructura se debe de considerar que tengan 6 metros con un calibre mínimo de 13 mm y deben tener un recubrimiento de hormigón de al menos 50 mm.

Electrodo de aluminio. -este elemento no está considerado por su alta corrosión al tener contacto con los elementos por ende se lo tiene poco fiable.

Electrodos químicos. - Mediante un tratamiento químico se les otorga una mayor conductividad que a su vez le dan una menor resistencia al tránsito de la energía eléctrica, las investigaciones que se han realizado han comprobado que son los de mayor eficiencia junto con los Copperweld y de bajo costo, así se muestra en la fig. 2.36. (Selcon, 2014).



Fig. 2. 36 Electrodo Químico.

Fuente: (Chem-Rod, 2012).

2.10 Conductores y bajantes.

Para desviar los rayos utilizaremos las bajantes, estos golpearan los puntos de captación para determinar los cálculos hay que mantener un equilibrio entre la técnica y el aspecto económico pues si usamos muchas bajantes, estas obviamente incrementarían el costo claro está que también que aumentara la magnitud de energía que circulara por cada una de estas también afectara a su ruta de ascenso influenciando en la magnitud de las inducciones magnéticas y las diferencias de potencial.

Debido a múltiples factores entre ellas térmicas y mecánicas, los cables del sistema de bajantes deben estar en estrecha relación con la siguiente tabla:

Tabla 2. 6 Sistemas de bajantes

Altura de la estructura	Numero minimo de bajantes	Calibre mínimo del cable en concordancia con el material de su fabricación	
		Cu (cobre)	Al(aluminio)
Menor a 25 m	2	2 AWG	1/0 AWG
Mayor a 25 m	4	1/0 AWG	2/0 AWG

Fuente: (Ingesco, 2016).

Otra característica a tomar en consideración es que cada una de estas debe tener una lámina o electrodo que aterrice en el suelo, que entre ellas deben estar a un mínimo de 10 m de preferencia en lugares en el exterior de la edificación, debemos tener en

consideración que estas bajantes deben mantener ciertos requerimientos que enumeramos a continuación:

- Debe haber varias líneas que circulen paralelo a la corriente
- Las dimensiones a recorrer deben ser mínimas
- Equipotencialización a puntos que puedan ser conductores en la estructura
- Mantener distancia a puntos de circuitos eléctricos y partes conductoras de la estructura.

Para tener una mejor apreciación de las bajantes indicaremos una división de la energía de la descarga eléctrica atmosférica por intermedio de las bajantes en una división k_c la cual circula a través de estas bajantes siendo afectado por su número total n , tal como se indica en el cuadro que a continuación detallaremos.

Tabla 2. 7 division de la energía de bajantes eléctricos.

Sistema de captacion aerea	Numero de bajantes	k_c	
		Puesta a tierra tipo A	Puesta a tierra tipo B
Electrodo simple	1	1	1
Cable	2	0.66 ^d	0.5 a 1
malla	4 o mas	0.44 ^d	0.25 a 1
malla	4 o mas unidos por arandelas de cables horizontales	0.44 ^d	1/n a 0.5
Estos valores son validos para electrodos a tierra que son similares a resistencia puesta a tierra se asume que $k_c=1$			

Fuente: (Ingesco, 2016).

Para esto:

$$k_C = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{C_S}{h} \cdot \sqrt{\frac{C_d}{C_S}}}$$

en donde

- n numero total de bajantes
- C_S distancia al bajante siguiente por uno de los lados.
- C_d distancia al bajante siguiente por otro de los lados.
- h espacio entre los anillos conductores. (equipotencializadores)

Tabla 2. 8 Conductores de bajada.

Conductores de bajada		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo o estañado (1)	Recomendado por su buena conductividad y su resistencia a la corrosión	Fleje 30X2 mm Trenza plana 30X3.5 mm Cable trenzado 50 mm ² Redondo 8 mm (2)
Acero inoxidable 18/10, 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos	Fleje 30X2 mm Redondo 8 mm (2)
Aluminio A 5/L	Debe ser utilizado sobre superficies de aluminio (barandas, muros, etc.)	Fleje 30X3 mm Redondo 10 mm (2)

Fuente: (Ingesco, 2009).

2.10 Parámetros de sistemas de protección de descargas atmosféricas.

Dentro de las consideraciones que se deben de tomar en diseños de protección atmosférica estableceremos varios puntos que a continuación detallaremos:

1. Delimitar el área a ser protegida
2. La altura que existe desde la cota cero del suelo hasta la punta de nuestro elemento de defensa.
3. Tipos de terminales a usarse
4. Tipos de cables conductores a usarse
5. Diseño de caja de registro acorde a el tipo de defensa a aplicarse.

2.10.1 Mantenimiento del pararrayos.

Para evitar fallas en nuestros sistemas de protección debemos establecer un mantenimiento rutinario que mantenga libre de desgaste por los elementos tales como la corrosión, daño por animales e incluso los mismos impactos de las descargas atmosféricas. Entre las recomendaciones a consideración tenemos:

- ❖ Verificación de la punta o cabezal
- ❖ Corrosión del poste
- ❖ Inspección de los anclajes
- ❖ Verificación de las tomas a tierra y comprobación de su resistencia a un límite máximo a los 10 ohm.

- ❖ Revisar el contador de descargas siempre y cuando este sea parte del dispositivo
- ❖ Verificar si se ha implementado o construido estructuras adicionales que puedan afectar el área de cobertura.

Dejaremos establecido una tabla de verificación donde marcaremos un patrón de reconocimiento.

Tabla 2. 9 Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos de puntas ionizantes.

Periodicidad de verificación de los componentes de un pararrayos de puntas ionizantes		
	Periodicidad normal	Periodicidad especial
Nivel I	2 años	1 año
Nivel II	3 años	2 años
Nivel III	3 años	2 años

Nota: en caso de ambiente corrosivo, es aconsejable aplicar la periodicidad especial

Fuente: (EOSA, Proyectos, 2009).

2.11 Resistividad del suelo

Una forma de definir la resistividad es la traba que presenta el suelo al tránsito de la corriente a través de sus capas, a esta traba la llamaremos resistencia, con esto en mente podemos definir que los aislantes que tienen un límite de resistencia muy alta son de baja conductividad o un límite de resistencia muy bajo o nulo lo que los

convierte en materiales que son excelentes conductores de la energía eléctrica, con esto en mente el concepto de resistividad a la oposición que tiene un elemento al tránsito de los electrones a través de la estructura molecular de estos elementos.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS Y PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.

3.1 Mapa isoceráunico en la ciudad de Guayaquil.

El nivel isoceráunico es aquel que marca la medida de días al año en los que se desarrollan tormentas teniendo como parámetro que día con tormenta es aquel en los que por lo menos se oye el estruendo de un rayo, para esto se usa un trazado sobre un mapa con líneas que enmarcan áreas con igualdad de niveles ,con estas líneas se determinan zonas geográficas donde se puede o no desarrollar con mayor o menor grado riesgos de caída de rayos ,las líneas llamadas “línea Isoceráunico” tienen un valor que está dado por los días de tormenta por kilómetro cuadrado por año usando como mínima referencia la caída de un rayo.

“los niveles Isoceráunico pertenecientes a las zonas de ubicación de las subestaciones de transmisión, representan el número promedio - anual de descargas atmosféricas que se presentan en el país, Con una estadística de 5 años por parte del DAC y conjuntamente con la figura 3.1, se estableció el nivel Isoceráunico para cada subestación del SNT .Según la estadística de la Dirección de Aviación de Civil el número de descargas promedió al año varían entre 5 como un mínimo y un máximo de 60”. (Exa, 2014).

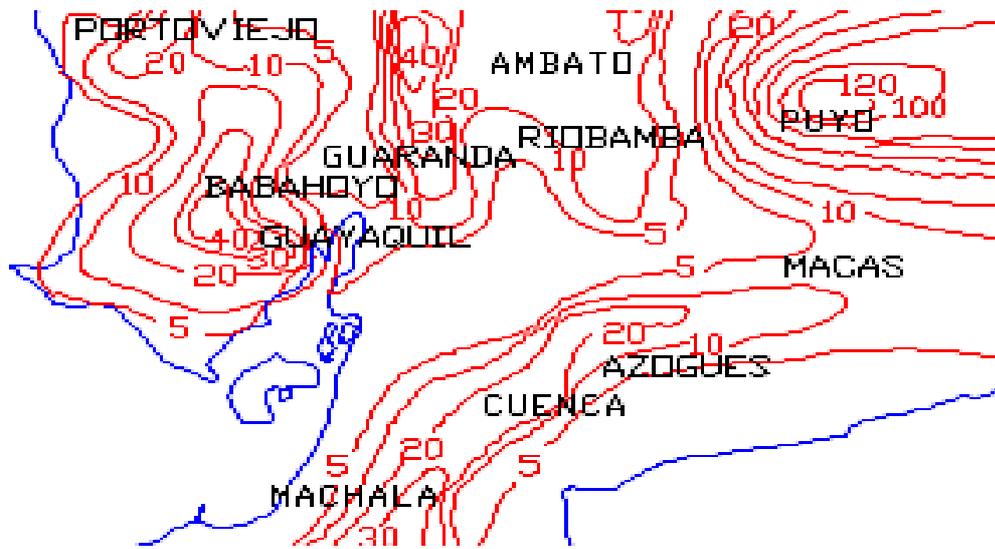


Fig. 3. 1 Mapa isoceránico del Ecuador

Fuente: (Muglisa, 2013).

3.2 Ubicación de pararrayos.

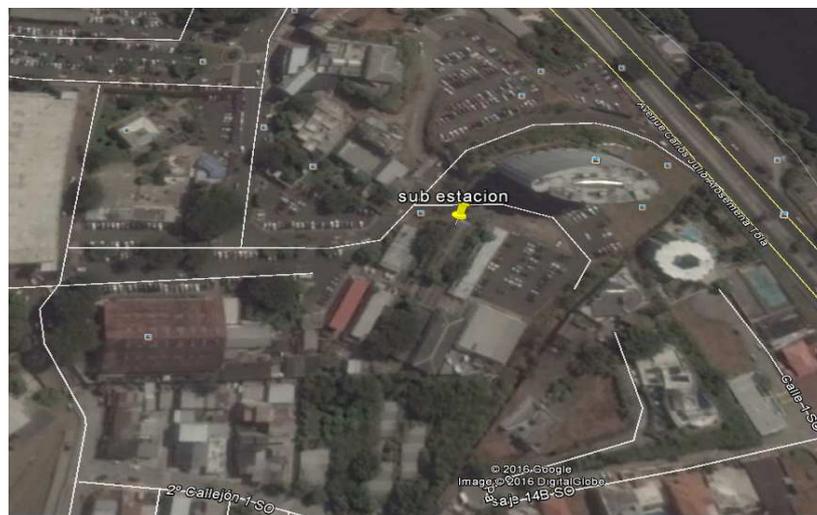


Fig. 3. 2 Imagen satelital de ubicación de Pararrayos

Fuente: (Earth, 2016).



Fig. 3. 3 Ubicación fotográfica del Banco de transformadores.

Fuente: (Crespin, 2016).

3.4 Sistema de pararrayos a utilizar en la Facultad Técnica para el Desarrollo.

- ❖ pararrayo tipo ionizante
- ❖ Área a proteger: Banco de Transformadores y laboratorios de electrónica de la "Facultad técnica para el Desarrollo".

Para este proyecto usaremos el pararrayos del tipo Ionizante el cual detallaremos sus características:

Pararrayo del tipo ionizante Reúne la energía del gradiente de potencia existente en el ambiente por medio del toroide excitador que se carga constantemente al potencial

circundante y define, en esa forma, la incidencia sobre la punta de la barra de descarga. El campo eléctrico entre el anillo equipotencial y el toroide permite regular la dirección de los iones existentes entre el canal original de ionización y por lo tanto el radio de alcance del pararrayos, así se muestra en la figura 3.4 y 3.5. (Parres, 2016).



ESPECIFICACIONES

ANGULO DE PROTECCION: 71° SUSTANCIAL
CORRIENTE MAX. DE DISEÑO: 30 000 AMPERES
PRINCIPIO DE OPERACION: IONICO BIPOLARIZANTE
BARRA DE DESCARGA: DURALUMINIO
DIAMETRO: 16 MM.
LONGITUD: 1.8 M.
ARILLO EQUIPOTENCIAL: FUNDICION DE ALUMINIO
DIAMETRO: 80 MM.
EXCITADOR TOROIDAL
DIAMETRO: 300 MM.
AISLAMIENTO DE TEFLON
PESO TOTAL: 2.2 KG

Fig. 3. 4 Especificaciones Técnicas Pararrayos tipo Dipolo.

Fuente: (Parres, 2015).

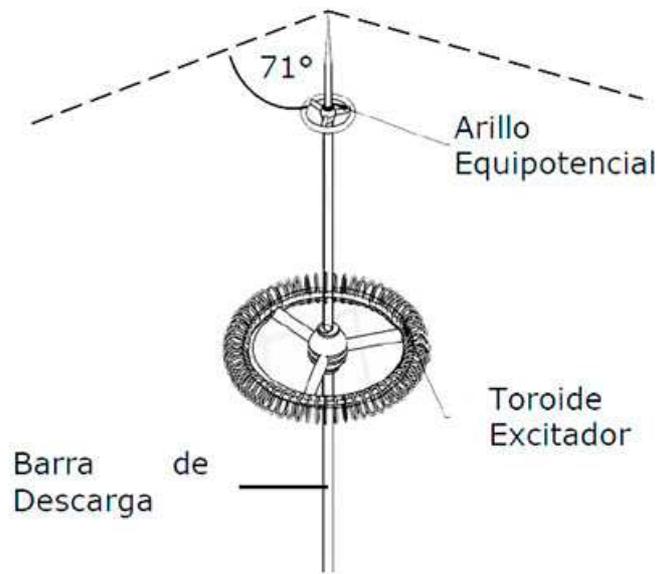


Fig. 3. 5 Ángulo de Protección pararrayos tipo dipolo

Fuente: (Parres, 2015).

3.4.1 Introducción al Pararrayo Tipo Dipolo

Una manera de describir a este elemento de protección es como su nombre los indica de “Desionizadores de carga electrostática” (PDCE), su estructura está formada por un sistema carga y transferencia o CTS, una de sus ventajas es el no uso de energía no convencional “radiactiva” su forma básica es un cuerpo constituido por dos discos de aluminio entre ellos está colocado un aislante del tipo dieléctrico todo esto en un poste del mismo material. Con todo esto es fácil deducir su forma, circular para la transmisión de la descarga su toma esta en serie, con esto se logra disipar la fuerza del impacto previo. (Flores, 2010).

3.4.2 Descripción del funcionamiento

Podríamos usar como referencia de funcionamiento que este sistema abarca la subida del campo eléctrico que se forma en condiciones específicas de tormenta en el ambiente, esto es usando su corona la que tiene una forma helicoidal con esto simplemente se carga periódicamente la energía que está a su alrededor ,con ello influye en la forma del evento atmosférica atrayéndolo a la punta de la varilla esta a su vez esta enlazada al sistema de manera constante y así al sistema puesta a tierra este es sin duda el sistema de pararrayos Desionizadores de carga electroestática o PDCE, también se le suma un sistema CTS o transferencia de carga, otra característica es el no uso de material no convencional en su fuente de alimentación. Su forma básica de funcionamiento es la trasferencia de carga antes del génesis del rayo negando la formación del fenómeno conocido como ionización o efecto corona. (Sematec, 2014).

El cuerpo del pararrayos está construido por dos discos de aluminio separados por un aislante dieléctrico todo ello soportado por un pequeño mástil también de Aluminio. Su forma es circular y el sistema está conectado en serie con la propia toma de tierra para transferir la carga electroestática a tierra evitando la excitación e impacto directo del rayo. (Ambiental, Consultoria, 2007).

Su característica principal es la de canalizar por el cable de tierra la diferencia de potencial entre la nube y la parte superior del pararrayos, el sistema conduce primero

en sentido hacia arriba, por el cable de tierra física; la tensión eléctrica creada por la tormenta eléctrica al punto más alto del sistema, durante el desarrollo de la tormenta se generan campos de alta tensión que se concentran en el electrodo inferior(cátodo), a partir de una magnitud del campo eléctrico, el electrodo superior (ánodo +) atrae cargas opuestas para compensar la diferencia de potencial interna de la parte superior, durante el proceso de transferencia, en el interior del pararrayos se produce un flujo de corriente entre el ánodo y el cátodo, este proceso natural anula el efecto corona en el exterior del pararrayos, no produciendo descargas disruptivas, ni ruido perceptible, ni radiofrecuencia, ni vibraciones del conductor. Durante el proceso, se genera una fuga de corriente a tierra por el cable del sistema, los máximos valores que se generan en el tiempo de la tormenta eléctrica, son cercanos a los 350 miliamperios. En este instante el campo eléctrico en el ambiente no es superior la tensión de ruptura al no tener la carga suficiente para romper su resistencia eléctrica. (EOSA, Proyectos, 2009)

Es decir, protege de los impactos directos el área de cobertura para evitar daños a las personas y estructuras, el sistema está calculado para conducir la energía durante la formación del rayo desde la parte superior hasta la tierra física. (Las normas que rigen las instalaciones de sistemas de pararrayos, tierra física y bajada de cables cumplen las recomendaciones de las normas en baja tensión). (EOSA, Proyectos, 2009).

Los sistemas de pararrayos con características CTS proporcionan mayor protección que los pararrayos simplemente terminados en punta. (EOSA, Proyectos, 2009).

El sistema de aterrizamiento de protección por un juego de tres varillas en forma de Delta.

3.4.3 Construcción del pararrayo dipolo

Para este proyecto procederemos con una descripción del armado de este elemento de protección pararrayo dipolo EPD

1. Instalación de equipo Pararrayos EP-D

a) El equipo EP-D debe ser instalado en el punto más alto de la torre de telecomunicaciones, integrado con mástil EP-M3, mismo que deberá ser empotrado lateralmente sobre el perfil estructural encontrado, a base de abrazaderas tipo “U” inoxidable reforzadas.

b) Se deberá armar el equipo EP-D, integrado por: Barra de descarga (1.00 pza.), Anillo equipotencial (1.00 pza.), Toroide Excitador (1.00 pza.), Bushing de aislamiento y Conector mecánico, donde estos dos últimos ya vienen integrados en la barra de descarga.

c) El equipo EP-D deberá ser preparado para introducción dentro del mástil EP-M3 de longitud total de 3.00 y diámetro de 1 ½”, de material acero galvanizado.

- d) Hacer pasar el cable de bajante de pararrayos cal. #2/0 AWG THW dentro de mástil EP-M3 y conectar a pararrayos EP-D en su conector mecánico correspondiente.
- e) Verificar el correcto apriete entre el conector mecánico del equipo EP-D y el cable de bajante Cal. #2/0 AWG THW.
- f) Introducir Bushing de aislamiento dentro de mástil EP-M3 y verificar su correcta fijación.
- g) El EP-M3 deberá ser fijado en el perfil estructural de la torre por lo menos 1.00 m.
- h) El cable de bajante Cal. 2/0 AWG THW, deberá ser fijado lateralmente sobre el perfil estructural encontrado en la torre, por medio de fleje y hebillas de acero inoxidable a cada 1.00 m. en toda su longitud.
- i) El cable de bajante Cal. 2/0 AWG THW, deberá ser fijado sobre la pata de la torre opuesta a la bajada de cables Feeders (guías de onda).
- j) La bajante del pararrayo debe ser toda continua y de una sola pieza, hasta su conexión con el sistema de tierras correspondiente.
- k) Realizar la medición funcional de continuidad entre el pararrayos EP-D y el sistema de tierras correspondiente. (Tierrafísica, 2016).

Ver los siguientes gráficos (3.6 y 3.7) del proceso de instalación de pararrayos EP-D y EP-M3:

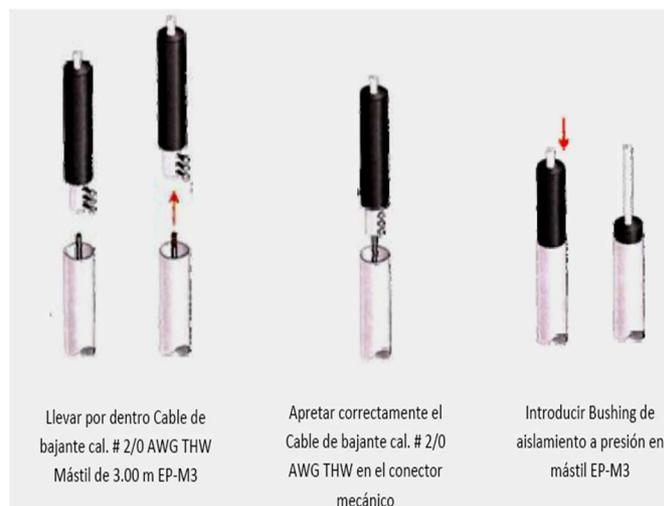
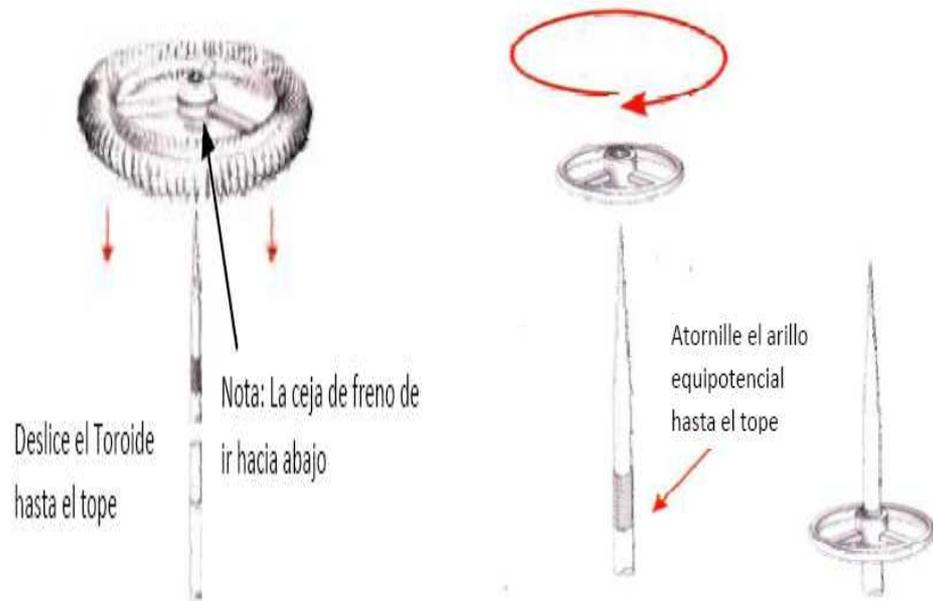


Fig. 3. 6 Proceso de armado de pararrayos Dipolo

Fuente: (Parres, 2015).

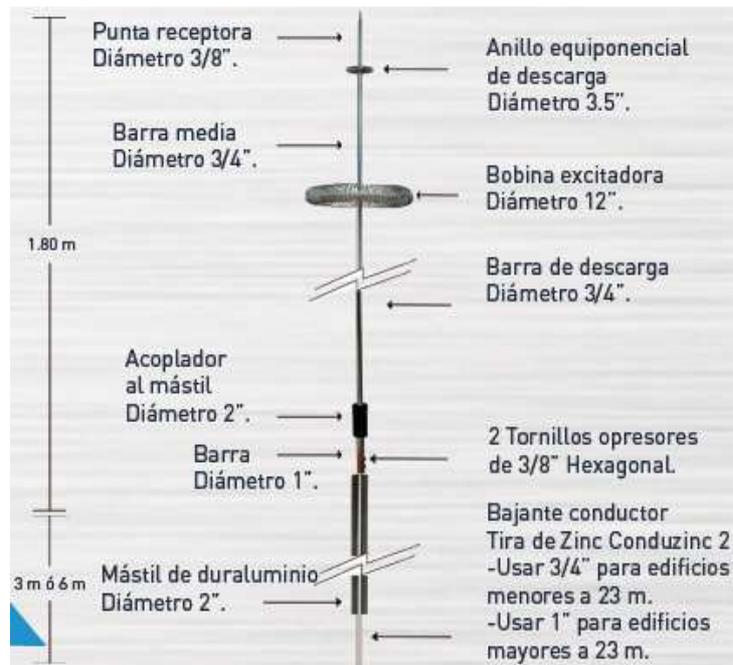


Fig. 3. 7 Armado de pararrayos dipolo tipo corona con torre.

Fuente: (Conduzinc, 2016).

NOTA: Se recomienda se utilice el equipo de protección personal completo

ALTURA Y CONO DE PROTECCIÓN

Altura y cono de protección de pararrayos

Tabla 14 - Ángulo de protección

NIVEL DE PROTECCIÓN

h=20 metros h=30 metros h=45 metros h=60 metros

I 25 grados

II 35 grados 25 grados

III 45 grados 35 grados

IV 55 grados 45 grados 35 grados 25 grados

El pararrayo que planea implementar en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil es de 6 metros, por lo que el grado de protección es de nivel IV, es decir, este mantendrá una mayor resistencia en el momento que se ocasione una tormenta eléctrica. Fig. 3.8.

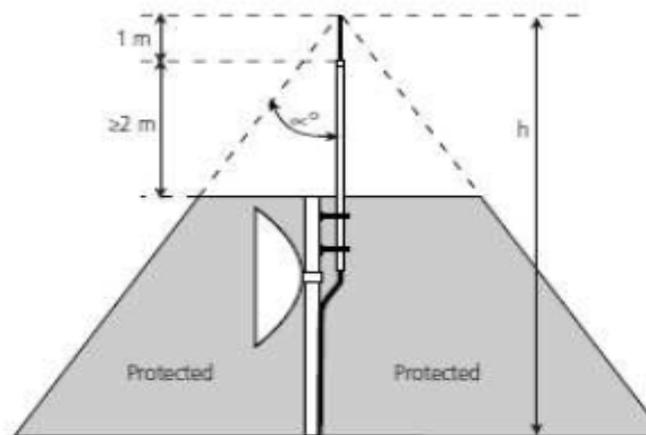


Fig. 3. 8 Cono de pararrayos.

Fuente: (Alava Vargas, 2014).

La protección contra rayos ionizante se detalla para la protección de Estructuras y equipos y se basa en garantizar la separación adecuada de aire que está provisto de

un cable conductor bajada al descubierto desde el Objeto a proteger. Esta distancia se conoce como la "distancia de Separación".

Para realizar el cálculo del radio de protección que brindara el pararrayos a ser implementado, se utiliza la altura del edificio más la cota del pararrayos 56 como tal, de acuerdo al cono de protección. Dado que se utilizará un pararrayos de nivel IV, se utiliza como referencia un ángulo de protección de 55 grados. Luego de obtener las variables mencionadas, se utiliza el siguiente procedimiento para el cálculo:

$$\tan \alpha = r/h$$

Esta fórmula implica despejar el radio, por lo cual se deberá multiplicar la tangente del ángulo (55 grados), por la altura. El edificio de la facultad técnica para el desarrollo con una elevación de 3 metros; por medio de los cálculos ejecutados usaremos uno de una envergadura de 6 metros, con esto su altura en conjunto será de 9 metros con eso este sistema de protección nos dará una holgura de seguridad de 12,85 metros. (Govea, 2014).

Para el sistema propuesto usaremos el pararrayo del tipo ionizante, el funcionamiento básico de este tipo de sistema de protección es la de ionizar el aire circundante de una punta franklin usando métodos electroestáticos en el campo eléctrico principalmente en las inmediaciones del rayo. Este tipo de protección atmosféricas son construidos generalmente en acero inoxidable el cual les otorga una gran resistencia a los elementos ambientales, es decir que le da una durabilidad larga con

casi ningún mantenimiento con lo que solo usaremos los métodos estándar que norman en las puntas franklin fig. 3.9.



Fig. 3. 9 Pararrayos Ionizante Activo

Fuente: (Gama-ME, 2012).

3.5 Pararrayos ionizante activo.

Este sistema de protección de descargas son elementos que en su construcción no se utilizan materiales de origen radioactivo que tienen la particularidad de proteger desde una misma ubicación multipuntos del área donde se encuentra instalado poniéndose en guardia cuando sube el riesgo de caída de rayos debido a la acción de campos eléctricos en días de lluvia siendo sus componentes principales:

- Punta capturadora.

- máser de iones.
- electrodos atmosféricos y aceleradores.
- terminales toma a tierra.

Lo que hace su diferencia es lo que desarrollan en el momento del evento atmosférico. A lo largo del presente estudio hemos expuestos en las líneas anteriores lo que define las diferencias lo hace el espacio de seguridad que establece los diferentes sistemas con este sistema podemos fácilmente duplicar esta área.

Entonces podremos enunciar sus ventajas:

- Doble de capacidad de protección un área mayor de cobertura.
- Otra ventaja es su bajo costo lo que lo hace atractivo económicamente hablando
- Desde el punto de vista ornamental se hace también más factible ya que por sus limitados componentes no daña el ornato de las estructuras a las que está protegiendo.
- Debido a su gran radio de acción también protege a zonas circundantes de su punto de instalación. (Ingesco, 2016).

3.6 Puesta a tierra y estudio de resistividad del suelo.

Uno de los considerando de mayor importancia de la resistividad del suelo no es el electrodo sino más bien la resistencia que opone el mismo suelo es por eso que

debemos determinar mediante cálculos y en virtud de estos realizar el correspondiente diseño por definición resistividad del piso es la capacidad que tiene el suelo como conductor de energía eléctrica puede ser conocida como resistividad específica del terreno debido a que la composición del suelo es irregular se miden con un muestreo donde se saca un promedio lo que sirve para determinar lo que se llamara resistividad aparente , así en la Fig. 3.10.

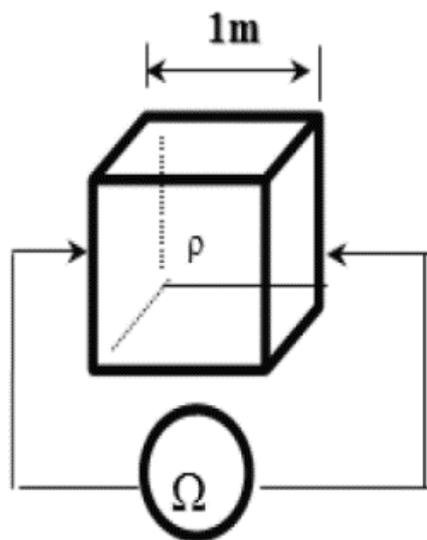


Fig. 3. 10 Resistividad específica del suelo.

Fuente: (Amperis, 2007).

Donde:

- R = Resistencia en (ohmios)
- l = Longitud en m
- S = Sección en (metros cuadrados)

Debemos establecer el comportamiento del suelo es por esto que analizaremos las características, para ello debemos conocer cuál es el nivel de resistividad ya que el suelo es por donde se disipa la corriente que va desde el conductor hasta el sistema de punto a tierra a continuación mostraremos una tabla con los distintos tipos de suelo basado en su resistencia.

Tabla 3. 1 Tabla de Resistividad de suelo.

TIPOS DE SUELO	RESISTIVIDAD $\Omega - m$
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silicea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800

Fuente: (Ruelsa, 2010).

El sistema de puesta a tierra debe contar con baja impedancia para dispersar la energía de la descarga atmosférica. Puesto que la descarga atmosférica consiste en componentes de alta frecuencia, nos preocupa específicamente el parámetro eléctrico dependiente de la frecuencia del sistema de puesta a tierra –impedancia – así como

también la puesta a tierra de baja resistencia. Los sistemas de puesta a tierra son altamente variables entre sitios debido a las consideraciones geográficas. La malla de puesta a tierra debe minimizar el incremento del potencial del voltaje a tierra y reducir el riesgo de lesiones al personal o daños a los equipos.

3.7 Método de caída de potencial.

Este método se usa principalmente para hacer un muestreo de la capacidad de cualesquier sistema de descarga a tierra haremos una descripción del mismo a continuación: lo primero que haremos es desconectar el conductor conectado a la varilla o electrodo que hace la descarga a tierra después uniremos a esta nuestro instrumento de medida de allí efectuaremos la comprobación por caída de potencial de tres hilos, colocaremos dos puntas en el suelo en una área que abarque los 20 metros cuadrados área suficiente para esta medición el equipo generara una descarga que nosotros tendremos su valor entre la punta exterior y el electrodo que hemos colocado a tierra esto nos permitirá tener una medida real entre las puntas verificando la caída de potencial o lo que es lo mismo su resistencia al fluido eléctrico. Así mismo usaremos la ley de ohm de caída de potencial esto se hace mediante un proceso automatizado en el interior del equipo (fig.3.11) y así obtendremos el valor de esta.

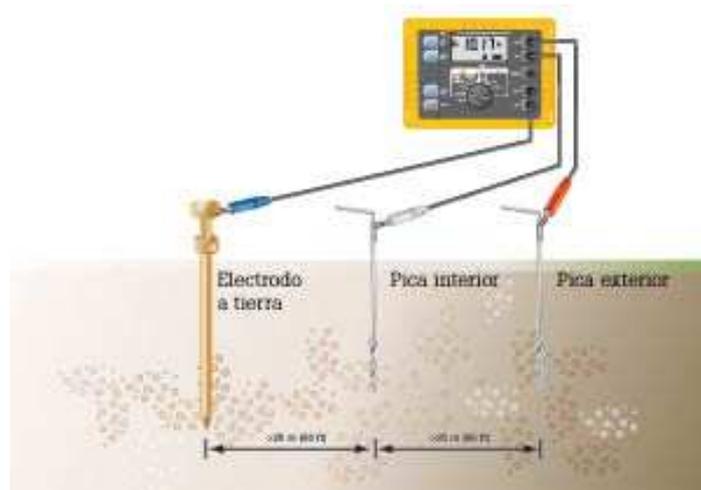


Fig. 3. 11 Método caída de Potencial

Fuente: (Midebien, 2016).

Describiremos el funcionamiento de unos de los equipos de medición que existe en el mercado básicamente todos tiene el mismo diseño un botón de encendido una perilla donde la llevaremos al punto marcado con el símbolo omega que es el que se ha usado como de resistencia este instrumento nos dará el valor de esta en forma muy precisa dependiendo si esta en serie o en paralelo la resistencia en cualquier caso será en extremo muy preciso. Para el caso usaremos la descripción de la tabla siguiente como formato de medida. (Totalground, 2007).

Tabla 3. 2 Distancias de instalación de electrodos.

Profundidad del electrodo de tierra Distancia	A la pica interior distancia	A la pica exterior distancia
2 m	15 m	25 m
3 m	20 m	30 m
6 m	25 m	40 m
10 m	30 m	50 m

Fuente: (Fluke, 2006).

CAPÍTULO 4

FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LA SUBESTACIÓN DE LA FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO.

4.1 Estudio de Factibilidad

En el presente estudio estableceremos ciertos parámetros que determinaran si es factible o no la instalación de este sistema operativamente hablando ,la instalación no afecta de ninguna manera las actividades de la universidad, técnicamente es recomendable para evitar pérdidas tanto materiales como personales, esto tiene que ver con el grado de afectación de equipos y su costo de reposición, puesto que una descarga eléctrica por tormentas genera un gran voltaje provocando un campo magnético de afectación volátil de gran alcance.

Su recomendación práctica es factible para prevenir un posible desastre en las edificaciones, aunque en el medio local no es usual este tipo de fenómenos, económicamente hablando el costo de instalación es muy bajo, con respecto a que dicha instalación compete el costo y puesta del equipo; notándose que en la urbe local existe un solo importador de este dispositivo.

Por lo tanto, la factibilidad económica del sistema cumple todas las perspectivas financieras para la ejecución de los pararrayos esté a la disponibilidad de los usuarios.

La factibilidad es accesible a la relación costos-beneficios para la adquisición comercial del dispositivo, debido que no existe una gran magnitud de oferta.

Por lo tal, se reducen las alternativas de costos por demandas, proyectándose un mercado adquisitivo de consumidores a la compraventa del artefacto.

La viabilidad de comercialización es aceptable por la poca oferta ante la posible demanda, estableciéndose la visión de un status de mercadeo operable.

4.2 Presupuesto unitario del pararrayo ionizante con puesta a tierra.

Para el presente proyecto tenemos el siguiente presupuesto usando el mercado referencial a la fecha de publicación del presente trabajo.

Como se puede observar en la Tabla 4.1 se realizó una cotización variada comparando precios de 5 empresas, las cuales nos brindaron una gama de información acerca de los “sistemas de pararrayos” posibles a instalarse, de los cuales escogimos realizamos un presupuesto los más accesible económicamente hablando.

Tabla 4. 1 Presupuesto de sistema pararrayos

PARARRAYOS Y MALLAS DE PUESTA A TIERRA CASETA TRAFOS					
ITEM	DESCRIPCION	QTY.	UNIT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
PARARRAYOS Y MALLAS DE PUESTA A TIERRA					
1	PARARRAYOS ELECTROWELD MODELO PROME incluye torre	1	UNIT	\$1.770,00	\$1.770,00
3	BASE 0,30 X 0,30M X 3MM + MASTIL RIGIDO GALVANIZADO 2" X 6,00 MTS	1	UNIT	\$125,00	\$125,00
6	CABLE Cu # 1/0 AWG	20	MTS	\$8,00	\$160,00
7	ACCESORIOS FIJACION MASTIL (CABLES TENSORES, GRILLETES, TEMPLADORES, BASES CABLES, ETC)	1	UNIT	\$150,00	\$150,00
8	TUBERIA RIGIDA GALVANIZADA 1" X 3,00 MTS CON UNION	3	UNIT	\$13,50	\$40,50
9	GRAPAS OMEGAS 1" - SS (SUJECION TUBERIA)	9	UNIT	\$4,50	\$40,50
10	CABLE Cu # 1/0 DESNUDO (MALLA Y UNION EQUIPOTENCIAL)	10	MTS	\$8,00	\$80,00
11	VARILLAS COOPERWELD DE 5/8" X 8'	4	UNIT	\$13,50	\$54,00
12	FUSION DE VARILLA 5/8" A CABLE # 1/0	4	PTOS	\$15,00	\$60,00
13	FUSION DE CABLE Cu 2/0 A MALLAS	1	PTOS	\$15,00	\$15,00
14	FUSION DE CABLE # 1/0 A CABLE 1/0	2	PTOS	\$15,00	\$30,00
15	FOSO DE REVISION POLIMERO T416B 10" x 10-1/4" x 13" - OD	1	UNIT	\$95,00	\$95,00
16	MYGEM (MEJORADOR DE CONDUCTIVIDAD) X 11,5 Kg	6	SAC	\$19,00	\$114,00
17	EXCAVACION, RELLENO Y COMPACTACION DE ZANJAS	1	GBL	\$650,00	\$650,00
18	MANO DE OBRA (DESMONTAJE, MONTAJE Y TRANSPORTES)	1	GBL	\$980,00	\$980,00
19	MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CON REPORTE GRAFICO	1	UNIT	\$100,00	\$100,00
20	DIRECCION TECNICA E IMPREVISTOS	1	GBL	\$445,00	\$445,00
				SUBTOTAL	\$4.909,00
				14% IVA	\$687,26
				TOTAL	\$5.596,26

Fuente: Autor.

Para el presente proyecto hemos determinado el uso del pararrayos ionizante el cual servirá para proteger de descargas atmosféricas a la sub estación ubicada.

A continuación, describiremos cada elemento:

- Pararrayos del tipo ionizante para este proceso usaremos el de marca electro Weld modelo Prome del tipo isocerámico recomendado especialmente para este tipo de protección.
- Base de 30 centímetros cuadrados donde se apoyará el mástil
- Mástil el cual es un tubo de acero galvanizado de dos pulgadas con una envergadura de 6 metros el cual es el más recomendado para este proyecto
- Cable conductor de cobre de calibre 1/0 AWG
- Accesorios de sujeción entre ellos están cables tensores grilletes placas de fijación los que tiene la función de mantener la estabilidad del mástil.
- Tubería galvanizada de una pulgada la que se usara para la implementación del pararrayos este incluye una unión universal.
- Varillas tipo Copperweld unidas por el método de equipotencial
- Foso de revisión para este proyecto se establece un foso de 10"x10 ¼"x13"
- También se efectuará una medición de la resistividad de la puesta a tierra

4.3 Análisis económico del sistema de puesta a tierra para la “Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Guayaquil.

Análisis de precios unitarios para el montaje pararrayo ionizante debido a que en el país existen pocas empresas especializadas en la venta de este tipo de equipos nos remitimos a la a lo que en el mercado se cotiza por tal razón hemos consultado valores a diferentes empresas y proveedores de este tipo de insumos, especializada en el diseño, cálculo y montaje de sistemas de protección atmosférica (pararrayos). esta cotización consta de tres bloques que a continuación detallamos:

- ❖ costo del pararrayos
- ❖ componentes; cableado y materiales adicionales necesarios para su instalación;
- ❖ mano de obra requerida.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Realizando el análisis comparativo de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas, se concluye que la mejor opción es la instalación de un pararrayos Ionizante Tipo Dipolo por las premisas:

Costo

Ángulo de Protección

Apantallamiento

- El pararrayos por la altura solo requiere de 1 bajante que llega a la malla de puesta a tierra configuración pata de gallina conformada por 4 varillas Copperweld.
- La factibilidad es accesible a la relación costos-beneficios para la adquisición comercial del dispositivo.

Recomendaciones

1. Debido a las características del suelo debemos usar un tratamiento de suelos a base de químicos entre ellos sales estas deben ser insertadas al suelo en una vía de solución acuoso esto permitirá aumentar el tránsito de la descarga en el momento del impacto del evento atmosférico.
2. Tomando en consideración la cercanía del poste de distribución eléctrica lo más aconsejable sería ubicarlo en la intersección de las diagonales principales de la losa de los laboratorios de electrónica de la “Facultad Técnica para el Desarrollo”.

Bibliografía

- Afinidad Eléctrica. (Mayo de 2007). Pararrayos con dispositivo de Cebado. Obtenido de www.afinidadelectrica.com.ar.
- Afinidadelectrica. (Junio de 2007). Sistemas Puesta a Tierra. Obtenido de <http://afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=163>.
- Alava Vargas, Á. R. (julio de 2014). Estudio del sistema contra descargas atmosféricas de las áreas críticas requeridas en el campus de la universidad católica de Santiago De Guayaquil . Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2884/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-35.pdf>.
- Ambiental, Consultoria. (11 de Enero de 2007). Guia de Instalación de Sistemas de protección contra descargas Atmoféricas. Obtenido de <http://www.ifdcvm.edu.ar/tecnicatura/Cie>.
- Ambiental, consultoria. (2015). Catálogo Parrayos. Obtenido de www.consultoriapv.com.
- Amores, I. F. (2014). Protección contra rayos en Cuba, <http://at3w.com/>. (A. Tecnológicas, Productor) Obtenido de <http://at3w.com/> .
- Amperis. (Diciembre de 2007). Medida de la Resistencia de Puesta a Tierra. Obtenido de <http://www.amperis.com/recursos/articulos/medida-resistencia-puesta-tierra/>.
- Angel, R. M. (Mayo de 2011). Prevención de Riesgos Laborales en Instalaciones Eléctricas. Obtenido de www.pararrayos-pdce.com.
- Bacigaluppi. (2012). Protección contra rayos y sobretensiones eléctricas. Obtenido de http://www.bacigaluppi.com/folleto_pararrayos.pdf.
- Berger., J. G. (2006). A review of the lightning attachment process and requirements to achieve improved modelling. En J. G. Berger., A review of the lightning attachment process and requirements to achieve improved modelling (págs. 1-19). Boston.
- Blitzplaner. (01 de Febrero de 2007). Diseño y comportamiento de uniones estructurales, mecánicas y adhesivas. Condiciones superficiales y operacionales. Obtenido de <http://www.dehn->

international.com/sites/default/files/uploads/dehn/DEHN-ES/pdf/catalogos/bpl_completo.pdf.

Bruno, L. (Enero de 2008). Pararrayos con Dispositivo de Cebado. Obtenido de <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2010/01/pararrayos-con-dispositivo-de-cebado.html>.

Celsa. (2010). Pararrayos poliméricos Tipo Estación. Recuperado el 2016, de <http://www.celsa.com.co/>.

Chem-Rod. (Agosto de 2012). Lightning Protection System. Obtenido de <http://www.lightningprotection.com/pdfs/resources/brochures/spanish/chem-rod-overview-spanish.pdf>.

Conduzinc. (Octubre de 2016). Pararrayos Dipolo Corona. Obtenido de <http://conduzinc.com/productos-para-sistemas-de-tierra/sistema-de-pararrayos/pararrayos-dipolo-corona>.

Crespin, M. (12 de 2016). Subestacion Universidad Catolica. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Earth, G. (2016). Google Earth.

Electroindustria s.a. (Septiembre de 2014). La Puesta a Tierra. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2382>.

EOSA, Proyectos. (15 de Diciembre de 2009). Pararrayo Dipolo Corona. Obtenido de <http://pararrayosistemasdetierra.blogspot.com/>.

Exa:. (2014). Obtenido de Exa.

Flores, C. (Abril de 2010). Pararrayos y Sistema de Puesta a Tierra. Obtenido de <http://pararrayosistemasdetierra.blogs>.

Fluke. (Marzo de 2006). Método de la Caída de Potencial. Obtenido de <http://www.fluke.com/fluke/cres/soluciones/resistencia-de-tierra/metodo-de-la-caida-de-potencial>.

Freire, M. &. (Octubre de 2011). Análisis y simulación del sistema de puesta a tierra en transformadores de distribución en el alimentador 01CV13B1S1-oriental de la subestación 01CV el calvario de ELEPCO S.A. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5021/1/T-ESPEL-0868.pdf>.

- Gaceta oficial del distrito Federal. (05 de Octubre de 2004). Normas de Instalación de Pararrayos. Obtenido de [gcg.servicios.df.gob.mx/c/8779709/Normas de Instalación de Pararrayos](http://gcg.servicios.df.gob.mx/c/8779709/Normas%20de%20Instalaci%C3%B3n%20de%20Pararrayos).
- Gama-ME. (11 de Marzo de 2012). Pararrayos Ionizante-ionocaptor. Obtenido de <http://www.gama-me.com/materiales-electricos/puesta-tierra/pararrayos-ionizante-ionocaptor>.
- García, L. (22 de Marzo de 2008). Tormentas Eléctricas. Obtenido de elctriarrayos.blogspot.com.
- García, R. (Octubre de 2 de 2013). Diseño y comportamiento de uniones estructurales Mecánicas y adhesivas. Condiciones superficiales y operacionales. Obtenido de http://oa.upm.es/22235/1/RICARDO_GARCIA_LEDESMA.pdf.
- Gediweld, Manual. (Marzo de 2007). Manual de Sistemas de Puesta a Tierra. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/38562695>.
- Golup, G. (Septiembre de 2002). Tormentas Eléctricas. Obtenido de <http://www.fceia.unr.edu.ar/~fisica3/Tormentas.pdf>.
- Gomez, M. (Noviembre de 2014). Análisis de contingencias eléctricas en centro comerciales. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/801/A6.pdf?sequence=6>.
- Govea, J. (Mayo de 2014). Estudio y plan de mejora de las instalaciones actuales de media y baja tensión de la Facultad de Arquitectura y diseño de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1812>.
- Ground & Earth system. (2010). Sistema de Protección Atmosférica con sistema puesta a tierra estructural. Obtenido de <http://e29.com.mx/proteccionAtmos.html>.
- Grupo Telmovil Comunicaciones, S. (2010). Pararrayos Tetrapuntal. Obtenido de <http://3110.pe.all.biz>.
- Hobbes. (2012). Supresión de Pararrayos PDCE. Obtenido de <http://www.hobbes.co.jp/product/9559>.

- IEEE, C. (Marzo de 1991). Fuses and other overcurrent protection devices. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/document/159123/?reload=true>.
- Ingesco. (Julio de 2012). Instalación de un Pararrayos. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/electricidad/pararrayos.html>.
- Ingesco. (10 de Abril de 2016). Normativa: IEC 62793 - 2016. Obtenido de www.ingesco.com/es/noticias/difer.
- Internacionales, pararrayos. (Junio de 2016). Pararrayos Tipo Corona. Obtenido de www.pararrayosinternacionales.com.
- Jimenez, P. &. (Mayo de 2013). Diseño de Sistema de Puesta a Tierra Aplicando Softwarecomputacional en el sector Industrial. Recuperado el 2016, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4104/1/UPS-CT002589.pdf>.
- Leal, R. R. (2010). Estudio del comportamiento del rayo. En R. R. Leal, Estudio del comportamiento del rayo (págs. 1-30). Principat d'Andorra.
- Levantateyanda. (Octubre de 2004). Partes de un sistema de protección contra descargas Atmosféricas. Obtenido de wordpress.com/cat.
- Mafrsi. (05 de mayo de 2015). Documentales Pararrayos. Obtenido de <https://www.clubensayos.com>.
- Mariani, I. E. (Abril de 2007). Parámetros de los Sistemas Puesta a Tierra. Obtenido de <http://www.ieee.org.ar/downloads/2007-mariani-tierra.pdf>.
- Mecsa, grupo. (Octubre de 2016). <http://www.pararrayos.co.cr/>. Obtenido de <http://www.pararrayos.co.cr/>.
- Mexin, L. (07 de Noviembre de 2013). Pararrayos de cinco Puntas. Obtenido de <http://luismexin.com/pararrayos.php>.
- Midebien. (Marzo de 2016). Conceptos Generales para comprobación de conexiones a tierra . Obtenido de <http://www.midebien.com/consejos-practicos-para-medir-bien/metodos-comprobacion-conexion-tierra-fisica>.
- Montes, R. (Octubre de 2010). A.D.S International. Obtenido de www.int-sl.ads.
- Muglisa, C. (Julio de 2013). Evaluación Técnica-Económica de alternativas para reducir las desconexiones por descargas atmosféricas en los primarios de la

- E.E.Q. Obtenido de
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5305/1/UPS-KT00418.pdf>.
- NASA. (Julio de 2016). Niveles Cerámicos del Mundo. Obtenido de
www.nasa.com.gov.
- National Fire Protection Association. (Mayo de 2002). Nfpa 70: National Electrical Code. Obtenido de <http://www.nfpa.org/>.
- Parres. (20 de Julio de 2015). Pararrayos Tipo Dipolo. Obtenido de
<http://www.parres.com.mx/pararrayos.html>.
- Parres. (12 de Abril de 2016). Pararrayos Dipolo. Obtenido de
<http://www.docfoc.com/pararayosdipolo1>.
- Pcenter. (Febrero de 2016). Pcenter. Redes inalámbricas-locutorios-Gps. Obtenido de
<http://www.pcenterperu.com/proyectos/pararrayos/>.
- Power. (julio de 2009). Pararrayos poliméricos tipo estación con resistencia altamente no lineal. Obtenido de [/www.reporteroindustrial.com](http://www.reporteroindustrial.com).
- Proaño, S. j. (8 de mayo de 2012). Diseño de líneas de Transmisión. Obtenido de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4633>.
- Procainsa. (09 de Julio de 2016). Sistemas de Puesta a Tierra. Obtenido de
http://www.procainsa.com/web/index.php?Itemid=31id=22option=com_contenttask.
- Pronergy. (Agosto de 2016). Soldadura en Sistema Puesta a Tierra. Obtenido de
<http://www.actiweb.es/pronergy/pagina4.html>.
- Quirós, C. B. (Noviembre de 2008). Protecciones contra Descargas atmosféricas Teoría y Normativa. Obtenido de
http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb_08_II/pb0806t.pdf.
- Ruelsen. (Febrero de 2010). Sistemas de Puesta a Tierra. Obtenido de
<http://www.ruelsen.com/notas/tierras/pe50>.
- Ruelsen. (Julio de 2015). Materiales Puesta a Tierra. Obtenido de
<http://www.ruelsen.com/notas/tierras/pe80.html>.
- Salinas, C. &. (12 de Septiembre de 2014). Metodología para el Diseño de Sistema puesta a tierra en Baja Tensión. Obtenido de

http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9054/1/Cabrera_Tituana_Ronny_Israel_Salinas_Rojas_Emilio_Jose.pdf.

Selcon. (Mayo de 2014). Electrodo para sensor de presencia de llama o ingición por chispa eléctrica. Obtenido de http://www.selcon.com.br/siteespanhol/sensores-esp/SEL-HT_ft_esp.pdf.

Sematec. (Marzo de 2014). Pararrayos PDCE. Obtenido de <http://www.sematec.cl/pararrayos-pdce/>.

SoKoM. (Agosto de 2006). Descargas Atmosféricas. Obtenido de <http://www.forbiddenwords.net/>.

Standar, American. (Enero de 2016). Americana estándar 1/4 "3/8" 1/2 "5/8" pulgadas de aire Acondicionado tubo de cobre de la bobina panqueque Bobina de Tubo De Cobre en espiral Tipo K Suave. (Alibaba, Productor) Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/american-standard-1-4-3-8-1-2-5-8-inch-air-conditioning-pancake-coil-copper-tube-coiled-copper-tube-type-k-soft-coil-60436940489.html>.

Tierrafísica. (2016). Ficha Técnica Pararrayos Dipolo. Obtenido de [http://www.tierrafisica.com.mx/PUNTA%20DIPOLO%20CORONA%20\(PUNTA%20PARARRAYOS\).pdf](http://www.tierrafisica.com.mx/PUNTA%20DIPOLO%20CORONA%20(PUNTA%20PARARRAYOS).pdf).

Toapanta, F. (Mayo de 2015). Descargas atmosféricas. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/312409615/DESC>.

Totalground. (Febrero de 2007). RESISTENCIA-RESISTIVIDAD.pdf. Obtenido de <http://www.totalground.com/archivos/Capacitacion/Conceptos%20Generales/Info%20Adicional/RESISTENCIA-RESISTIVIDAD.pdf>.

Weebly.com. (Agosto de 2008). Resistencia Eléctrica. Obtenido de <http://laultimaresistencia.weebly.com/>.

Zurita, V. &. (Marzo de 2004). lightning. Obtenido de www.lpi.tel.uva.es/nacho/docenc.

Sitios web consultados

<http://emergency.cdc.gov/es/disasters/lightning/faq.asp>

https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_contra_descargas_atmosfericas/7/7.htm

<http://www.tepsa.biz/index.php/67-generales/143-efectos-de-los-rayos>

<http://www.nationalgeographic.es/noticias/rayos-impacto-cuerpo-noticia>

<http://elestudianteelectromecanico.blogspot.com/2015/09/mapa-isoceraunico-del-ecuador.html>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo Crespín Tixe Mayra Jacqueline con CC. # 0930207113 autora del trabajo de Titulación **Análisis y Diseño de sistema de Pararrayos de la subestación de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**, previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.

2. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación con el propósito de generar un repositorio que democratice la información respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de Septiembre del 2016.

f. _____
Crespín Tixe Mayra Jacqueline
C.C: 0930207113



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE PARARRAYOS DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL.		
AUTOR(ES)	Mayra Jacqueline Crespín Tixe		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Pedro Tutivén López		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión empresarial Industrial.		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial.		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de septiembre del 2016	No. DE PÁGINAS:	130
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estudio - Tipo - Instalación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	ATMOSFÉRICO, CAMPOS ELÉCTRICOS, CONDUCTORES, PARARRAYOS.		
RESUMEN/ABSTRACT	<p>El proyecto a presentarse pretende analizar y realizar un estudio del sistema de protección contra descargas atmosféricas en la subestación eléctrica de la facultad técnica para el desarrollo. Siendo este un sistema de fundamental importancia ya que su función principal es proteger a las instalaciones eléctricas que suministra la subestación de las diferencias de potenciales que se puedan suscitar por fenómenos naturales, trayendo consigo fallas en los sistemas eléctricos. Se hace necesario el estudio de los diferentes tipos de Pararrayos para su posterior selección, así como la factibilidad económica para la instalación brindando así la protección adecuada a los laboratorios, personal, aulas y oficinas. En el capítulo uno se presenta una breve introducción a los temas realizando a su vez el planteamiento de los objetivos y la metodología a realizarse en el tratamiento del problema. Las premisas más relevantes como el análisis completo y la panificación se detallarán en el capítulo tres, así mismo la factibilidad económica para la ejecución del proyecto se detallará en el capítulo cuatro y finalizando en el capítulo cinco se brinda una gama de conclusiones y Recomendaciones para el diseño adecuado del sistema de protección de los sistemas contra sobretensiones transitorias, la selección del sistema adecuado dependerá de los estudios antes mencionados.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2665590+593-9-93605458	E-mail: maymad226@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ing. Philco Asqui Orlando , Msc		
	Teléfono: 0980960875		
	E-mail: orlando.philco@cu.ucsg.edu.ec		

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	