



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES.**

**TEMA:        “IMPLEMENTACIÓN        DEL        SISTEMA        DE  
PARARRAYOS PARA LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN  
BASE DE LA TORRE 1 DE LA RADIO UNIVERSITARIA  
98.5 MHz”**

**PROYECTO DE TESIS PREVIO A OPTAR EL  
TITULO DE TECNÓLOGO DE NIVEL  
SUPERIOR EN LA ESPECIALIDAD DE  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR:**

**Ángel Alexander Encalada Ríos.**

**DIRECTOR:**

**Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.**

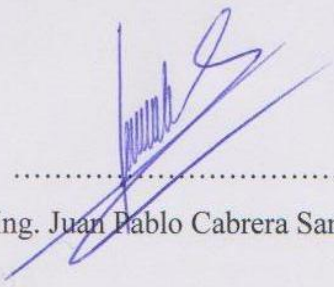
**Loja-Ecuador 2013**

## CERTIFICACIÓN

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego, Director de la presente Tesis de Grado, certifico haber dirigido, asesorado y corregido el presente trabajo cuyo tema es "IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN BASE DE LA TORRE 1 DE LA RADIO UNIVERSITARIA 98.5 MHz", previo a optar el Título de Tecnólogo de Nivel Superior en la Especialidad de Electrónica y Telecomunicaciones, realizado por el Sr. Ángel Alexander Encalada Ríos, el mismo que cumple con los requisitos correspondientes.

Para lo que autorizo su presentación y posterior sustentación

Loja, Julio 2013

  
.....  
Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego

## AUTORÍA

Yo Ángel Alexander Encalada Ríos, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el repositorio institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Ángel Alexander Encalada Ríos

Firma: .....



Cédula: 1104278286

Fecha: 12 de noviembre 2013

Firma: .....

Autor: Ángel Alexander Encalada Ríos

Cédula: 1104278286

Dirección: Buena y Circunvalación; Correo Electrónico: alexcarro@loja.unl.edu.ec

Teléfono: 3335343; Celular: 0994674251

## DATOS COMPLEMENTARIOS

Dirección de tesis: Ing. Juan Pablo Cabrera Saucedo

Tribunal de grado: Ing. Rainer Marcelo Barzro Espinoza

Ing. Diego Vinicio Guillana Villavicencio

Ing. Klever Hilberto Carrón Gordillo, Mg. Sc

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo Ángel Alexander Encalada Ríos declaro ser autor de la tesis titulada: "IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN BASE DE LA TORRE 1 DE LA RADIO UNIVERSITARIA 98.5 MHz"; como requisito a optar el grado de: TECNÓLOGO DE NIVEL SUPERIOR EN LA ESPECIALIDAD DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de noviembre del dos mil trece, firma el autor.

Firma: .....

Autor: Ángel Alexander Encalada Ríos

Cédula: 1104278286

Dirección: Sucre y Circunvalación. Correo Electrónico: alexenri69@hotmail.es

Teléfono: 2555343. Celular: 0994674261

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

Director de tesis: Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.

Tribunal de grado: Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinoza

Ing. Diego Vinicio Orellana Villavicencio.

Ing. Klever Filiberto Carrión Gordillo, Mg. Sc

## **PENSAMIENTO**

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

Fil: 4:13

## **DEDICATORIA**

Con mucho afecto a mis Padres principales maestros en mi vida y de manera especial a las personas que se sienten orgullosas de mí. Todo esto valió la pena por ellos.

El Autor.

## **AGRADECIMIENTO**

Dios gracias por permitirme vivir a lado de personas maravillosas que día a día han sabido brindarme su apoyo, motivándome a ser cada día mejor y seguir superándome para estar al servicio de ellos y de toda la colectividad.

Mis sinceros sentimientos de gratitud a la Universidad Nacional de Loja y por ende al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables y a nuestros docentes que supieron impartir generosamente sus conocimientos.

Gratitud al Ing. Juan Pablo Cabrera por su acertada dirección e invaluable colaboración para el ejecución de esta tesis.

El Autor.

## Tabla de Contenidos

<b>a. TÍTULO</b>	11
<b>b. RESUMEN</b>	12
<b>c. INTRODUCCIÓN</b>	14
<b>d. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	16
<b>d.1 CAPÍTULO I. TORMENTA ELÉCTRICA</b>	
d.1.1 El Rayo	17
d.1.2 Mecanismo de descarga del rayo	
d.1.3 Efectos producidos por la caída de un rayo	19
d.1.4 Efectos Producidos por la Caída Directa de un Rayo	
d.1.5 Efectos secundarios producidos por la caída de un rayo	
d.1.5.1 La carga electrostática	
d.1.5.2 Los pulsos electromagnéticos	20
d.1.5.3 Los pulsos electrostáticos	
d.1.5.4 Las corrientes de tierra	
d.1.5.5 El sobre voltaje transitorio	21
d.1.5.5.1 Acoplamiento resistivo	22
d.1.5.5.2 Acoplamiento inductivo	
d.1.5.5.3 Acoplamiento capacitivo	
d.1.6 Los efectos del campo eléctrico en nuestro cuerpo	23
d.1.7 Algunas estadísticas de daños en Francia causados por el rayo	
d.1.8 Los impactos de rayo directos son mortales para el ser humano	25
d.1.8.1 Fenómenos repercutidos:	
d.1.8.2 Efectos físicos:	27
<b>d.2 CAPÍTULO II. PARARRAYOS</b>	
d.2.1 HISTORIA	28
d.2.2 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO	29
d.2.3 Pararrayos tipo Franklin	30
d.2.3.1 Beneficios logrados	
d.2.4 OTROS TIPOS DE PARARRAYOS	31



d.2.4.1 Pararrayos desionizador de carga electrostática (PDCE)	
d.2.4.2 Pararrayos con dispositivo de cebado	32
d.2.5 ÍNDICE DE RIESGO	
<b>d.3 CAPÍTULO III. RESISTIVIDAD DEL TERRENO</b>	<b>36</b>
d.3.1 Factores que afectan la resistividad del terreno	37
d.3.2 El teluometro	38
d.3.3 Medición de resistividad aparente	39
<b>d.4 CAPÍTULO IV. PUESTA A TIERRA</b>	
d.4.1 Clasificación de las puestas a tierra	
d.4.1.1 Puesta a tierra de funcionamiento u operación	
d.4.1.2 Puesta a tierra para protección	40
d.4.1.3 Puesta a tierra para trabajo	
d.4.1.4 Sistema de puesta a tierra de rayos	41
d.4.2 Tipos de tomas de tierra	
d.4.2.1 Tomas de tierra superficial	
d.4.2.2 Tomas de tierra verticales	42
d.4.2.3 Tomas de tierra naturales	43
d.4.3 Medición de resistencia de puesta a tierra	44
<b>d.5 CAPÍTULO V. TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO</b>	<b>45</b>
d.5.1 Tensión de paso	
d.5.2 Tensión de contacto	
d.5.3 Límites de tensiones peligrosas	46
d.5.4 Selección del conductor de la malla	48
d.5.5 Cálculo aproximado de resistencia de malla	
<b>d.6 CAPÍTULO VI. NORMAS TOMADAS EN CUENTA EN EL PRESENTE</b>	
<b>TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>49</b>
d.6.1 Instalación de pararrayos IPP-1973	
d.6.1.1 Sistema de puntas	
d.6.2 NEC-10. PARTE 9-1. Literal 12.1.1 Necesidad de Instalar pararrayos	
d.6.3 NTC 4552-Proteccion Contra Rayos. Principios Generales	51
d.6.3.1 Literal 5.3.3.2 Condiciones de seguridad	
d.6.3.2 Literal 5.3.3.3 Valor y medición de la resistencia	52

d.6.3.3 Literal 5.3.3.6 Materiales

<b>e. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	53
e.1 Materiales	
e.2 MÉTODOS	56
<b>f. RESULTADOS OBTENIDOS</b>	58
f.1 Descripción de la zona de instalación y requerimiento del sistema	
f.2 Cálculo del índice de riesgo	60
f.2 Bosquejo del sistema de pararrayos a ser implementado	61
f.3 Dimensionamiento de selección de los componentes	62
f.3.1 Elección del pararrayos	
f.3.2 Selección del conductor bajante	66
f.3.3 Selección de la toma de puesta a tierra	67
f.4 Ensamblaje del Sistema	70
<b>g. DISCUSIÓN</b>	83
<b>h. CONCLUSIONES</b>	
<b>i. RECOMENDACIONES</b>	84
<b>j. BIBLIOGRAFÍA</b>	85
<b>k. ANEXOS</b>	89

**a. TÍTULO**

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LOS EQUIPOS DE  
LA ESTACIÓN BASE DE LA TORRE 1 DE LA RADIO UNIVERSITARIA 98.5  
MHz

## **b. RESUMEN**

El presente documento técnico se basa en la “IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN BASE DE LA TORRE 1 DE LA RADIO UNIVERSITARIA 98.5 MHz”.

En donde se detalla los fenómenos atmosféricos, sus causas, consecuencias peligros y más. También hablamos de los diferentes sistemas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, sus ventajas, desventajas y aplicaciones.

Luego se discutirá acerca de todo lo referente a la resistividad de los terrenos y a la puesta a tierra, siendo esta a su vez una pauta muy importante para la implementación de todo el sistema.

Así mismo se hará una descripción detallada del equipo que se va a emplear en la implementación del sistema de protección.

Además se describirá el cálculo, tratamiento realizado al suelo, lugar de implementación y se mencionara paso a paso el montaje de los equipos siendo el principal componente la punta de Franklin.

Posteriormente se presentaran los resultados de resistencia de puesta a tierra de todo el sistema obtenidos luego de realizar el tratamiento al terreno, y finalmente se citan algunas conclusiones y recomendaciones.

## **ABSTRACT**

This paper is based on "LIGHTNING SYSTEM IMPLEMENTATION FOR EQUIPMENT BASE STATION RADIO TOWER UNIVERSITY 1 98.5 MHz".

In which details the weather, its causes, consequences and dangers. We also talked about the different systems of lightning protection, their advantages, disadvantages and applications.

Then discuss about everything related to the resistivity of the land and the ground, this being itself an important guideline for the implementation of the whole system.

Also there will be a detailed description of the equipment to be used in the implementation of the protection system.

In addition we will describe the calculation, treatment given to the ground, implementation and place mentioned step by step installation of the equipment being the main component the tip of Franklin.

Subsequently present the results of ground resistance throughout the system obtained after performing the treatment to the field, and finally mention some conclusions and recommendations.

### **c. INTRODUCCIÓN**

Un rayo es una descarga eléctrica que golpea la tierra, proveniente de la polarización que se produce entre las moléculas de agua de una nube (habitualmente las cargas positivas se ubican en la parte alta de la nube y las negativas en la parte baja), cuyas cargas negativas son atraídas por la carga positiva de la tierra, provocándose un paso masivo de millones de electrones a esta última.

No hay duda acerca del peligro que implican los rayos y sus efectos asociados a incendios, lesiones o pérdida de la vida, daños, destrucción a propiedades, pérdidas significativas de tiempo y dinero por salidas de operación, debidas a daños en los equipos, todo esto convierte a los rayos en una seria amenaza.

Los efectos secundarios pueden resultar devastadores, esto resulta especialmente cierto para líneas de energía e instalaciones en equipos electrónicos que son muy sensibles.

La cantidad de actividad atmosférica no es igual en todas las zonas; varía de acuerdo a diversos factores, incluyendo ubicación geográfica, altura, etc. La energía asociada con la descarga también varía.

Es necesario considerar estos y otros factores, para decidir que esquema de protección contra rayo y la forma que debiera tomar.

Un sistema de protección contra el rayo, es aquel cuyo principio de funcionamiento es minimizar o evitar en lo posible las descargas directas de rayos en la instalación que queremos proteger, evitando así todo riesgo de muertes de personas, accidentes o incendio por tensiones de paso o diferencia de potencial durante el impacto del rayo, por ello se sugiere y se cree conveniente la implementación del sistema de pararrayos para los equipos de la estación base de la torre 1 de la Radio Universitaria 98.5 MHz

Considerando todos estos aspectos aquí mencionados, mismos que intervienen en nuestro trabajo de investigación, se concluye que es de vital importancia que nosotros como estudiantes de la Universidad Nacional de Loja, hallemos soluciones a los varios problemas vinculados a nuestra carrera y por ende a la colectividad. Razón por la cual nos trazamos los siguientes objetivos:

## Objetivo General.

- Implementar un sistema de pararrayos para los equipos de la estación base de la torre 1 de la radio universitaria 98.5 MHz con el propósito de brindar seguridad personal y a los equipos que se encuentran en dicha área.

## Objetivos Específicos

- Establecer los principales referentes teóricos que nos permitan determinar las características de funcionamiento de un sistema de pararrayos.
- Realizar una adecuada toma a tierra del sistema.
- Brindar seguridad al personal que transita en el sector donde se encuentra la torre 1 de la radio universitaria 98.5 MHz.
- Proteger las instalaciones, bienes y equipos en general, mediante el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección.
- Minimizar las pérdidas de tiempo, dinero y salidas de operación de la radio generadas por el daño parcial o total de los equipos e instalaciones.
- Realizar la implementación utilizando las normas nacionales e internacionales vigentes.

## **d. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **d.1 CAPÍTULO I. Tormenta Eléctrica.**

Una tormenta eléctrica, es un fenómeno meteorológico caracterizado por la presencia de rayos y sus efectos sonoros en la atmósfera terrestre denominados truenos. El tipo de nubes meteorológicas que caracterizan a las tormentas eléctricas son las denominadas cumulonimbos. Las tormentas eléctricas por lo general están acompañadas por vientos fuertes, lluvia copiosa y a veces nieve, granizo, o sin ninguna precipitación. Aquellas que producen granizo son denominadas granizadas. Las tormentas eléctricas fuertes o severas pueden rotar, en lo que se denomina superceldas. Mientras que la mayoría de las tormentas eléctricas se desplazan con la velocidad de desplazamiento promedio del viento en la capa de la tropósfera que ocupan, cortes de viento verticales pueden causar una desviación en su curso de desplazamiento en dirección perpendicular a la dirección de corte del viento. (WIKIPEDIA, 2011)



Figura. 1: Tormenta Eléctrica



### **d.1.1 El Rayo**

Este fenómeno es la manifestación de las descargas eléctricas de la atmósfera, que por su naturaleza y efectos directos e indirectos, produce la pérdida de vidas humanas y animales, provoca incendios y deterioros en construcciones, genera desperfectos en instalaciones eléctricas y puede provocar la destrucción de equipos eléctricos y electrónicos.

Las descargas eléctricas atmosféricas se producen entre nubes o entre nubes y tierra. La mayor parte de estas últimas la constituyen los denominados rayos descendentes negativos. Estos son, obviamente, los más peligrosos. Este tipo de descarga es provocada por la diferencia entre la polaridad negativa de la nube y la polaridad positiva de la tierra. Con esta clase de descargas el flujo de la corriente llega desde la nube al terreno.

Diferentes estudios y pruebas realizadas tanto en Europa como en Estados Unidos, nos permiten conocer algunos datos acerca del rayo. Así sabemos que la temperatura máxima de un rayo puede alcanzar valores superiores a  $30.000^{\circ}\text{C}$ , con una duración de aproximadamente una millonésima de segundo. Esta temperatura supera más de cuatro veces la de la superficie del sol.

La longitud de la descarga vertical es normalmente de 5 a 7 Km., mientras que en el caso de una descarga horizontal oscila entre 8 y 16 Km.

A diferencia de lo que sucede con la velocidad de la luz, la del rayo puede variar entre un décimo y un tercio de este valor.

Los valores de los parámetros eléctricos que caracterizan al rayo son enormes: el valor pico de corriente puede llegar a ser de 350.000 A. La tensión entre la nube y la tierra, antes del inicio de la descarga, puede llegar a valores de centenas de millones de voltios.

### **d.1.2 Mecanismo de descarga del rayo**

Como mencionamos anteriormente, los rayos se originan por la diferencia de potencial eléctrico entre nube y tierra. Si entre estos puntos se interpone una edificación con sus

múltiples focos de ionización (chimeneas, tanques de agua, antenas de radio y TV, etc.), que facilitan un camino aún más conductor a la citada descarga, resulta que dicha edificación recibe el impacto del rayo en el lugar que más fácilmente puede conducirlo al potencial eléctrico inferior posible, es decir a tierra.

El mecanismo de descarga del rayo se compone de cuatro fases:

1ª- El rayo comienza por la formación en el seno de la nube tormentosa de un trazador descendente que se extiende por impulsos en dirección al suelo. El trazador descendente transporta cargas eléctricas, provocando el incremento del campo eléctrico en el suelo.

2ª- Al mismo tiempo que el trazador descendente se extiende hacia el suelo, comienza a desarrollarse a partir de elementos que sobresalen de la superficie terrestre (árboles, chimeneas, antenas, pararrayos, etc.) un trazador ascendente, consecuencia del efecto de ionización.

3ª- El trazador ascendente se propaga hacia la nube creando un canal ionizado entre la nube y el suelo por el que fluye la corriente del rayo.

4ª- Se reúne el trazador ascendente con el trazador descendente, produciéndose la caída del rayo. Se puede observar un trazado de gran luminosidad entre la nube y la tierra. Los picos de corriente van de 1 kA hasta 350 kA, aunque un promedio a nivel mundial da valores de 30 kA. Además, normalmente no se produce un único rayo sino que hay más de una descarga a través del mismo canal ionizado.

(MGI, 2005)

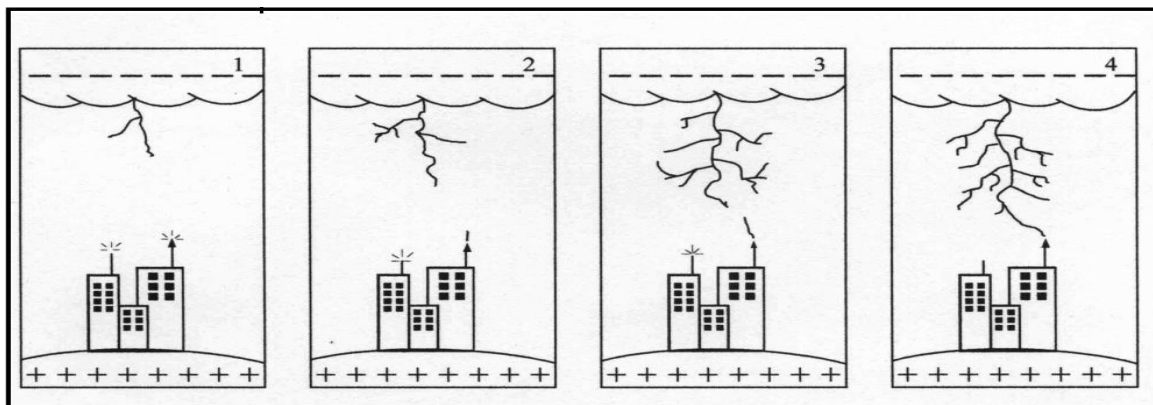


Figura. 2: Mecanismo de descarga del rayo

### **d.1.3 Efectos Producidos por la Caída de un Rayo**

Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, es así que, son causa de interferencias en sistemas electrónicos. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se requiere de las técnicas para señales en altas frecuencias.

A la frecuencia debida a la descarga del rayo, la impedancia de un cable de cobre usado en las puestas a tierra (de unos 1.64 uH/m) presenta un carácter predominantemente inductivo. En conductores de más de 10 metros la impedancia que representan es muy elevada, lo cual impide la conducción de la corriente. Como los rayos se reflejan como cualquier onda de alta frecuencia, es básico que la impedancia a tierra sea baja para la descarga, ya que todas las partes del sistema conectadas a tierra, elevarán y bajarán su potencial con respecto de tierra al tiempo de la descarga.

### **d.1.4 Efectos Producidos por la Caída Directa de un Rayo**

Los efectos directos de un rayo son la destrucción física causada por el impacto de los que pueden resultar incendios. Cuando un impacto directo golpea una instalación donde hay materiales combustibles, pueden estar expuestos al rayo, al canal del rayo o al efecto de calentamiento del rayo, produciéndose importantes incendios.

Cuando cae un rayo en una instalación siempre buscará el camino a tierra de más baja impedancia y por él circulará hasta tierra. Si el conductor tiene algún equipo eléctrico conectado a un equipo y es atravesado por esa corriente, muy probablemente será destruido. Si bien la caída directa del rayo es la más devastadora, también es la más improbable.

### **d.1.5 Efectos secundarios producidos por la caída de un rayo**

Los efectos secundarios de un impacto de rayo directo o cercano a una instalación incluyen:

#### **d.1.5.1 La carga electrostática**

La célula de tormenta induce una carga estática en cualquier estructura inmersa en la tormenta. Esta carga estática estará relacionada con la carga de la célula de la tormenta. Por esto se inducirá una diferencia de potencial en la estructura o conductor respecto a

tierra que será un posible causante de interferencias. Como consecuencia de la carga electrostática se producen los arcos secundarios que es una de las interferencias más frecuentes.

#### **d.1.5.2 Los pulsos electromagnéticos**

Los pulsos electromagnéticos, son el resultado de los campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente, a través del canal de descarga del rayo. Después de que se establece el canal de descarga del rayo entre la nube y la tierra, llega a formarse un camino tan conductivo como un conductor eléctrico. La corriente de neutralización comienza a fluir rápidamente y produce un campo magnético en relación a la misma. Ya que estas corrientes de descarga crecen rápidamente y alcanzan corrientes pico de cientos de miles de amperios, los pulsos magnéticos que ellos crean pueden ser muy significativos. El voltaje inducido resultante dentro de cualquier grupo donde existen varios cables que corren paralelamente, puede también ser muy significativo.

#### **d.1.5.3 Los pulsos electrostáticos**

Los transitorios atmosféricos o pulsos electrostáticos, son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica. Cualquier conductor suspendido sobre la superficie de la tierra, está inmerso dentro de un campo electrostático y será cargado con un potencial en relación a su altura, sobre la superficie de la tierra. Por ejemplo, una línea de distribución o telefónica aérea, a una altura promedio de 10 metros sobre la tierra, en un campo electrostático medio, durante una tormenta eléctrica, se cargará con un potencial de entre 100 kV y 300 kV con respecto a la tierra.

#### **d.1.5.4 Las corrientes de tierra**

La corriente transitoria de tierra es el resultado directo del proceso de neutralización que sigue a un impacto de rayo. El proceso de neutralización, es consumado por el movimiento de la carga a lo largo o cerca de la superficie de la tierra, desde el punto donde se induce la carga, hasta el punto donde termina el rayo. Cualquier conductor enterrado o cercano a esa carga, proveerá un camino más conductivo desde el punto

donde se inicia, al punto donde termina el rayo. Esto induce un voltaje en relación con la carga, que se maneja en esos conductores, lo cual otra vez está relacionado con la cercanía a donde el rayo impactó. A este voltaje inducido se le llama "corriente transitoria de tierra" y aparece en alambres conductores, tuberías y otras formas de conductores. Aunque el proceso de descarga es muy rápido (20 microsegundos) y la relación de crecimiento al pico es tan pequeña como 50 nanosegundos, el voltaje inducido será muy alto. La terminación de un rayo de retorno en la tierra puede causar los efectos siguientes:

- Puede causar arcos a través de la tierra a tuberías de gas adyacentes, cables o sistemas de tierra.
- La corriente de sobrecarga, puede correr por la tierra paralelo al sistema de tierras electrónico existente, lo cual originará una distribución de elevación de potencial de tierra no uniforme en el sistema de tierra.

#### **d.1.5.5 El sobre voltaje transitorio.**

Se produce como consecuencia de los anteriores y pueden causar graves daños en los equipos o sistemas si no están convenientemente protegidos. La carga electrostática (y consecuentes arcos secundarios) es lo más común.

Como ejemplo tenemos la carga electrostática y los pulsos electromagnéticos que inducen altos voltajes transitorios en cualquiera de los conductores eléctricos que se encuentren dentro del área de influencia de esos transitorios. Estos transitorios causarán arcos entre alambres o cables conductores y entre tuberías y tierra. Los arcos o chispas de corriente electrostática en un punto vulnerable, pueden iniciar incendios o explosiones.

Además estos sobrevoltajes pueden llegar por los conductores hacia los equipos o sistemas que estén dentro del área de influencia causando fallos y averías en los mismos si estos no están protegidos contra las sobretensiones.

Debemos tener en cuenta que en un radio de unos 1.5 km desde el punto de impacto de un rayo, las instalaciones electrónicas pueden ser perturbadas y en ocasiones destruidas.

Las formas en que se acoplan las interferencias producidas por el rayo son:

**d.1.5.5.1 Acoplamiento resistivo:** al caer un rayo sobre una construcción o sobre la tierra, se produce una elevación del potencial eléctrico que afecta a las tuberías y a los cables enterrados y viajan a través de ellas hasta penetrar en las edificaciones.

Especial riesgo corren, como es de suponer, los cables y tuberías aéreas. Así, un rayo es capaz de inducir corriente de 1.5 kA y 5kV en cables subterráneos, y de 3 kA y 6 kV en cables aéreos.

**d.1.5.5.2 Acoplamiento inductivo:** Las enormes corrientes del rayo al caer a tierra mediante descargadores establecen un camino que genera un campo electromagnético que induce a otros conductores, de fuerza principalmente por que no están apantallados, voltajes destructivos de varios KV.

**d.1.5.5.3 Acoplamiento capacitivo:** Debido a la naturaleza de alta frecuencia de los rayos se acopla capacitivamente entre arrollamientos de Alta a Baja tensión (transformadores). Provocando fallas en las fuentes de equipos electrónicos que son más sensibles y débiles.

Los efectos secundarios no siempre son fácilmente identificados como la causa o el mecanismo del rayo.

La protección convencional o protección primaria no influirá ni reducirá ninguno de los efectos secundarios, sin embargo si que aumenta el riesgo de un evento.

Las puntas pararrayos o terminales aéreas atraen el rayo y fortalecen una terminación del impacto muy cerca de la zona de influencia, causando interferencias con los equipos existentes.

Además, la tendencia hacia la microelectrónica, trae como consecuencia que los sistemas electrónicos sean más sensibles a los fenómenos transitorios, por ejemplo, transitorios de menos de 3 V pico o niveles de energía más bajos que  $10^{-7}$  Julios, pueden dañar o "confundir" esos sistemas y sus componentes.

(LPI, 2010)

#### **d.1.6 Los efectos del campo eléctrico en nuestro cuerpo**

El cuerpo humano es una máquina bioeléctrica, polarizada eléctricamente y toda la actividad electromagnética del entorno nos afecta.

Cada impacto de rayo genera una radiación o pulso electromagnético peligroso para las personas.

Los campos electromagnéticos artificiales perturban el magnetismo natural terrestre y el cuerpo humano sufre cambios de sus ritmos biológicos normales pudiendo sucumbir a diferentes enfermedades.

Estos fenómenos están en estudio, pues pueden afectar la membrana celular a partir de una gran exposición en corto tiempo; en función de la radiación absorbida nuestro sistema nervioso y cardiovascular pueden estar afectados.

Hoy en día está comprobado que las corrientes eléctricas de baja frecuencia con densidades superiores a 10mA/m<sup>2</sup> afectan al ser humano, no solo al sistema nervioso sino también pueden producir extrasístoles.

Toda radiación superior a 0.4W/kg no podrá ser adsorbida correctamente por el cuerpo. El aumento repentino de 1 grado en el cuerpo puede producir efectos biológicos adversos, éste fenómeno puede ser representado por radiaciones de gigahercios o microondas.

Los rayos causan muchas muertes en el mundo, sólo en Brasil mueren cien personas por año. Es uno de los países más afectados por la muerte directa de personas causada por los rayos, según investigadores brasileños equivale al 10 por ciento del total mundial.

#### **d.1.7 Algunas estadísticas de daños en Francia causados por el rayo.**

- Una media de 1.000.000 de impactos de rayo por año.
- El coste anual de los daños causados por el rayo se cifra en millones de Euros.
- Mueren cada vez más personas, entre 8 y 15 muertos por año.



Figura. 3: Persona impactada por un rayo

- Más de 20.000 animales muertos.



Figura. 4: Vacas afectadas por la caída indirecta de un rayo

- 20.000 siniestros causados por rayos de los cuales 15.000 ocasionaron incendios.
- 50.000 contadores eléctricos destruidos.
- 250 campanarios afectados.



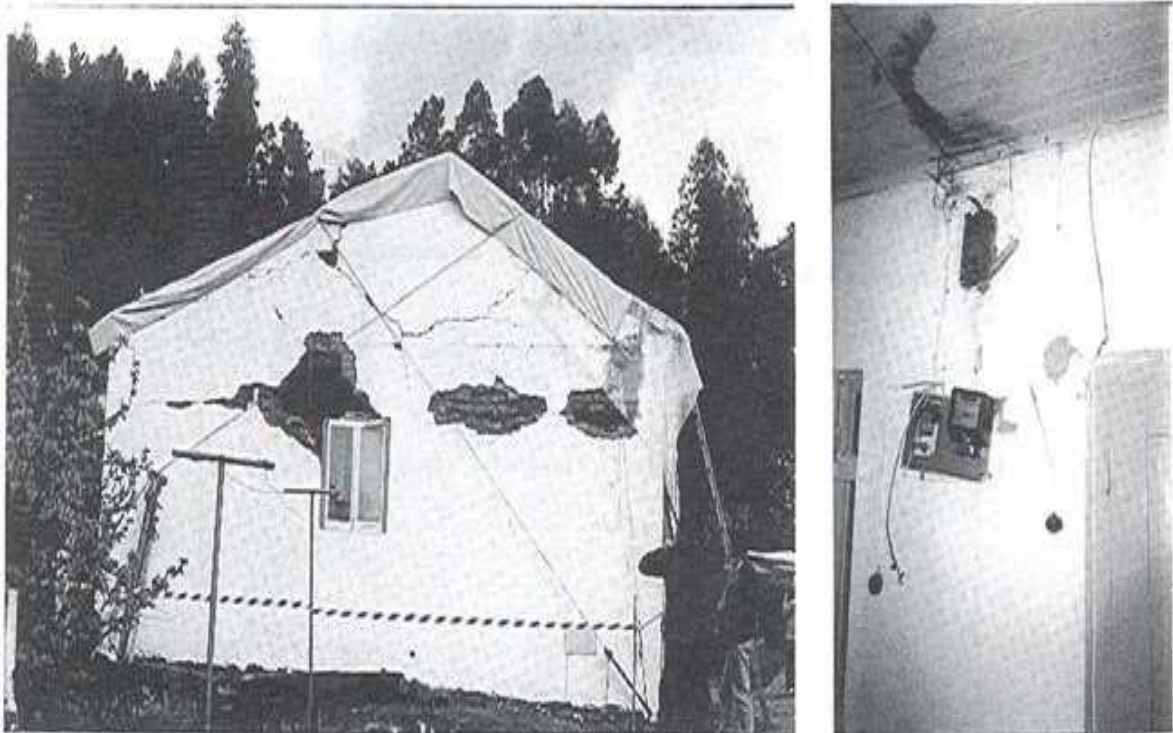


Figura. 5: Daños causados por un rayo que impactó en la antena Tv

#### **d.1.8 Los impactos de rayo directos son mortales para el ser humano.**

Cuando el rayo impacta en un punto, genera varios efectos debido a la desproporcionada y devastadora energía transferida. Los fenómenos repercutidos serán de diferente gravedad en función de la intensidad de la descarga.

##### **d.1.8.1 Fenómenos repercutidos:**

1. Ópticos.
2. Acústicos.
3. Electroquímicos.
4. Térmicos.
5. Electrodinámicos.
6. Electromagnéticos.

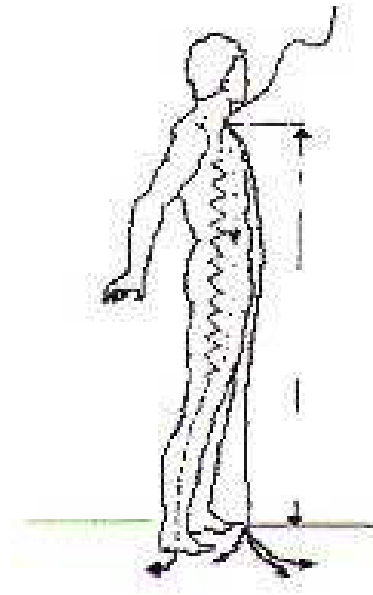


Figura. 6: Muerte por impacto directo

Los impactos de rayos indirectos son muy peligrosos, generan fuertes tensiones de paso. La distancia y potencial de la descarga generará diferentes efectos que afectará directamente al cuerpo humano.

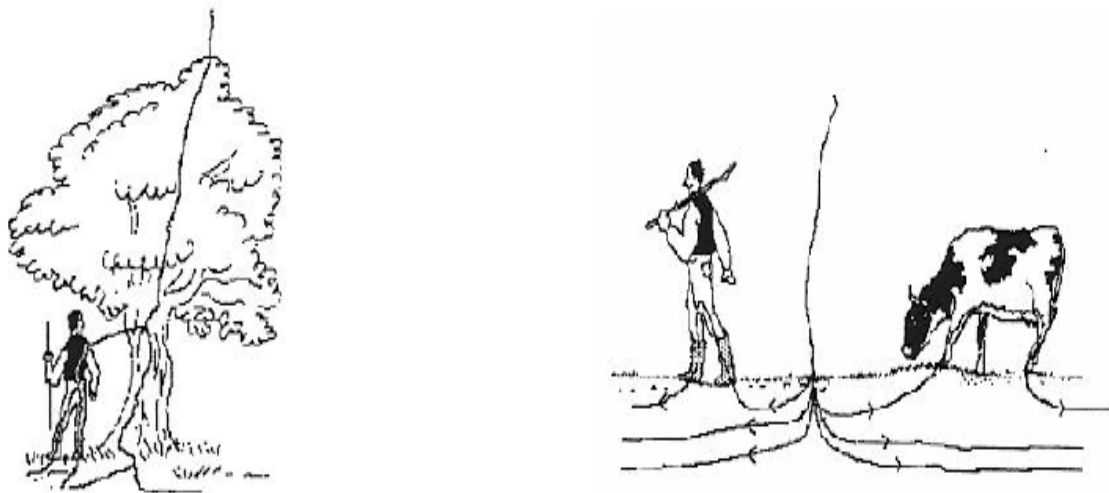


Figura. 7: Tensión de paso por impacto indirecto

Resumimos los diferentes efectos físicos que pueden ocasionar a las personas, si nos encontramos dentro de un radio de acción inferior a 120 metros del impacto.

#### **d.1.8.2 Efectos físicos:**

1. Quemaduras en la piel.
2. Rotura del tímpano.
3. Lesiones en la retina.
4. Caída al suelo por onda expansiva.
5. Caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera.
6. Lesiones pulmonares y lesiones óseas.
7. Estrés post-traumático
8. Muerte por:
  - a. Paro cardiaco.
  - b. Paro respiratorio.
  - c. Lesiones cerebrales.

(Rodríguez, 2008)

## **d.2 CAPÍTULO II. PARARRAYOS**

Un pararrayos es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando el aire para excitar, llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a las personas o construcciones.

Este artilugio fue inventado en 1753 por Benjamín Franklin.

Este primer pararrayos se conoce como "pararrayos Franklin", en homenaje a su inventor.



Figura. 8: Un rayo golpeando el pararrayos de la Canadian National Tower en Toronto.

### **d.2.1 HISTORIA**

En 1747 Benjamín Franklin inició sus experimentos sobre la electricidad; defendió la hipótesis de que las tormentas son un fenómeno eléctrico y propuso un método efectivo para demostrarlo. En 1752 publicó en Londres en su famoso almanaque (Poor Richard's Almanack), una aplicación donde propuso la idea de utilizar varillas de acero en punta, sobre los tejados, para protegerse de la caída de los rayos. Su teoría se ensayó en Inglaterra y Francia antes incluso de que él mismo ejecutara su famoso experimento con una cometa en 1752. Inventó el pararrayos y presentó la llamada teoría del fluido único para explicar los dos tipos de electricidad atmosférica, la positiva y negativa.

A partir de entonces nacen los pararrayos que, contrariamente a lo que indica su nombre, se diseñan para excitar y atraer la descarga para luego conducirla adonde no ocasione daños. La confianza de protección era tan grande en la sociedad, que

inconscientemente, no contemplaban sus riesgos, llegándose incluso a diseñar estéticos paraguas con pararrayos incorporado.

En 1753, el ruso Georg Wilhelm Richmann siguió las investigaciones de B. Franklin para verificar el efecto de protección, pero en su investigación, un impacto de rayo lo fulminó cuando éste fue excitado y atraído por el pararrayos, recibiendo una descarga eléctrica mortal cuando manipulaba parte de la instalación del pararrayos.

En 1919 Nikola Tesla definió correctamente el principio de funcionamiento del pararrayos, rebatiendo las teorías y la técnica de B. Franklin y su patente. Desde entonces, la industria del pararrayos ha evolucionado y se fabrican modelos de distinto diseño, como pararrayos de punta simple, con multipuntas o punta electrónica, pero todos con el mismo principio físico de funcionamiento: ionizar el aire a partir de un campo eléctrico natural generado en el suelo por la tormenta, con el principio de excitar y capturar el rayo en la zona que queremos proteger. Una instalación de pararrayos está compuesta, básicamente de 3 elementos, un electrodo captador (pararrayos), una toma de tierra eléctrica y un cable eléctrico para conducir la corriente del rayo, desde el pararrayos a la toma de tierra.

#### **d.2.2 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO**

Las instalaciones de pararrayos consisten en un mástil metálico (acero inoxidable, aluminio, cobre o acero), con un cabezal captador. El cabezal tiene muchas formas en función de su primer funcionamiento: puede ser en punta, multipuntas, semiesférico o esférico y debe sobresalir por encima de las partes más altas del edificio. El cabezal está unido a una toma de tierra eléctrica por medio un cable de cobre conductor. La toma de tierra se construye mediante picas de metal que hacen las funciones de electrodos en referencia al terreno o mediante placas de metal conductoras también enterradas. En principio, un pararrayos protege una zona teórica de forma cónica con el vértice en el cabezal; el radio de la zona de protección depende del ángulo de apertura de cono y a su vez éste depende de cada tipo de protección. Las instalaciones de pararrayos se regulan en cada país por guías de recomendación o normas.

El objetivo principal de estos sistemas es reducir los daños que puede provocar la caída de un rayo sobre otros elementos. Muchos instrumentos son vulnerables a las descargas

eléctricas, sobre todo en el sector de las telecomunicaciones, electromecánicas, automatización de procesos y servicios, cuando hay tormenta con actividad eléctrica de rayos.

Casi todos los equipos incluyen tecnologías electrónicas sensibles a las perturbaciones electromagnéticas y variaciones bruscas de la corriente.

La fuente más importante de radiación electromagnética es la descarga del rayo en un elemento metálico, o en su caso en un pararrayos. Las instalaciones de pararrayos generan pulsos electromagnéticos de gran potencia cuando funcionan.

### **d.2.3 Pararrayos tipo Franklin**

Son barras elaboradas en acero inoxidable no magnético de alta resistencia mecánica. Su longitud es ajustable a los requerimientos del cliente.

La base para fijación es horizontal o vertical y con rosca para tubería.

Son la parte más esencial de los sistemas de apantallamiento contra rayos y son aptos para soportar la caída de rayos sin deteriorarse, son durables bajo las más exigentes condiciones de intemperie, sin afectar la estética de las edificaciones que protegen

#### **d.2.3.1 Beneficios logrados**

-Un impacto estético agradable con un elemento ineludible de protección para la edificación.

-Alta resistencia mecánica y a la corrosión

-Fabricadas con materiales aceptados por las normas internacionales.

Correctamente instalado un sistema de pararrayos tipo franklin puede brindar un ángulo de protección aproximadamente de 45 a 60 grados. Estadísticamente se ha comprobado que su campo de protección se debe calcular aproximadamente con un radio igual a su altura.

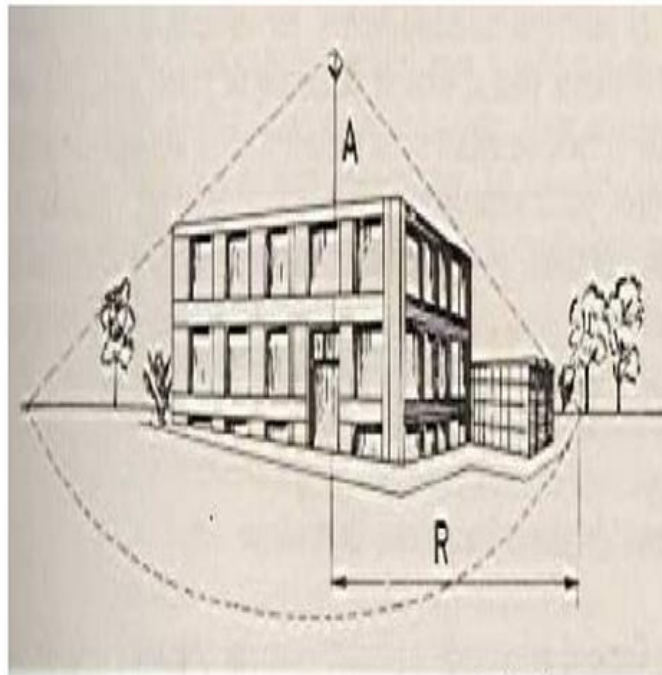


Figura. 9: Cono de protección

#### **d.2.4 OTROS TIPOS DE PARARRAYOS**

##### **d.2.4.1 Pararrayos desionizador de carga electrostática (PDCE)**

A partir del 2002 se desarrolla y patenta el pararrayos desionizador de carga electrostática. Algunos autores aseguran que gracias a su diseño anula el campo eléctrico en las estructuras, inhibiendo por tanto la formación del rayo en la zona que se protege al adelantarse al proceso de formación del rayo, para debilitar el campo eléctrico presente, en débiles corrientes que se fugan a la toma de tierra evitando posibles impactos de rayos en las estructuras.

Otros autores afirman que su presencia no constituye una protección distinta a la otorgada por un pararrayos convencional.

Al respecto se ha afirmado que no hay evidencia teórica ni experimental que sustente la posibilidad de impedir la formación del rayo ni de extender la zona de protección más allá de un captor convencional.

#### **d.2.4.2 Pararrayos con dispositivo de cebado**

Un pararrayos con dispositivo de cebado es un pararrayos que incorpora un dispositivo de cebado electrónico (PDC) que garantiza una mayor altura del punto de impacto del rayo, aumentando así, el área de cobertura y facilitando la protección de grandes áreas, simplificando y reduciendo costes de instalación.

Su funcionamiento se basa en el siguiente proceso:

Cuando se dan las condiciones atmosféricas para la formación de nubes con carga eléctrica (cumulonimbus), el gradiente atmosférico aumenta de una forma rápida, creando un campo eléctrico de miles de V/m, entre nube y tierra.

Durante este proceso, el sistema PDC capta y almacena la energía de la atmósfera en su interior.

El cabezal emite un trazador ascendente en forma de impulso de alta frecuencia a partir de la energía almacenada, cuando el control de carga detecta que está próxima la caída de un rayo (valor de tensión cercano al de ruptura del gradiente de la atmósfera).

Mediante el trazador ascendente, se facilita un camino ionizado de baja impedancia para la descarga hacia tierra de la energía almacenada en la nube, a través del conductor bajante de la instalación, neutralizando el potencial de tierra.

(WIKIPEDIA, 2011)

#### **d.2.5 ÍNDICE DE RIESGO**

La norma IPP-1973 referente a la instalación de pararrayos establece el procedimiento para obtener el índice de riesgo que justifica el uso de un pararrayos, el cual se obtiene mediante la suma de la relación:

Índice de riesgo =  $a + b + c$ .

Donde “a” se determina por las coordenadas geográficas del emplazamiento en el mapa Isoceráunico.



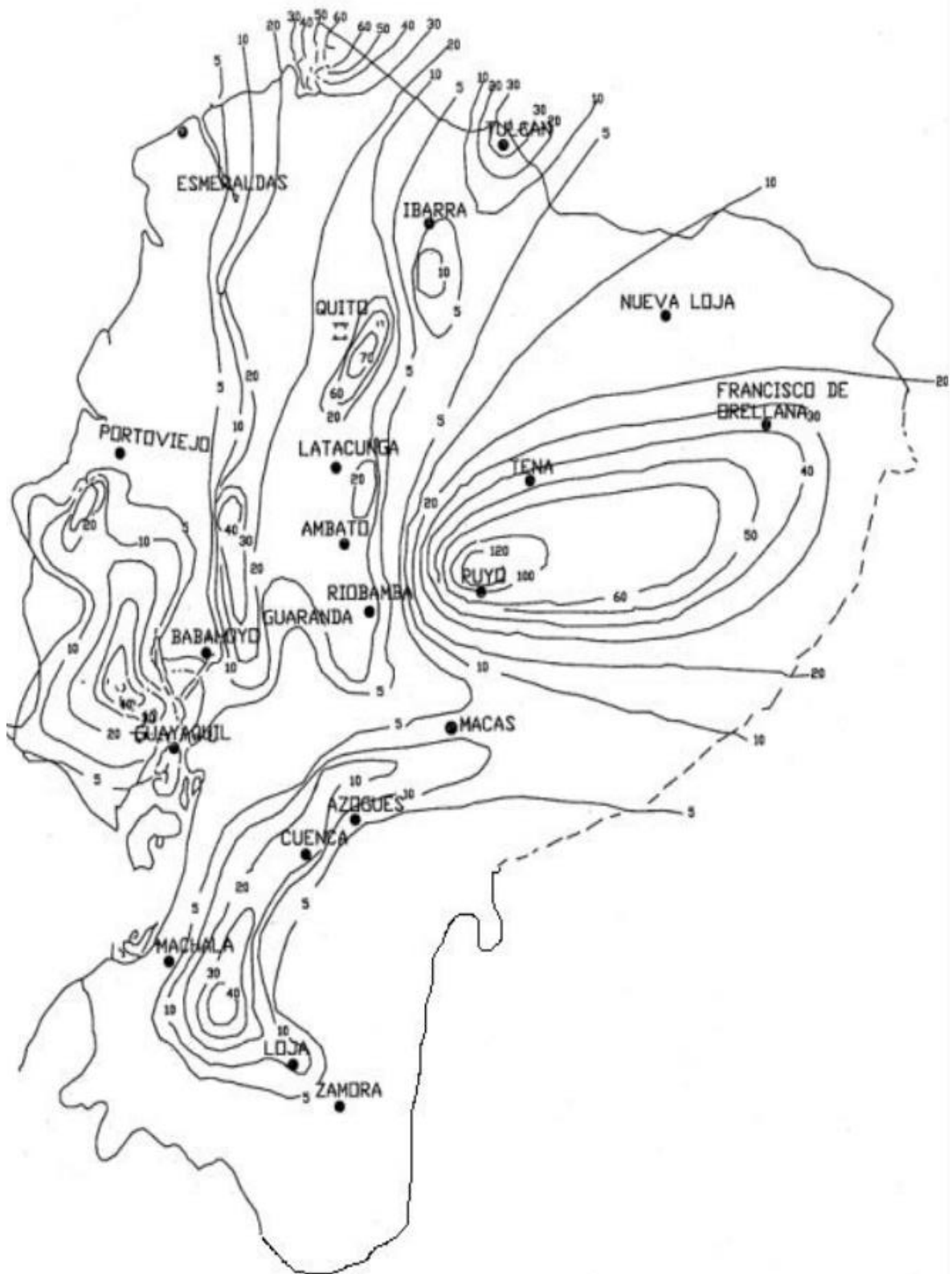


Figura. 10: Mapa Isocerámico del Ecuador

Fuente: [repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1059/1/T-UTC-0743.pdf](http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1059/1/T-UTC-0743.pdf)

El coeficiente “b” se determina según la el tipo de estructura, de cubierta y la altura del edificio, como lo muestra la tabla 1

Tabla.1: Cálculo del índice de riesgo (coeficiente b)

Tipo de Estructura	Tipo de Cubierta	Altura del edificio en metros
		4 9 12 15 18 20 22 24 26 28 30 31 33 34 36 38 39 40 42 43 44
Metálica o de hormigón armado	No metálica	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 ---
	Metálica	3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 ---
Del ladrillo, hormigón en masa o mampostería	No metálica	2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 ---
	Metálica	6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 --- --- --- ---
De madera	No metálica	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 --- --- ---
Cualquiera	De ramaje vegetal	8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 --- --- --- --- ---

Fuente: (Sanchez Franco, 2009)

El coeficiente “c” se determina según las condiciones topográficas, árboles y edificios circundantes y tipo de edificio, como lo muestra la tabla 2.

Tabla.2: Cálculo del índice de riesgo (coeficiente c)

Condiciones Topográficas		Árboles y edificios circundantes		Tipo de edificio		
Terreno	Altitud	Altura respecto del edificio	Número	Vivienda Unifamiliar	Bloques de viviendas u oficinas	Otros Edificios
Llano	Cualquiera	Igual o mayor	Abundante	0	5	8
		Igual o mayor	Escaso	3	8	11
		Menor	Cualquiera	8	13	16
Ondulado	Cualquiera	Igual o mayor	Abundante	4	9	12
		Igual o mayor	Escaso	7	12	15
		Menor	Cualquiera	12	17	20
Montañoso	300 a 900m	Igual o mayor	Abundante	6	11	14
		Igual o mayor	Escaso	9	14	17
		Menor	Cualquiera	14	19	22
	Superior a 900m	Igual o mayor	Abundante	8	13	16
		Igual o mayor	Escaso	11	16	19
		Menor	Cualquier	16	21	24

Fuente: (Sanchez Franco, 2009)

Cuando el índice de riesgo es mayor que 27 entonces se precisa la instalación de pararrayos.

(Sanchez Franco, 2009)

### d.3 CAPÍTULO III. RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad es la propiedad característica de un material que expresa menor o mayor resistencia que este opone a ser atravesado por la corriente eléctrica, en este caso es la resistencia del terreno a ser atravesado por la corriente eléctrica.

La resistividad del terreno ( $\rho$ ), expresada en ( $\Omega\cdot m$ ) equivale a la resistencia de un cubo de terreno, de un metro de arista.

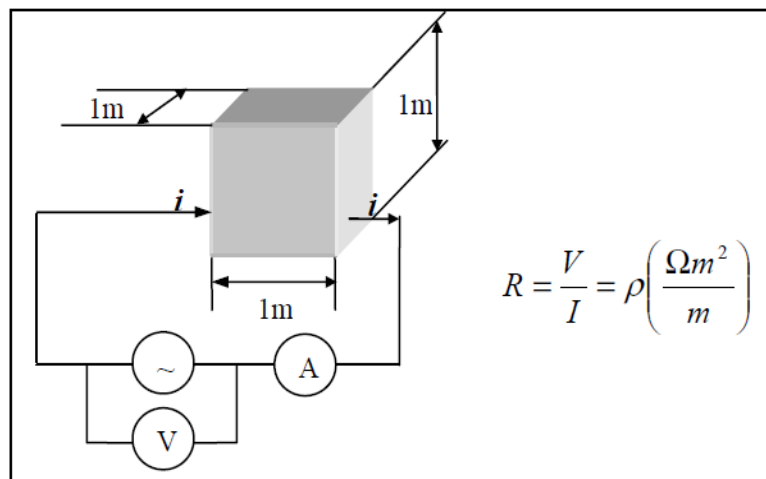


Figura. 11: Representación de la resistividad del terreno

Esta resistividad se la puede calcular según la ecuación (1), donde:  $R$  es la resistencia ( $\Omega$ ),  $A$  la sección transversal ( $m^2$ ) y  $L$  la longitud ( $m$ ).

$$\rho = R \frac{A}{L} = \left( \frac{\Omega m^2}{m} \right) \quad [1]$$

La resistividad de la tierra es el factor clave que determina cuál será la resistencia de un electrodo de toma de tierra, y a que profundidad debe ser enterrada para obtener una resistencia de tierra baja.

La resistividad de la tierra varía ampliamente a través del mundo y cambia con las estaciones.

La resistividad de la tierra es determinada en gran parte por su contenido de electrolitos, que consisten de humedad, minerales y sales disueltas. Una tierra seca posee una alta resistividad si contiene sales no solubles.

Tabla. 3: Resistividad aproximada de algunos terrenos

Tierra	Resistividad (aprox.), $\Omega$ -cm		
	Min.	Promedio	Máx.
Cenizas, cinders, salmuera, desperdicio	590	2,370	7,000
Arcilla, barro, lodo firme	340	4,060	16,300
Mismo anterior, solo con mayor proporción de arena y grava	1,020	15,800	135,000
Grava, arena, piedras con un poco de arcilla o suelo firme	59,000	94,000	458,000

Fuente: (AEMC Instruments, 2003)

### d.3.1 Factores que Afectan la Resistividad del terreno

La resistividad varía según la humedad del terreno, mientras más húmedo sea éste, más baja será la resistividad del terreno y mientras más seco este el terreno, mayor será la resistividad de éste, esto es porque el agua es el mejor disolvente de las sales que hay en la corteza terrestre.

Tabla. 4: Resistividad del terreno según la humedad

Contenido de Humedad % por peso	Resistividad $\Omega$ - cm	
	Suelo-sup.	Suelo firme arenosa
0	>10 <sup>9</sup>	>10 <sup>9</sup>
2.5	250,000	150,000
5	165,000	43,000
10	53,000	18,500
15	19,000	10,500
20	12,000	6,300
30	6,400	4,200

Fuente: (AEMC Instruments, 2003)

La resistividad de la tierra es también influenciada por la temperatura.

La tabla (4) muestra la variación de la resistividad de marga arenosa, conteniendo 15.2% de humedad, con cambios de temperatura desde 20° a -15°C. En esta escala de temperatura la resistividad varía desde 7200 a 330,000 ohmios-centímetros.

Tabla. 5: Resistividad del terreno según la temperatura

Temperatura		Resistividad
C	F	Ohmio-cm
20	68	7,200
10	50	9,900
0	32 (agua)	13,800
0	32 (hielo)	30,000
-5	23	79,000
-15	14	330,000

Fuente: (AEMC Instruments, 2003)

Dado que la resistividad de la tierra está directamente relacionada con el contenido de humedad y la temperatura, es razonable asumir que la resistencia de cualquier sistema de toma de tierra variará a través de las diferentes estaciones del año.

Tales variaciones son mostradas en la tabla (5). Ya que tanto la temperatura como el contenido de humedad se devienen más estables a mayores distancias por debajo de la corteza de la tierra, es coherente que un sistema de toma de tierra, para ser más efectivo siempre, debería ser construido con la barra de tierra enterrada a una distancia considerable por debajo de la corteza de la tierra.

Los mejores resultados son obtenidos si la barra de tierra alcanza la tabla de agua.

En algunas localidades, la resistividad de la tierra es tan alta que una toma de tierra de baja resistencia puede ser obtenida sólo a alto coste y con un sistema de toma de tierra elaborado. En tales situaciones, puede ser económico usar un sistema de barra de tierra de tamaño limitado y para reducir la resistividad de tierra incrementando periódicamente el contenido químico soluble de la tierra.

(AEMC Instruments, 2003)

### **d.3.2 El Telurómetro**

Es un instrumento para la medición de resistividad del terreno o a su vez la resistencia depuesta a tierra.

### d.3.3 Medición de resistividad aparente.

Las técnicas para medir la resistividad aparente del terreno, son esencialmente las mismas que para aplicaciones eléctricas. Para su medición se puede aplicar el método tetraelectródico de Wenner, que es el más utilizado para determinarla.

Cuatro electrodos a la misma distancia y en línea en el área de pruebas. Una corriente conocida desde un generador de corriente constante es pasada por los electrodos de fuera. La caída de potencial (una función de la resistencia) es entonces medida a través de los dos electrodos interiores

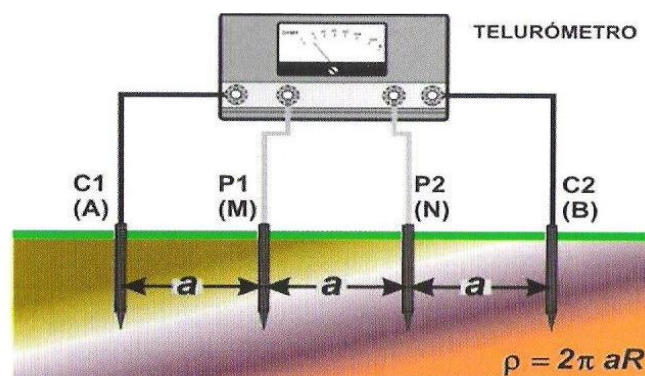


Figura. 12: Configuración para medir resistividad método Wenner

## d.4 CAPÍTULO IV. PUESTA A TIERRA

La puesta a tierra es una unión de todos los elementos metálicos que mediante cables de sección suficiente entre las partes de una instalación y un conjunto de electrodos, permite la desviación de corrientes de falla o de las descargas de tipo atmosférico, y consigue que no se pueda dar una diferencia de potencial peligrosa en los edificios, instalaciones y superficie próxima al terreno.

### d.4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PUESTAS A TIERRA.

Por lo general las normas internacionales dividen a las puestas a tierras en diferentes clases siguientes:

#### d.4.1.1 PUESTA A TIERRA DE FUNCIONAMIENTO U OPERACIÓN

Partiendo de la base que es necesario establecer una conexión a tierra en determinados puntos de una instalación eléctrica con el fin de mejorar el funcionamiento, una mayor

seguridad o una mejor regularidad de operación. Estos puntos del sistema por conectar a tierra puede ser por ejemplo la conexión a tierra de los neutros de los generadores de los transformadores en los devanados conectados en estrella, la conexión a tierra de los pararrayos de los hilos de guarda, de los transformadores de potencial y algunos otros. Es decir que cuando existe un desbalance en las corrientes de cada una de las fases entonces la corriente resultante tiene que retornar por alguna parte y lo hace por el neutro el mismo que está puesto sólidamente, o mediante una impedancia a tierra, cual nos sirve para estabilizar el sistema y no exista variaciones de tensión.

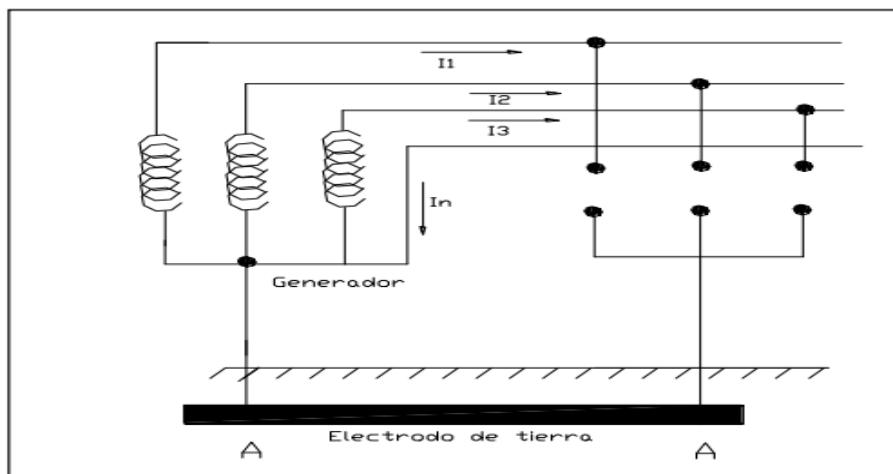


Figura. 13: Puesta a tierra de operación

#### **d.4.1.2 PUESTA A TIERRA PARA PROTECCIÓN**

Este tipo de puesta a tierra parte de la base de que es necesario conectar eléctricamente al suelo todas aquellas partes de las instalaciones eléctricas que no se encuentran a tensión normalmente, pero que pueden tener diferencias de potenciales a causa de fallas accidentales, tales partes pueden ser: los tableros eléctricos, carcasas de las máquinas eléctricas y en todas las estructuras metálicas.

#### **d.4.1.3 PUESTA A TIERRA PARA TRABAJO**

Con frecuencia durante las actividades de trabajo en una instalación eléctrica como son mantenimiento, ampliaciones, reparaciones, etc. Es necesario realizar conexiones a tierra temporales con partes de la instalación puesta fuera de servicio con el fin de que sea accesible sin peligro para los trabajos a realizar.



**d.4.1.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE RAYOS.** Su concepción es proveer un paso de muy baja impedancia a las descargas eléctricas, en especial a los rayos; de modo que se transfieran al suelo y su entorno en forma rápida, sin causar daños a las personas o instalaciones existentes.

Este sistema de puesta a tierra, ha generado los conceptos de “Potencial de toque” y “Potencial de Paso”, en conjunto con el sistema de puesta a tierra de funcionamiento y protección, ya que un rayo es el peor caso de una corriente a tierra.

#### **d.4.2 TIPOS DE TOMAS DE TIERRA**

**d.4.2.1 Toma de tierra Superficial:** Son Varillas, barras o cables enterrados a una profundidad comprendida entre 0.5m y 1m. Cuya resistencia depende del contenido en humedad de las capas superiores del terreno y puede estar dispuesta en forma radial, anular (bucle) o mallada.

- La toma de tierra Radial debe poseer igual números de divisiones, el ángulo entre los dos radios contiguos, no debe ser menor a 60 grados, debido a que menores distancias no es recomendado por la interferencia mutua.
- También puede constituirse un excelente electrodo de toma de tierra un conductor que se cierra sobre sí mismo para formar un bucle rectangular, circular.
- La red mallada de conductores enterrados es la más común, esta se compone de cable de cobre, desnudo de 50 mm<sup>2</sup> de sección (como mínimo), enterrado a una profundidad de 0.4 a 1 m o hasta que encuentre conductores de 2 a 6 m. La longitud del mayor lado de la superficie enmallada, no debe sobrepasar los 20m.

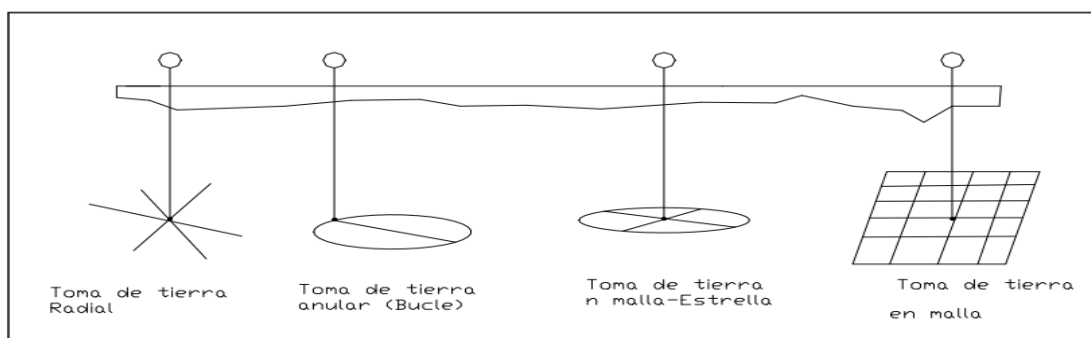


Figura. 14: Tomas de tierra

**d.4.2.2 Tomas de tierra Verticales:** Son picas clavadas en el terreno verticalmente a una profundidad no menor a los 2 m, es posible alcanzar mayores profundidades, empalmando una a continuación de otra, lo que requerirá de andamios para el clavado.

Las tomas verticales se realizan a partir de tubos, varillas, barras u otros perfiles de acero, la longitud y el número necesario de estas dependen de la resistencia de tierra deseada.

Sin embargo, para mantener dentro de los límites aceptables la influencia eléctrica que mutuamente puedan ejercer dos electrodos contiguos es recomendable mantener una separación mínima a dos veces la longitud del electrodo y en electrodos de plancha o placa, dicha distancia no será menor al triple de la dimensión máxima de la placa (unos 3 m).

Los electrodos de plancha se recomiendan solamente cuando la resistividad del suelo es reducida (tierra vegetal) y de profundidad considerable. Estos electrodos se introducen en forma vertical u/o horizontal en la tierra, generalmente se utiliza placas de 0.5 x 1 m; o 1 x 1 m, ya sea de cobre o acero. El canto superior de la tierra, como mínimo.

Se recomienda que los electrodos deban enterrarse en lugares no expuestos a las heladas y que no lleguen a acercarse totalmente, ya que por esta causa la resistencia puede variar notablemente.

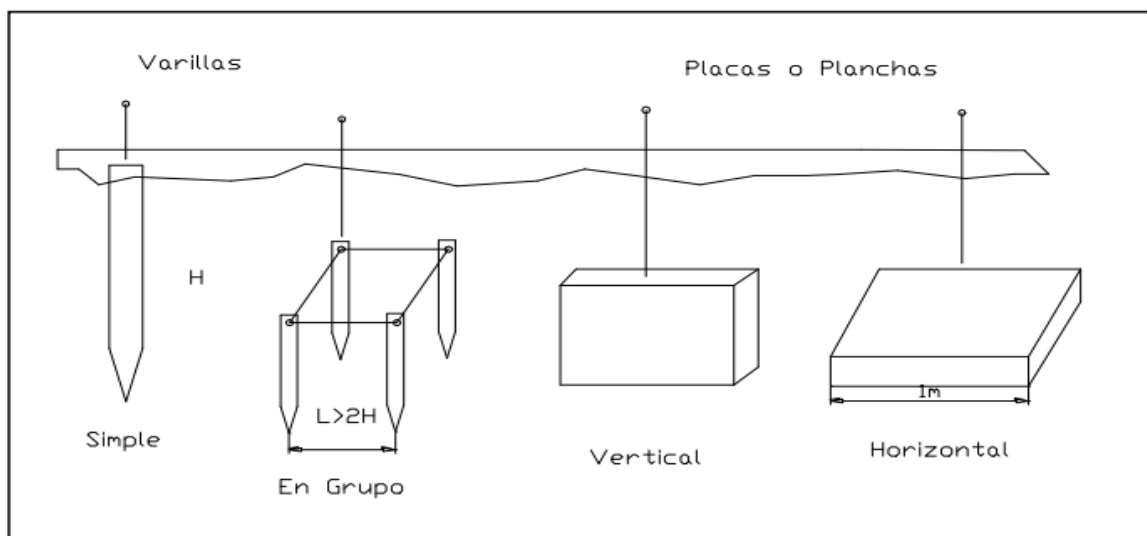


Figura. 15: Tomas de tierra verticales

**d.4.2.3 Tomas de Tierras Naturales:** Son aquellas piezas metálicas en contacto con la tierra o a través del hormigón, cuya finalidad original no era la de una puesta a tierra, pero que se utiliza como tal. Como toma de tierras naturales se puede utilizar:

- Armaduras metálicas de hormigón en el terreno.
- Envoltura metálica de cables de telecomunicaciones subterráneos. Este método de puesta a tierra no es recomendable; si no, como una solución temporal y en todo caso se debe realizar un chequeo y medición para asegurar que existe continuidad.
- Red de tubería metálica de la conducción de agua.
- Otras partes estructurales subterráneas apropiadas tales como columna, piezas metálicas del edificio, etc.

Las tomas de tierras tanto naturales como artificiales pueden ser:

Sencillas: si son constituidas por un solo electrodo.

Múltiples: Si son realizadas por la unión de más de las dos tomas simples y de diferente tipo.

En la práctica, las formas más comunes de realizar un sistema de puesta a tierra son:

Varilla sencilla, múltiples varillas, malla, combinación malla varilla. La aplicación de uno de estos depende de los criterios adoptados por el proyectista.

En sistemas eléctricos de potencia la composición más usada es una variante del sistema malla, malla-varilla para obtener una resistencia de tierra que se encuentre alrededor de los 5 ohmios.

Por lo tanto, las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar las corrientes de falla con suficiente capacidad.

(Tasipanta, 2002)

#### d.4.3 Medición de resistencia de puesta a tierra.

La resistencia de puesta a tierra debe ser medida antes de la puesta en funcionamiento de un sistema eléctrico, como parte de la rutina de mantenimiento o excepcionalmente como parte de la verificación de un sistema de puesta a tierra. Para su medición se puede aplicar la técnica de Caída de Potencial.

- Es el método más preciso pero está limitado por el hecho que la tierra probada es una sola unidad. Este método es aplicable sólo cuando los tres electrodos están en línea recta. (AEMC Instruments, 2003)

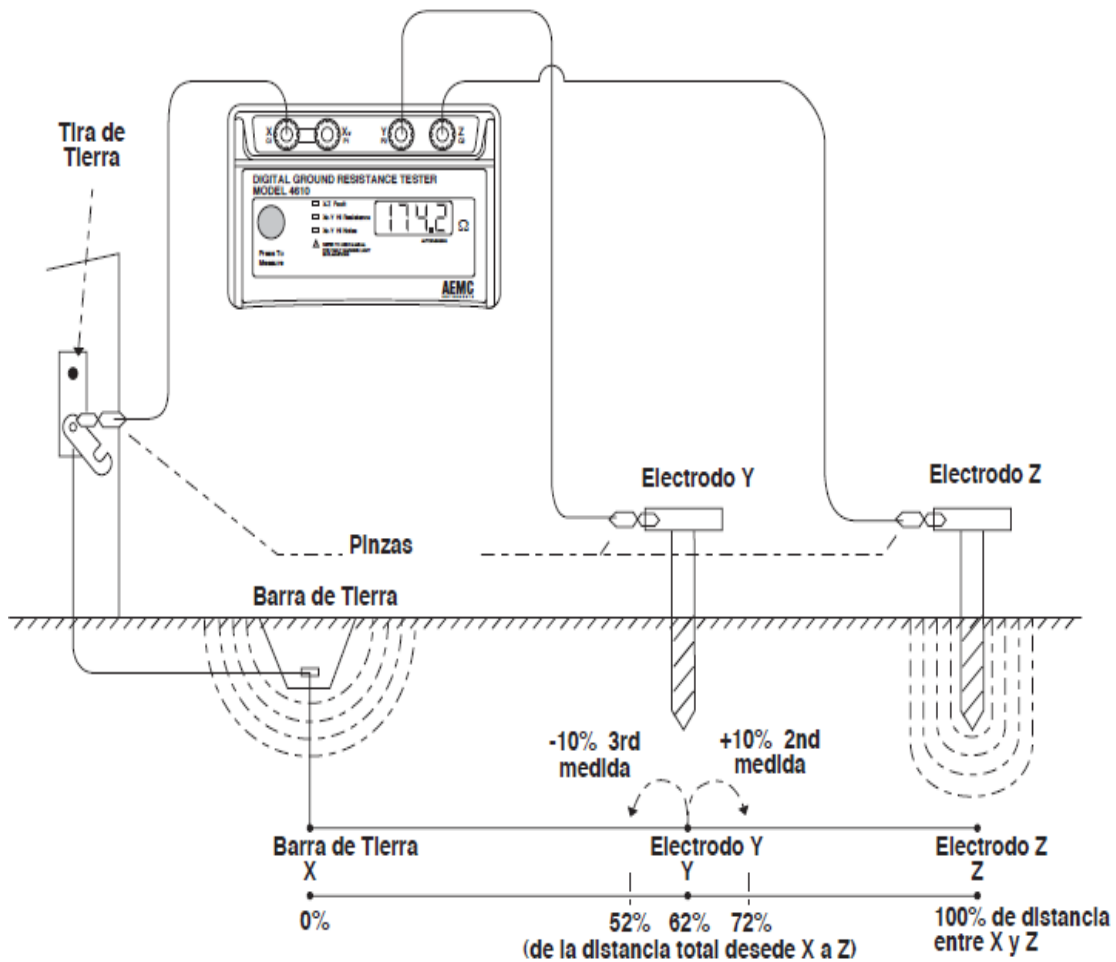


Figura. 16: Configuración para medir la resistencia de puesta a tierra método Caída de potencial

## d.5 CAPÍTULO V. TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO

### d.5.1 Tensión de paso

Es la diferencia de potencial entre dos puntos de un terreno que pueden ser tocados simultáneamente por una persona; su valor permisible está dado por:

$$E_p = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{t}} \quad [ 2 ]$$

Dónde:

$E_p$  = Tensión de Paso Permisible en voltios.

$\rho_s$  = Resistividad de la superficie del terreno en ( $\Omega$ -m)

$t$  = Duración máxima de falla en segundos

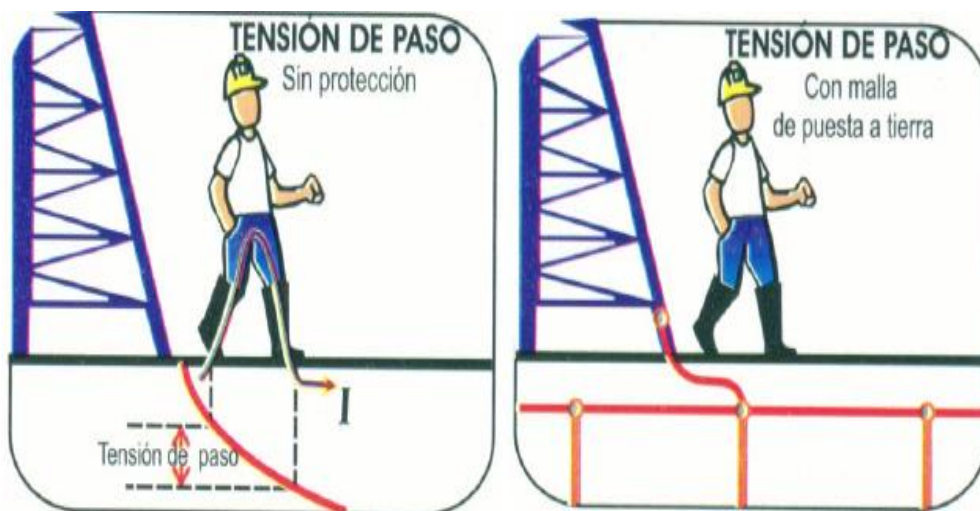


Figura. 17: Tensión de paso

### d.5.2 Tensión de contacto

Es la diferencia de potencial entre un punto en la superficie del terreno y cualquier otro punto que se pueda ser tocado simultáneamente por una persona; su valor permisible está dado por:

$$E_t = \frac{165 + 0.25\rho_s}{\sqrt{t}} \quad [3]$$

En donde:

$E_t$  = Tensión de contacto permisible en voltios.

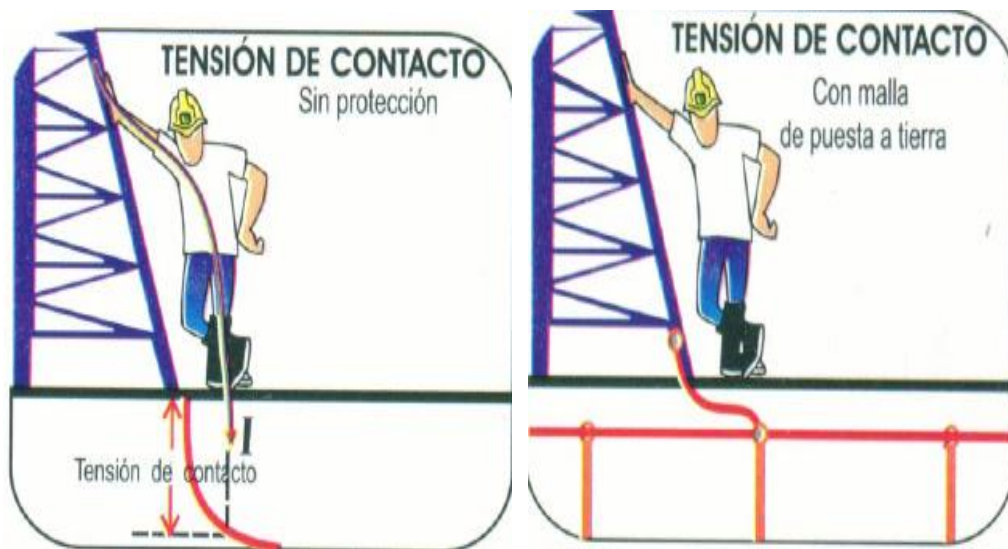


Figura. 18: Tensión de contacto

### d.5.3 LIMITES DE TENSIONES PELIGROSAS

Las tensiones límites peligrosas definidas por la IEEE Std. 80–2000 se dan para distintos pesos (50 y 70 kg) de la persona sometida a peligro, aplicándose distintas fórmulas.

Las figuras 17 y 18 muestran la diferencia entre tensiones de paso y de contacto cuando la instalación tiene protección de puesta a tierra y cuando carece de ella.

La IEEE Std.80–2000 determina las tensiones límites de paso y de contacto considerando influencia de la resistividad de la capa superficial del terreno, que

incrementa las condiciones de seguridad (aumentando la resistencia total del cuerpo de la persona sometida al peligro).

Los valores de tensión de paso y de contacto tolerable para una persona de 50kg y 70kg se obtienen utilizando las ecuaciones:

Para una persona de 50kg:

$$V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0.116}{\sqrt{t_c}} \quad [V] \quad [4]$$

$$V_{contacto\ tolerable} = \frac{(1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * 0.116}{\sqrt{t_c}} \quad [V] \quad [5]$$

$$V_{paso\ tolerable} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0.157}{\sqrt{t_c}} \quad [V] \quad [6]$$

$$V_{contacto\ tolerable} = \frac{(1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * 0.157}{\sqrt{t_c}} \quad [V] \quad [7]$$

Dónde:

$C_s$  = Coeficiente en función del terreno y la capa superficial

$\rho_s$  = Resistividad aparente de la capa superficial (grava u otro material) [ $\Omega$ -m]

$t_c$  = Tiempo de despeje de la falla [s]

El coeficiente  $C_s$  se calcula con la ecuación [8]

$$C_s = \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0.09} \quad [8]$$

Dónde:

$\rho$  = Resistividad aparente del terreno tomado como un suelo uniforme [ $\Omega$ -m]

$\rho_s$  = Resistividad aparente de la capa superficial (grava u otro material) [ $\Omega$ -m]

$h_s$  = Espesor de la capa superficial entre 0,1 y 0,15 [m]

Si no se tiene prevista una capa superficial de grava, entonces  $\rho_s = \rho$  y  $C_s = 1$

#### d.5.4 Selección del conductor de la Malla

Para calcular la sección del conductor se aplica la siguiente ecuación:

$$Ac = I \left( \frac{33t}{\log \left( \frac{Tm - Ta}{234 + Ta} + 1 \right)} \right)^{1/2} \quad [9]$$

En donde:

Ac = Sección del conductor (CM).

I = Corriente máxima de falla (Amp.)

Tm = Temperatura máxima en los nodos de la malla (450°C con soldadura y 250°C con amarre pernado.)

Ta = Temperatura ambiente (°C).

t = Tiempo máximo de despeje de la falla (seg).

#### d.5.5 Cálculo Aproximado de Resistencia de Malla

Para calcular la resistencia de la malla formada por el conductor y las varillas se aplica la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \frac{2L}{d(0.86)} + \left( \ln \frac{4L}{a} \right) - 1 \right) \quad [10]$$

Dónde:

R=Resistencia de la malla ( $\Omega$ )

$\rho$ =Resistividad del terreno ( $\Omega$ -m)

L= Longitud de la varilla (m)

d=Diámetro del círculo en el cual la malla queda circunscrita (m)

a= Diámetro de la varilla (mm)

(ASDRÚBAL HERRERA, y otros, 2003)



## **d.6 CAPÍTULO VI. NORMAS TOMADAS EN CUENTA EN EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- Instalación de Pararrayos, Norma Tecnológica de la Edificación, IPP-1973.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-10. PARTE 9-1. INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJO VOLTAJE.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552-Proteccion Contra Rayos. Principios Generales

### **d.6.1 INSTALACIÓN DE PARARRAYOS IPP-1973**

La norma se aplica en las instalaciones de protección contra el rayo, desde la cabeza o red de captación hasta su conexión a la puesta a tierra del edificio.

Previo al diseño e instalación se necesita conocer las coordinas geográficas, altitud y características topográficas de la zona de ubicación del edificio. Así como la máxima altura de los volúmenes circundantes (edificios) próximos, uso del edificio, características volumétricas y tipo de estructura y de cubierta.

Es importante y necesario para realizar el diseño conocer el índice de riesgo del edificio, según su valor, la norma establece las características de la instalación del pararrayos.

El diseño de la instalación se hará de manera que el edificio quede dentro del volumen protegido por alguno de los sistemas establecidos. Uno de estos es:

**d.6.1.1 Sistema de puntas.** Cada pararrayos cubre un cono de eje vertical, con vértice en la cabeza de captación y cuya base tiene un radio igual a la altura de la instalación.

Cuando varios pararrayos estén unidos a distancias inferiores a 20m, el cable de unión actúa como pararrayos continuo. Es adecuado para edificios con predominio de la altura respecto a su superficie en planta. (Sanchez Franco, 2009)

### **d.6.2 NEC-10. PARTE 9-1. Literal 12.1.1 Necesidad de Instalar pararrayos**

El responsable técnico de la instalación deberá seleccionar el tipo de pararrayo más conveniente en cada caso.

La punta de la barra de un pararrayo estará ubicada por lo menos a 1,00 m. por sobre las partes más elevadas de un edificio, torres, tanques, chimeneas y mástiles aislados. En las cumbreras de los tejados, parapetos y bordes de techos horizontales o terrazas, las barras de los pararrayos se colocarán a distancias que no excedan de 20,00 m. entre sí.

Las bajantes del sistema de protección contra rayos deben cumplir los requerimientos de la siguiente tabla:

Tabla. 6: Bajantes del sistema de protección contra rayos

<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA</b>	<b>NÚMERO MÍNIMO DE BAJANTES</b>	<b>CALIBRE MÍNIMO DEL CONDUCTOR DE COBRE</b>
Menor que 28 m	1	2 AWG
Mayor que 28 m	2	1/0 AWG

Fuente: (Comite Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, 2010)

Cada captador o pararrayos tendrá, por lo tanto, al menos una bajante, excepto en los siguientes casos que serán necesarias dos:

- estructuras de altura superior a 28 m.
- la proyección horizontal del edificio es superior a la proyección vertical

El trazado debe ser lo más rectilíneo posible utilizando el camino más corto posible, evitando curvas bruscas o remotes. Los radios de curvatura no serán inferiores a 20 cm.

El bajante debe ser elegido de forma que evite el cruce o proximidad de líneas eléctricas o de señal.

Cuando no sea posible evitar el cruce, la línea debe ubicarse en el interior de un blindaje metálico que se prolongue 1m a cada lado del cruce. Se debe evitar el contorno de cornisas o elevaciones.

Se admite una subida de un máximo de 40 cm para franquear una elevación con una pendiente menor o igual a 45°.

Los bajantes de los pararrayos deben ser conducidos, debidamente protegidos, por sitios de fácil revisión y mantenimiento. Según el criterio y decisión del profesional eléctrico

responsable de la instalación, se podrá utilizar cable de cobre desnudo o cable con aislamiento no menor a 15 KV. (Comite Ejecutivo del Codigo Ecuatoriano de la Construcción, 2010)

#### **d.6.3 NTC 4552-Proteccion Contra Rayos. Principios Generales 5.3.3.1 Generalidades**

El SPT es una parte fundamental del sistema de protección contra rayos que contribuye de forma sustancial a la seguridad del personal y de los equipos en caso de la incidencia de un rayo; puesto que provee una equipotencialidad a los equipos y estructuras y ofrece una trayectoria de baja resistencia a la corriente del rayo, permitiendo su dispersión y disipación en el terreno sin causar daño.

Para el diseño de la puesta a tierra de protección contra rayos se debe tener en cuenta:

- La resistividad del suelo
- La agresividad del suelo (pH)
- La estructura física del suelo (rocas, arenas arcillas)
- La forma de interconexión con las otras puestas a tierra y los sistemas de protección contra la corrosión.
- Los efectos adicionales en otros sistemas eléctricos y de comunicaciones.

Una puesta a tierra además de resistencia, presenta capacitancia e inductancia debido a la configuración de la puesta a tierra; cada uno de estos parámetros R,L,C, influyen en la capacidad de conducción de corriente en el suelo; por lo tanto, no se debe pensar solamente en la resistencia de puesta a tierra sino en una impedancia. Por ejemplo, si se inyecta una onda de impulso de corriente al suelo, similar a la resultante de un rayo, ésta también sufre la oposición de la reactancia inductiva de las conexiones. En caso de corrientes con componentes de alta frecuencia se debe considerar el efecto capacitivo, principalmente en suelos de alta resistividad porque la capacitancia varía proporcionalmente con el contenido de humedad del suelo.

#### **d.6.3.1 Literal 5.3.3.2 Condiciones de seguridad**

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se debe utilizar un valor del 50 % de probabilidad de ocurrencia para la corriente de rayo.

Con el objetivo de reducir tensiones de paso y de contacto, y para cumplir con lo establecido sobre el tema en el numeral 5.3.2, se deben instalar mínimo dos electrodos de puesta a tierra interconectados separados a una distancia mínima de 2 veces su longitud, para que no se interfieran entre ellos. Para minimizar los efectos que puedan causar diferencias de potencial ocasionadas por impacto de un rayo a las estructuras metálicas, estas deben estar a un mismo potencial mediante un barraje equipotencial y conexiones equipotenciales, al sistema de puesta a tierra general.

#### **d.6.3.2 Literal 5.3.3.3 Valor y medición de la resistencia**

El valor de la resistencia para cada puesta a tierra del sistema de protección contra rayos debe ser siempre menor que  $10\Omega$ , preferiblemente inferior  $1\Omega$ , de tal forma que al pasar la corriente de rayo a tierra las tensiones de paso y contacto producidas sean inferiores a los valores soportados por los seres humanos. La resistencia de puesta a tierra en cada locación debe ser medida con el electrodo de corriente a 40 m o más y el de tensión al 62 % del valor escogido. El valor verdadero se obtiene de la medición al 62 % de la distancia del electrodo de corriente, se requiere que las mediciones a diferentes distancias del electrodo de corriente no difieran en  $\pm 5\%$  del valor al 62 %. Si la resistencia del electrodo de puesta a tierra no cumple con el valor establecido, se recomienda hacer tratamiento del terreno con rellenos alrededor de las varillas y de los conductores de unión con suelos de baja resistividad. No es recomendable el uso de sales, porque en corto tiempo se pierde su efectividad. También se pueden instalar contrapesos máximo a 60 m en diagonal con una varilla en el extremo o colocar varillas adicionales, espaciadas 5 m y conectadas con cable # 2/0 AWG.

#### **d.6.3.3 Literal 5.3.3.6 Materiales**

La PTPR puede construirse con electrodos de varios tipos, como varillas, tubos, mallas y contrapesos. Cuando se requieran electrodos de más de 2,4 m se deben acoplar dos varillas. En cualquier caso se debe cumplir con lo establecido en la Tabla 10, en la NTC 2050 numeral 250-83, ítem c) numeral 2, y en la NTC 2206. Los conductores utilizados en la PTPR deben ser cables desnudos de cobre electrolítico recocido, según la NTC 2187. Cuando van bajo tierra deben estar enterrados mínimo 0,5 m bajo el nivel del terreno o 0,9 m mínimo bajo las vías.

Tabla. 7: Características de los electrodos

Tipo de Electrodo	Materiales	Dimensiones mínimas			
		Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Espesor mm	Recubrimiento μm
Varilla	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			250
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
Cable	Cobre	1,8 para cada hilo	25		
	Cobre estañado	1,8 para cada hilo	25		
Placa	Cobre		20 000	1,5	
	Acero inoxidable		20 000	6	

Fuente: (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2004)

(Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2004)

## e. MATERIALES Y MÉTODOS

### e.1 Materiales

Los materiales para el avance de cada una las fases del proceso investigativo, están descritos a continuación.

- ✓ **Materiales de oficina.**
  - ✓ Computadora.
  - ✓ Impresora.
  - ✓ Hojas de papel bond
  - ✓ Calculadora.

- ✓ Lápiz
- ✓ Borrador
  
- ✓ **Material tecnológico.**
  - Software:
    - ✓ Microsoft Word.
    - ✓ Microsoft Excel.
    - ✓ Power Point.
    - ✓ Auto Cad.
  
  - Equipos de Medición:
    - ✓ Telurómetro AECM 4620. Este instrumento fue utilizado en la fase de verificación de resistividad del terreno. El Telurómetro Modelo 4620 realiza mediciones de resistencia de puesta a tierra y ensayos de resistividad de suelos. Estos instrumentos miden desde 0 hasta 2000 $\Omega$  y son del tipo auto-rango, es decir que en forma automática buscan la mejor escala de medición para el ensayo a realizar. Muy sencillo de utilizar: conecte los cables, oprima el botón test y lea los resultados. Indica estado de batería baja, fuera de escala, cables de ensayo cortocircuitados e invertidos. Sobre el panel frontal dispone de tres LED indicadores que advierten al operador acerca de problemas en la medición para así asegurar que la prueba se realiza de manera precisa y confiable. El instrumento está protegido por fusible para >250Vca contra una eventual conexión a circuitos energizados. Si se produjese una falla en el sistema el equipo puede resistir impulsos de hasta 3000Vca o 1000Vcc. La robusta carcasa de protección es estanca al polvo y al agua cuando está cerrada. A su vez el instrumento está contenido en una caja interior que le brinda protección adicional ante agentes externos aumentando el aislamiento de protección (construcción de doble pared). El botón de operación es además estanco. El Modelo 4620 se alimenta mediante ocho baterías Alkaline tamaño C. El Telurómetro Modelo 4620 es instrumento robusto, sencillo de utilizar, lo que lo convierte en el equipo

ideal para las cuadrillas de mantenimiento que deban realizar numerosas pruebas. Cumplen con exceso los ensayos previstos por las normas IEC en cuanto a resistencia mecánica y sus especificaciones de seguridad ante golpes, vibraciones y caídas. Están diseñados para rechazar ruidos eléctricos y perturbaciones, de manera que trabajan sin perder precisión aún en presencia de niveles importantes de corrientes erráticas.



Figura. 19: Telurometro AECM 4620

- ✓ Telurometro TES-1700 Digital Earth Tester. Este artefacto se utilizó en la última etapa para comprobar la resistencia de puesta a tierra. Entre otras cosas esta herramienta tiene las siguientes funcionalidades:
  - Capaz de medir tensión de tierra.
  - Mantener el dato, la función MAX / MIN.
  - Función de apagado automático:  
El temporizador funciona automáticamente cerca de 3 minutos cuando la "Prueba de interruptor de botón" se presionan para mantener el poder en el probador.
  - Permite realizar comprobaciones de medición de resistencia de tierra sin disparar los interruptores de corriente de fuga a tierra en el circuito bajo prueba.
  - Además de las instalaciones de medición de precisión, cables de prueba para simplificar el sistema de medición de dos hilos

también se suministra como accesorio estándar (unidad puede ser colgado del cuello para la medición simplificada).

- Aviso automático cuando la resistencia de tierra auxiliar Spikes es superior a la tolerancia.
- Diseñado para cumplir con IEC1010-1 estándar de seguridad.



Figura. 20: Teluometro TES-1700 Digital Earth Tester

## e.2 Métodos

- **Método analítico:** Con apoyo de este método se consiguió investigar las diferentes técnicas y procedimientos vinculados con el presente proyecto, permitiendo de esta manera detallar y diferenciar sus partes constituyentes y su función, entonces de esta forma tener una idea clara y acertada de cómo está compuesto un sistema de protección contra descargas atmosféricas mediante un pararrayos tipo franklin.
- **Método sintético:** Canalizados los varios elementos del sistema de protección contra descargas atmosféricas, se recurre a la síntesis de información para conseguir una idea precisa para la parte de implementación del sistema.
- **Método experimental:** Apegándose a este método se pudo conseguir información referente al funcionamiento in situ del sistema, su posterior evaluación, funcionamiento rendimiento y mantenimiento.



- **Método inductivo:** Con este método se facilitó plantear conclusiones del funcionamiento total del sistema y de cada uno de los componentes, apoyados en datos e información real obtenidos de la fase experimental.
- **Método deductivo:** Se utilizó para el dimensionamiento, selección e implementación de los distintos elementos ya que se arrancó desde ideas globales del posible funcionamiento, hasta llegar a cada una de las partes que conformarán al sistema.

El proceso metodológico del proyecto se desarrolló partiendo desde la interrogante de ¿cuáles son las unidades de análisis más importantes?, las mismas que se resumen a continuación.

- ✓ Sistemas de Pararrayos.
- ✓ Pararrayos Franklin
- ✓ Pararrayos desionizador de carga electrostática (PDCE)
- ✓ Pararrayos con dispositivo de cebado.
- ✓ Puesta a tierra
- ✓ Fuentes bibliográficas y de consulta sobre estudios similares o pertinentes al tema.

Luego se determinó cuáles son los problemas posibles de la investigación, los cuales se resumen en la siguiente lista.

- ✓ La inexistencia de un estudio de factibilidad sobre la implementación de un sistema de pararrayos en el sector de investigación.
- ✓ La falta del diseño de un sistema de pararrayos que brinde la información pertinente a nuestro tema de estudio.
- ✓ La escasa información técnica sobre los equipos de sistema de pararrayos.
- ✓ Los medios para poder analizar y concluir sobre la eficacia y rendimiento del sistema.

Conocidas las unidades de análisis y los posibles problemas, se trabajó sistemáticamente con la siguiente metodología:

- ✓ Revisión general del estado del arte sobre sistemas de pararrayos en la Universidad Nacional de Loja.
- ✓ Organización de la información adquirida.
- ✓ Medición de resistividad del terreno.
- ✓ Deducción de cuál es el sistema adecuado de protección contra descargas atmosféricas.
- ✓ Esquematación y caracterización de todos los componentes del sistema basado en el objeto a proteger.
- ✓ Dimensionamiento de los componentes.
- ✓ Búsqueda de componentes y adquisición de los mismos.
- ✓ Adecuación del lugar de emplazamiento.
- ✓ Planificación de ensamblaje del equipo.
- ✓ Pruebas funcionales del sistema.
- ✓ Análisis general de posibles fallas existentes en el sistema instalado.
- ✓ Planificación de conexión y acoplamiento con el sistema puesta a tierra
- ✓ Análisis operacional y de rendimiento del sistema.
- ✓ Caracterización general del nuevo sistema.
- ✓ Socialización de los resultados obtenidos.

El proceso metodológico detallado anteriormente está basado en los métodos científicos de orden teórico práctico, como la observación sistemática; mediante medición, entrevista, deducción, análisis y síntesis entre otros, esto debido a los múltiples campos que implica el presente estudio

## **f. RESULTADOS OBTENIDOS**

### **f.1 Descripción de la zona de instalación y requerimiento del sistema.**

El sistema de protección contra descargas atmosféricas se instaló en la denominada torre 1 de la estación base de la radio universitaria 98.5 MHz.

La torre se encuentra en la parte trasera contigua a la edificación de la Carrera de Comunicación Social del Área de la Educación, el Arte y la Comunicación de la

Universidad Nacional de Loja, en un sector exclusivo y estratégico desde donde se realizan los radio-enlaces con el cerro Huachichambo. El sitio de emplazamiento fue seleccionado y peticionado por las autoridades del A.E.A.C., obviamente por carecer de un sistema de protección contra descargas atmosféricas.

La torre de tensores a ser intervenida es triangular 0.34m x 3 (ancho), consta de dos tramos de 5.5m cada uno respectivamente teniendo una longitud total de 11m de altura.



Figura.21: Torre a ser intervenida

## f.2 Cálculo del índice de riesgo

Como obviamente la torre se encuentra ubicada en la Ciudad de Loja, donde según el mapa Isoceraúnico el índice  $a=10$ .

Según la tabla 1.

Tipo de estructura = cualquiera,

Tipo de cubierta = Ramaje y vegetal,

Altura del edificio = 11 metros.

Coefficiente  $b = 10$ .

Con la tabla 2.

Terreno Ondulado,

Altitud Cualquiera,

Árboles y Edificios Circundantes a igual o mayor altura, numero Escaso,

Tipo de edificio Otros.

Coefficiente  $c= 15$ .

Entonces Índice de Riesgo= $a+b+c=35$

En conclusión como el índice de riesgo es mayor que 27 entonces se precisa la instalación del sistema pararrayos.

f.2 Bosquejo del sistema de pararrayos a ser implementado

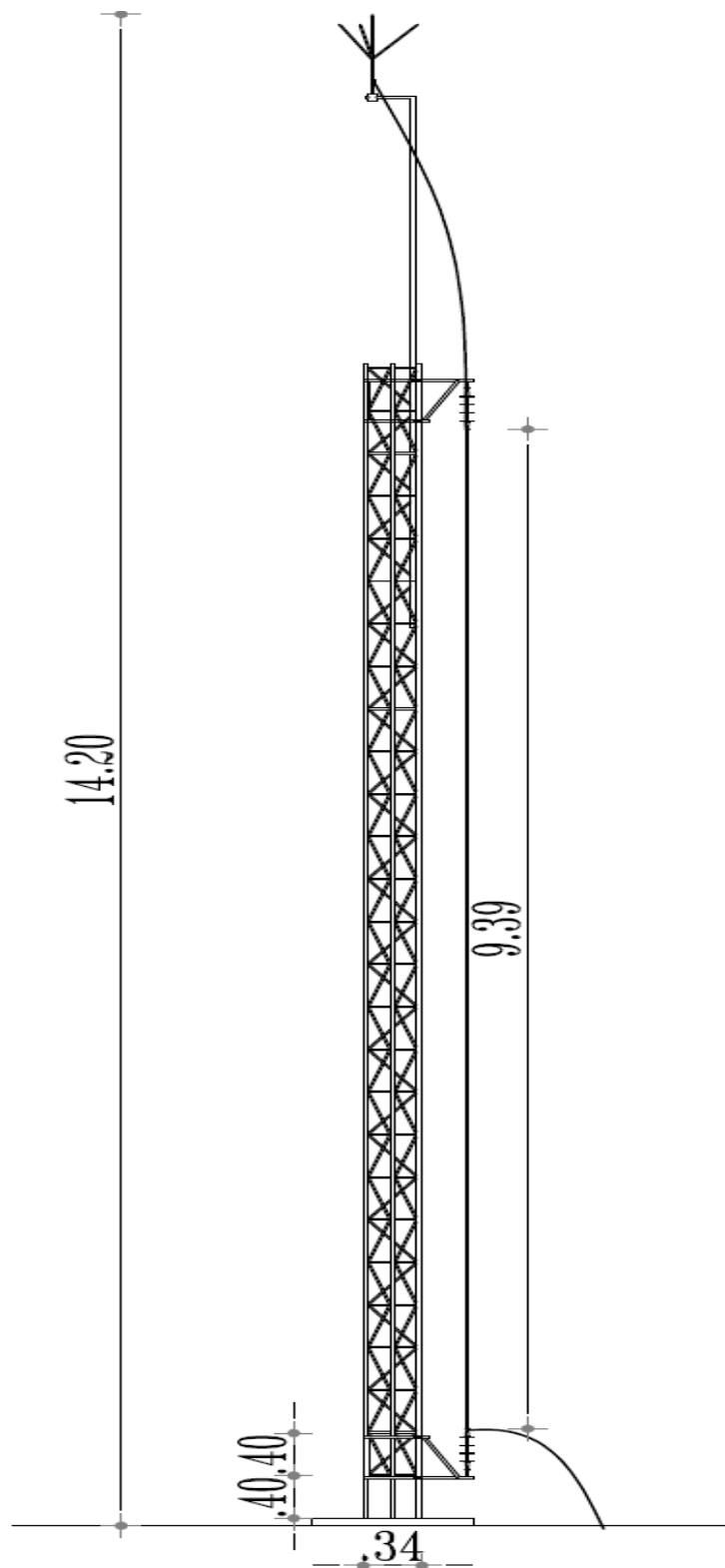


Figura. 22: Bosquejo del sistema de pararrayos

### f.3 Dimensionamiento y selección de los componentes.

#### f.3.1 Elección del pararrayos

Como ya se ha mencionado anteriormente en nuestro particular caso, la protección que se va a brindar es exclusivamente a la torre 1 y por ende a todos sus artilugios que en esta existen, y de una u otra manera a los equipos que se interconectan desde la estación base a la torre.

Por esta razón se elige el pararrayos tetrapuntual franklin, el mismo que brindara una protección cónica. Teniendo como vértice el punto más alto del pararrayos y cuya generatriz formara un ángulo de  $45^\circ$  con relación al vértice.

Se dejara en consideración los dos conos de cobertura: el mínimo que es de  $45^\circ$  y a su vez el máximo que es de  $60^\circ$

La torre con 11m + 2.5m de mástil del pararrayos y + 70cm de pararrayos tenemos un total de 14.20m de altura.

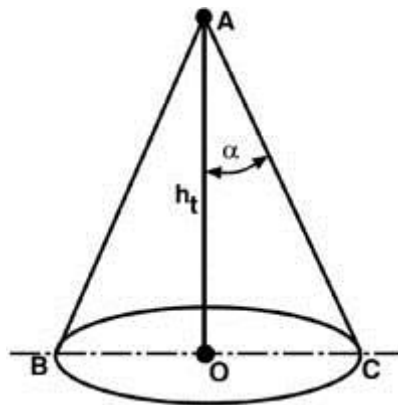


Figura. 23: Cono de protección

Datos:

Altura total de la torre ( $h_t$ )= 14.20

Angulo de protección ( $\alpha$ )= $45^\circ$

Entonces:

Ley de ángulos internos:

$$O+A+C=180 \rightarrow 90+45+45=180$$

$$C=45^\circ$$

Encontramos el lado opuesto a ht

$$\tan C = \frac{ht}{O}$$

$$O = \frac{ht}{\tan C}$$

$$O = \frac{14.20}{\tan 45}$$

$$O = 14.20m$$

Tendremos un radio de cobertura de 14.20m en forma cónica

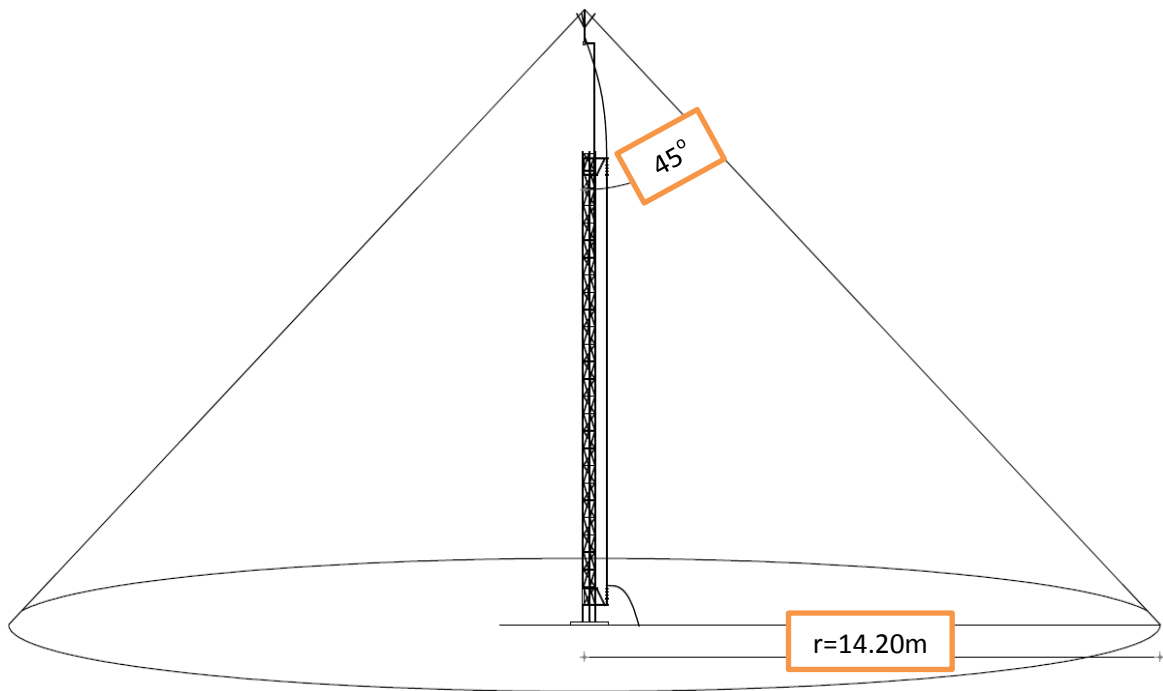


Figura. 24: Cono de protección con ángulo de 45°

Caso #2

Datos:

Altura total de la torre (ht)= 14.20

Angulo de protección ( $\alpha$ )=60°

Entonces:

Ley de ángulos internos:

$$O+A+C=180 \rightarrow 90+60+30=180$$

$$C=30^\circ$$

Encontramos el lado opuesto a ht

$$\tan C = \frac{ht}{O}$$

$$O = \frac{ht}{\tan C}$$

$$O = \frac{14.20}{\tan 30}$$

$$O = 24.5m$$

Tendremos un radio de cobertura de 24.5m en forma cónica.



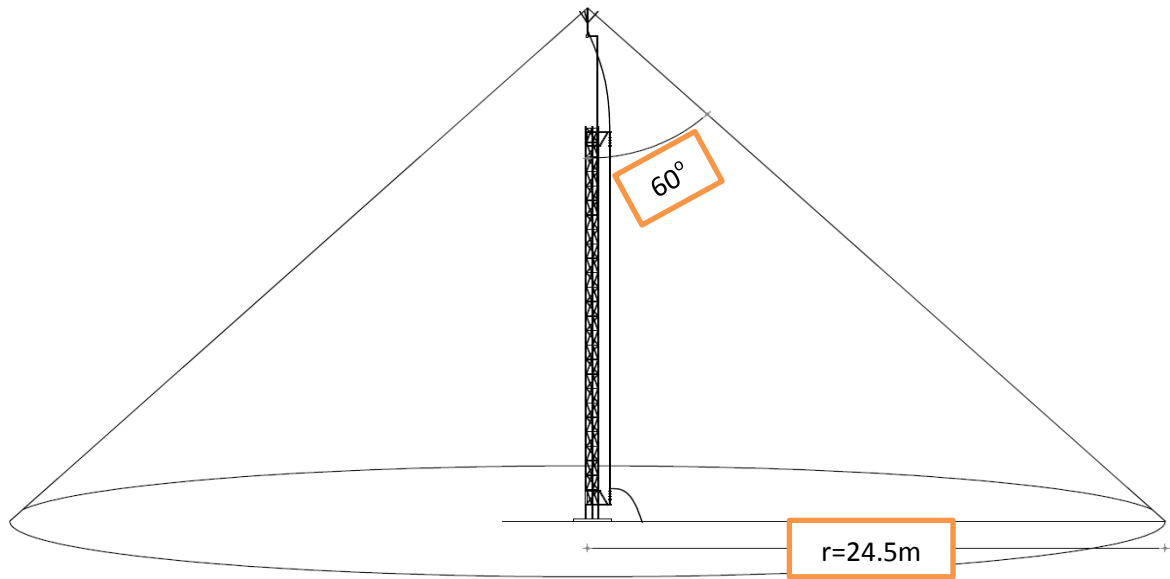


Figura. 25: Cono de protección con ángulo de 60°



Figura.26: Pararrayos elegido: "PRACA" Franklin Tetrapuntual

El Pararrayos es elaborado en Cobre Electrolítico N° 110 (ETP), según Normas "ASTM B-187", a partir de una barra de 1/2" para la base y punta.

Tres barras de 3/8" para las puntas ubicadas en un ángulo de 45° con respecto a la central y repartidas cada 120°.

Estos Pararrayos, tienen la capacidad de brindar una Protección Atmosférica del tipo

puntual, ofreciendo mayor robustez, un porcentaje superior en el ángulo de cobertura, que la punta Franklin convencional.

### **f.3.2 Selección del conductor bajante**

En consecuencia a la norma NEC-10 parte 9-1 literal 12.1.1 Necesidad de Instalar pararrayos. Menciona si la estructura a proteger tiene una altura menor a 28m se recomienda usar una bajante de cobre calibre 2 AWG. Por esta razón se utiliza dicho conductor en la implementación del sistema.

#### **Cable de cobre desnudo de 7 hilos**

La principal razón para utilizar el cobre es su excelente conductividad eléctrica o, en otras palabras, su baja resistencia eléctrica. La resistencia es indeseable, pues produce pérdidas de calor cuando el flujo eléctrico circula a través del material. El cobre tiene la resistencia eléctrica más baja de todos los metales no preciosos.

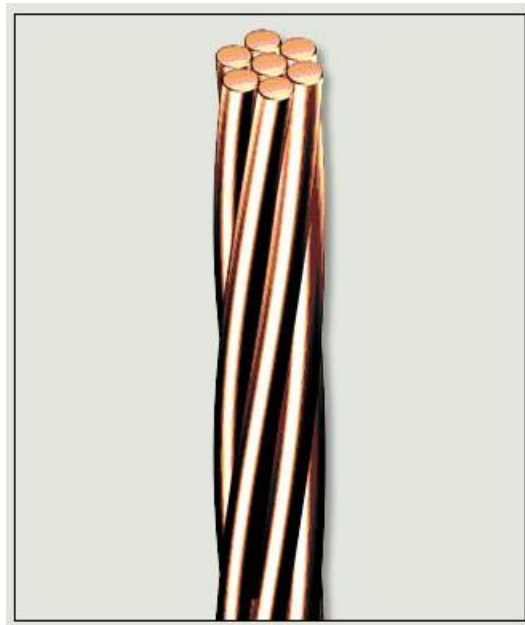


Figura. 27: Cable de cobre de 7 hilos

Tabla. 8. Características del cable de cobre

Designación	Conductor de Cobre # 2 AWG	
Código	2000165	
<b>Norma</b>	Unidad	Pedido
		ASTM B1, ASTM B8
<b>Características Constructivas</b>		
Material	Alambre de cobre duro	
<b>Características Dimensionales</b>		
Calibre	# 2 AWG	
Sección	mm <sup>2</sup>	33.63
Diametro	mm	7.42
Nº de alambres	7	
Diametro de alambres de cobre	mm	2.47
<b>Características Mecánicas</b>		
Peso alambre	Kg/m	0.0436
Peso Conductor	Kg/m	0.3049
Densidad a 20°C	g/cm <sup>3</sup>	8.89
<b>Características Eléctricas</b>		
Resistencia Eléctrica C.C. 20 °C	Ω/km	0.522

Fuente: <http://www.edenorte.com.do/-fichas-/CONDUCTORES%20Y%20CABLES/2000165--CONDUCTOR%20DESNUDO%20DE%20COBRE%202%20AWG.pdf>

### f.3.3 Selección de la toma de puesta a tierra

Según NTC 4552. Literal 5.3.3.2

Asumiendo:

$$I=10000$$

$$t=0.5\text{seg}$$

$$T_m=250^\circ\text{C y } T_a=20^\circ\text{C}$$

Utilizamos la ecuación [9], entonces tenemos que:

$$A_c = I \left( \frac{33t}{\log \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)} \right)^{1/2}$$

$$Ac = 10000 \left( \frac{33 * 0.5}{\log \left( \frac{250 - 20}{234 + 20} + 1 \right)} \right)^{1/2}$$

$$Ac = 72214CM$$

$$1 \text{ cm} = 5 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$72214CM = 36.1071 \text{ mm}^2 = A$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{72214}{3.14}} = 3.3901 \text{ mm}$$

$$D = 2r = 6.7803 \text{ mm}$$

El diámetro del conductor de puesta a tierra es  $6.7803 \text{ mm} = 2 \text{ AWG}$

Trabajamos con una resistividad del suelo de  $70 \Omega$  y resistividad de la superficie de  $3500 \Omega$ . Con las ecuaciones [2] y [3] respectivamente

### Tensión de Paso

$$Ep = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$Ep = \frac{165 + 3500}{\sqrt{0.5}} = 5183 \text{ v}$$

### Tensión de contacto

$$Et = \frac{165 + 0.25\rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$Et = \frac{165 + (0.25 * 3500)}{\sqrt{0.5}} = 1470 \text{ v}$$

Para la puesta a tierra utilizaremos un conductor conectado a una configuración de cuatro varillas verticales con distancia entre varillas de 5 metros. Longitud de la varilla

L=1.8m. Diámetro del círculo donde el cuadrado queda circunscrito d=7.07m, y diámetro de la varilla a= 16mm.

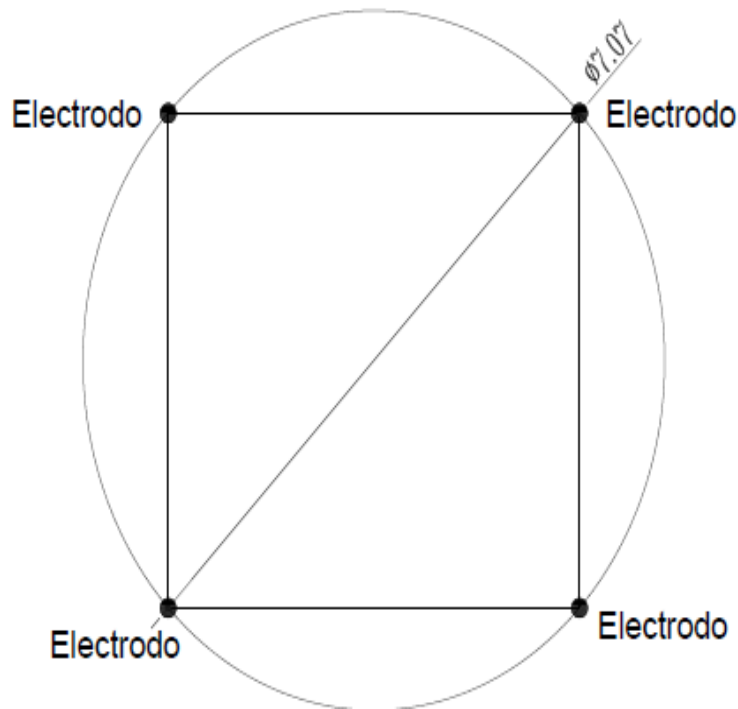


Figura. 28: Configuración de la malla

EL valor aproximado de la resistencia se puede calcular con la ecuación [10]:

$$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \frac{2L}{d(0.86)} + \left( \ln \frac{4L}{a} \right) - 1 \right)$$

$$R = \frac{70}{6\pi * 1.8} \left( \frac{2 * 1.8}{7.07(0.86)} + \left( \ln \frac{41.8}{0.016} \right) - 1 \right)$$

$$R = 11.76\Omega$$

Para conseguir que la resistencia baje a un nivel aceptado por la NTC 4552 se deberá hacer un tratamiento al suelo con cemento conductor por lo que se bajara un aproximado al 10% del valor actual.

Resistividad luego de haber hecho el tratamiento al suelo con cemento conductivo  
 $R=0.05\Omega$

De esta forma se cumple con la norma NTC 4552 literal 5.3.3.3 que recomienda una resistencia máxima de  $10\Omega$

#### f.4 Ensamblaje del Sistema



Figura. 29: Medida de resistividad del terreno



Figura. 30: Dato arrojado por el teluometro AEMC 4620-Resistividad del terreno



Figura. 31: Zanja para enterrar el cable



Figura. 32: Hoyo para la varilla



Figura. 33: Zanjas para la malla y hoyos para las varillas



Fig. 34 Cable de cobre y cemento conductivo





Fig. 35: Colocando cemento conductivo a las varillas copperweld



Figura. 36: Proceso final varilla fusionada con el terreno



Figura. 37: Tendiendo el cable conductor y fijándolo con la varillas copperweld



Figura. 358 Procediendo a conectar el conductor bajante con la malla



Figura. 39: Cubriendo la malla



Figura. 40: Malla recubierta



Figura. 41: Pararrayos y mástil



Figura. 42: Pararrayos ensamblado en su mástil



Figura. 43: Ensamble del pararrayos en la torre



Figura. 44. Tensores del conductor bajante



Figura. 45: Fijando el mástil y tensando el conductor bajante



Figura. 46: Sistema implementado totalmente





Figura. 47: Procediendo a medir la resistencia de puesta a tierra con el Tes1700



Figura. 48: Cables dispuestos en el terreno y comunicados con la malla



Figura. 49: Primera prueba  $0.79\Omega$



Figura. 50: Segunda prueba  $0.06\Omega$



Figura. 51: tercera prueba  $0.05\Omega$

## **g. DISCUSIÓN**

El sistema de Pararrayos implementado, ostenta las características principales de un equipo de protección contra descargas atmosféricas, ya que tiene elementos versátiles que ofrecen garantías constructivas y funcionales, complementándose entre sí como un sistema eficaz.

Cumple de manera satisfactoria los objetivos planteados en el proceso investigativo. Se ha logrado implementar un equipo con tecnología local, lo que reduce significativamente el costo del prototipo, sin dejar de lado el aspecto más importante de este tipo de sistemas de protección que es la versatilidad funcional como sistema.

Hay conformidad con el sistema implementado, ya que todo el este no presenta mayor complicación en el momento de acoplamiento de sus diferentes partes, además, según nuestro criterio, brinda facilidad operacional y seguridad altamente requerida en este caso.

Es así que se puede asegurar que los componentes presentan una eficiencia funcional elevada, tema imperioso en lo que a sistemas de pararrayos se refiere, aunque esto se refleja directamente en el costo de los componentes, vale la pena su adquisición con propósitos de seguridad personal, de equipos, etc.

## **h. CONCLUSIONES**

Una vez finiquitado el presente informe técnico se procede a poner a relucir las siguientes conclusiones.

- Las características particulares de cada uno de los materiales utilizados en el presente proyecto, cumplen favorablemente y cómodamente con la finalidad del trabajo, es decir la “IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN BASE DE LA TORRE 1 DE LA RADIO UNIVERSITARIA 98.5 MHz” se llevó a cabo satisfactoriamente.

- El cono de protección consiste en admitir que la punta de un pararrayos crea una zona de protección de forma cónica, cuyo eje es el pararrayos, su vértice la punta del pararrayos con un ángulo al centro  $\alpha$ , que se asume igual a  $45^\circ$  para estructuras comunes y de  $30^\circ$  para estructuras de riesgo.
- El sistema de pararrayos brinda protección personal y de las instalaciones contra descargas atmosféricas directas.
- Un sistema de pararrayos atrae la descarga para desviarla a tierra, estableciendo un camino fácil para la conducción de las altas corrientes de la descarga con un mínimo valor de resistencia.
- En el sistema de protección contra rayos, el pararrayos debe estar situado por lo menos a un metro de distancia por encima de toda edificación, estructura, antena o algún conductor. De esta manera aseguraremos la mayor probabilidad de que el rayo se impacte en el pararrayos
- Una instalación de puesta a tierra tiene como objetivo conseguir la resistencia más baja posible, para que el sistema sea más seguro y efectivo.
- El cemento conductor en este caso se utilizó “benzoelectric” ayuda a mejorar la conductividad del suelo garantizando valores de resistencia bajos

## **i. RECOMENDACIONES**

- Para que el sistema de pararrayos realice una eficaz protección, la toma a tierra debe tener una resistencia igual o menor a los 5 ohmios
- Realizar por lo menos una vez al año el mantenimiento preventivo general del sistema de pararrayos, visualizando posibles corrosiones o deterioros y controlando la resistencia de todo el sistema de pararrayos.

- No enterrar las varillas copperweld directamente. Antes cavar un hoyo de 1.50m de largo y un radio de 15cm aproximado, luego llenar con cemento conductico y colocar la varilla copperweld.
- Para hacer el hoyo, por comodidad y más exactitud se recomienda utilizar una barrenadora manual.
- Al momento de manipular la punta receptora o pararrayos, hacerlo minuciosamente ya que sus puntas son extremadamente agudas y pueden ocasionar lesiones.
- Para subir a la torre se debe utilizar el adecuado equipo de seguridad como por ejemplo un arnés guantes, etc.
- En el momento de la instalación del sistema tomar en cuenta el factor climático, puede resultar perjudicial ascender a la torre cuando presente vestigios de humedad.
- La toma a tierra del sistema es única y exclusiva para este. No se debe asociar la protección de otros equipos.

## **j. BIBLIOGRAFÍA**

### **j.1 Libros:**

- BLANCA GIMÉNEZ, Vicente. 2005. Edificios Eléctricos. Editorial Universidad Técnica de Valencia.

- SÁNCHEZ FRANCO, Martín. 2009. Instalaciones de Antenas de TV y Pararrayos en la Edificación. Madrid: AMV Ediciones, 2009.

## **j.2 Documentos Digitales:**

- AEMC Instruments. 2003. Entendiendo Pruebas de Resistencia de Tierra. [En línea] 2003. [Citado el: 12 de Mayo de 2012.]  
[http://www.aemc.com/techinfo/techworkbooks/ground\\_resistance\\_testers/950-WKBK-GROUND-SP.pdf](http://www.aemc.com/techinfo/techworkbooks/ground_resistance_testers/950-WKBK-GROUND-SP.pdf)
- Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción. 2010. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-10. [En línea] 2010. [Citado el: 12 de junio de 2012.] <http://www.cicpec.com/pdf/4.%20INST.ELECTROMECC3%81NICAS-1.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2004. Norma Técnica Colombiana NTC-4552. [En línea] 13 de 12 de 2004. [Citado el: 12 de junio de 2012.] <http://destec-corp.com/download/49/>.
- LPI. 2010. Protección contra descargas atmosféricas. [En línea] 2010. [Citado el: 19 de Marzo de 2012.]  
[http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos\\_02\\_03/Proteccion\\_contra\\_descargas\\_atmosfericas/7/7.htm](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_contra_descargas_atmosfericas/7/7.htm).
- MGI. 2005. El Rayo: sus efectos y las medidas de protección. [En línea] 2005. [Citado el: 23 de Septiembre de 2012.]  
[http://www.mgi.com.uy/material/notas\\_de\\_interes/proteccion\\_contra\\_sobrecargas\\_atmosfericas/MATERIAL-EL-RAYO.pdf](http://www.mgi.com.uy/material/notas_de_interes/proteccion_contra_sobrecargas_atmosfericas/MATERIAL-EL-RAYO.pdf).

- Rodríguez, Montes Ángel. 2008. Los efectos del campo eléctrico en nuestro cuerpo. [En línea] 2008. [Citado el: 19 de Marzo de 2012.]  
<http://www.pararrayos.info/pdf/LOS%20EFECTOS%20DEL%20CAMPO%20ELECTRICO%20EN%20NUESTRO%20CUERPO.pdf>.
- Tasipanta, Carlos Raúl. 2002. Estudio E Implementación De Sistemas De Protección Contra Descargas Atmosféricas Y Puesta A Tierra De Protección De La Compania “Helmerich And Payne Del Rig 132”. [En línea] Julio de 2002. [Citado el: 10 de Octubre de 2012.]  
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>.
- ASDRÚBAL HERRERA, Jhon y CASTRO HERNANDES, Omar. 2003. Calculo de la Malla de Puesta a Tierra de Una Subestación. [En línea] Octubre de 2003. [Citado el: 17 de noviembre de 2012.]  
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7403>

### **j.3 Sitios Web**

- WIKIPEDIA. 2011. Pararrayos. [En línea] 2011. [Citado el: 10 de marzo de 2012.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Pararrayos>.
- —. 2011. Tormenta Eléctrica. [En línea] 2011. [Citado el: 19 de Marzo de 2012.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Tormenta>.
- PARARRAYOS.2011 MANUAL DE PUESTAS A TIERRA THOR-GEL. [En línea] 2012. [Citado el: 10 de Abril de 2012.]  
<http://www.pararrayos.com/datos/gel20061.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Electrificación 2006. Mapa Isocerámico del Ecuador. [En línea] 2006. [Citado el: 20 de Mayo de 2012.]

<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1059/1/T-UTC-0743.pdf>

- LPD S.A. 2009. Puntas Franklin. [En línea] 2009 [Citado el: 19 de Marzo de 2012.] <http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/Generalidades.pdf>



## k. ANEXOS

### Anexo.1 Cotización de Materiales Utilizados en la Implementación

DESCRIPCIÓN	VALOR	CANTIDAD	TOTAL
Pararrayos Punta de Franklin de 4 puntas	400.00	1	400.00
Aisladores Eléctricos Poliméricos	24.00	2	48.00
Conductor de Cobre Desnudo #2	4.50	40 m	180.00
Varillas de Copperweld de 1.80m x 16mm con Conector	8.00	4	32.00
Fundas de Cemento Conductivo	12.00	5	60.00
Tubo HG Galvanizado ¾	12.00	1	12.00
Abrazaderas tipo U ¾	1.50	3	4.50
Conectores Copperweld	3.00	4	12.00
Aislador eléctrico Cerámico	5.00	1	5.00
Pieza para templar el conductor	40	1	40.00
Total			793.50

### Anexo.2 Accesorios complementarios del sistema de pararrayos

#### VARILLAS COPPERWELD

Las varillas copperweld de 5/8 (16mm) de diámetro nominal y 1.80 metros de longitud. Son las más comunes a emplearse en sistemas de descargas a tierra. Constan de un núcleo de acero al carbono SAE 1010/1020 trefilado con revestimiento de cobre electro brillante libre de imperfecciones, con un grado de pureza mayor al 95% y sin trazas de zinc. Revestimiento de cobre obtenido mediante electro deposito anódico consiguiendo una película de 0.254mm. La resistencia de tracción es mayor a 50Kgf/mm<sup>2</sup> y soporta un doblado de 60 grados sin dar muestras de fisuras o desprendimientos de la capa de cobre.



## **CONECTOR COPPERWELD**

Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados. Y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.). Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, deben ser del tipo apropiado.



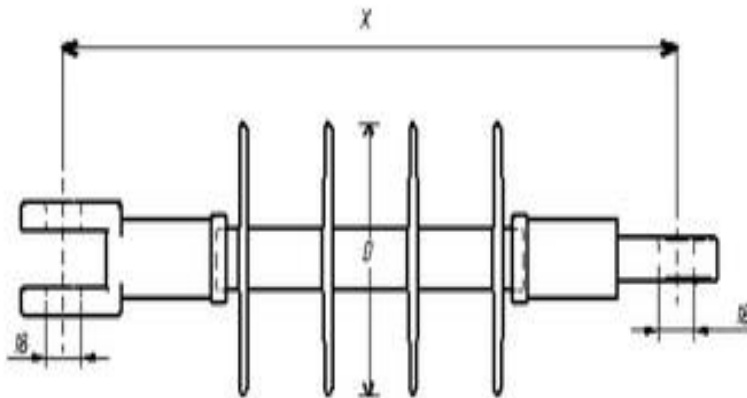
## **AISLADORES ELÉCTRICOS POLIMÉRICOS**

Tienen una gran capacidad de trabajo, cuentan con muy buena impermeabilidad y una capacidad para flotar en el agua, además una gran resistencia a la polución, funcionando muy bien en lugares donde existe mucha contaminación.

Estos aisladores son generalmente pequeños y ligeros, tienen una estructura muy funcional y de fácil uso, cómodos para cargar e instalar.



**POLIMERICO 15 KV**



**CARACTERÍSTICAS**

ELECTRICAS					DIMENSIONES		MECANICAS		Peso (Kg)
Tensión Nominal (kV)	Distancia de arco (mm)	Distancia de fuga (mm)	Flameo en seco (kV)	Flameo en húmedo (kV)	X (mm)	D (mm)	Carga Ruptura Minima(KN)	Carga Ensayo Rutina(KN)	
15	200	420	90	65	315	90	70	35	1



## **AISLADOR ELÉCTRICO CERÁMICO TIPO ROLLO**



Los aisladores cumplen la función de sujetar mecánicamente el conductor manteniéndolo aislado de tierra y de otros conductores.

Deben soportar la carga mecánica que el conductor transmite a la torre a través de ellos.

Deben aislar eléctricamente el conductor de la torre, soportando la tensión en condiciones normales y anormales, y sobretensiones hasta las máximas previstas (que los estudios de coordinación del aislamiento definen con cierta probabilidad de ocurrencia).

La tensión debe ser soportada tanto por el material aislante propiamente dicho, como por su superficie y el aire que rodea al aislador.

Surge la importancia del diseño, de la geometría para que en particular no se presenten en el cuerpo del aislador campos intensos que inicien una crisis del sólido aislante.

## **TUVO GALVANIZADO DE 1 PULGADA**



Son derivados de lámina galvanizada cortada y doblada; que después se suelda para formar un perfil redondo.

Tienen varias aplicaciones en la industria, en el caso del presente proyecto se lo empleará como soporte del pararrayos Franklin

### **ABRAZADERAS TIPO U**

Las abrazaderas en forma de U servirán para fijar el tubo galvanizado en la torre.



### **PIEZA PARA TEMPLAR EL CONDUCTOR**

Es una pieza que se construyó para tensar el cable conductor de cobre, esta se monta en la torre.



### **Anexo.3 Características del cemento conductor BENZOELECTRIC**

Es un cemento de relleno que mejora la conductividad de los suelos en sistemas la puesta a tierra.

- Proporciona un camino de desviación a tierra de descargas atmosféricas transitorias y de sobretensiones del sistema

- Sirve de continuidad de pantalla en los sistemas de distribución de líneas telefónicas, antenas y cables coaxiales
- Posee baja resistividad, es un fuerte electrolito
- No es corrosivo
- Se compacta y adhiere fácilmente
- No es toxico

