



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA
TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL

TEMA:

**“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA LAS
SALAS DE COMPUTO DE LA FACULTAD TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO”**

AUTORES:

HERRERA SALERNO DIEGO ANTONIO
HOLGUÍN GOVEA ERIK MITCHELL
JORDÁN LEÓN MIGUEL ÁNGEL
SALTOS ALMEIDA FRANK RAFAEL
TORRES LEÓN JORGE ANDRÉS

DIRECTOR DE TESIS:

ING. PEDRO TUTIVÉN LÓPEZ

ECUADOR 2010



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE ECDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del título de
INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA
Con mención en Gestión Empresarial

TEMA:

“Estudio, Diseño e Implementación de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas para las Salas de Cómputo de la Facultad Técnica Para el Desarrollo”

AUTORES:

HERRERA SALERNO DIEGO ANTONIO
HOLGUÍN GOVEA ERIK MITCHELL
JORDÁN LEÓN MIGUEL ÁNGEL
SALTOS ALMEIDA FRANK RAFAEL
TORRES LEÓN JORGE ANDRÉS

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico el presente trabajo fue revisado por los siguientes docentes:

Decano

Director de Carrera

Director de Tesis

Vocal Principal

Vocal Principal

Secretario

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Director la presente Tesis el Ing. Pedro Tutivén López por su dirección, técnica y formativa, su dedicación, seguimiento y constante estímulo.

Gracias de forma especial al Decano de la Facultad Técnica el Ing. Héctor Cedeño por su colaboración durante la etapa de pre elaboración de la tesis.

Deseamos agradecer la contribución a los profesores de la Facultad Técnica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, quienes nos han aportado sus conocimientos teóricos y prácticos.

No queremos dejar pasar la oportunidad para agradecer a Dios y a nuestros padres, puesto que sin su apoyo no hubiésemos logrado cumplir con los objetivos que nos planteamos al inicio de este proyecto de estudio e implementación.

Nuestro sincero agradecimiento al Ing. William Velásquez, por su muy valioso aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Destacamos su disponibilidad y paciencia que hizo que nuestras discusiones redundaran beneficiosamente tanto a nuestro nivel científico como personal. No cabe duda que su participación enriqueció el trabajo realizado y, además ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis sobre todas las cosas a Dios por haberme guiado en todo momento hasta ahora, estando conmigo a cada paso que doy dándome fortaleza para continuar. A mis padres quienes han sido ejemplo, motivación e inspiración para mí, pero sobre todo un pilar fundamental de la persona que soy ahora, ya que a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mí. A todas aquellas personas son parte de mi vida que, de alguna forma, son partícipes de mis sueños. A compañeros de tesis, ya que, este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo, el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A mis profesores que gracias a su paciencia y enseñanza les debo gran parte de mis conocimientos. Y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual nos abrió sus puertas para prepararnos a un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Diego Antonio Herrera Salerno

Me gustaría dedicar esta Tesis a toda mi familia.

Para mis padres Segundo y María Narcisa, por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

Para mi esposa María Susana, a ella especialmente le dedico esta Tesis. Por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, por ser tal y como es,... porque la quiero. Es la persona que más directamente ha sufrido las consecuencias del trabajo realizado. Realmente ella me llena por dentro para conseguir un equilibrio que me permita dar el máximo de mí. Nunca le podré estar suficientemente agradecido.

Para mi hija, Isabella Madeline. Su nacimiento ha coincidido con el final de la Tesis. Ella es lo mejor que me ha pasado, y ha venido a este mundo para darme el último empujón para terminar el trabajo. Es sin duda mi referencia para el presente y para el futuro.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

Erik Mitchell Holguín Govea

La presente Tesis es dedicada a Dios, quien me dio vida y la fuerza para creer en mí y no desmayar en mis objetivos.

A mi familia, que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera y dar un paso más de triunfo en la vida. A mis padres, hermana y sobrina por su apoyo y confianza. A todos de manera en general por ayudarme a cumplir mis metas como persona y estudiante.

A mi padre por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome y aconsejándome siempre. A mi madre por hacer de mi una mejor persona a través de su enseñanza, amor y cuidado.

Dedicado a todos aquellos actores que hicieron de mi un mejor hijo, un hermano, un tío, un amigo, una mejor persona...

Miguel Ángel Jordán León

Dedico esta tesis a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten. Deseo dedicarle este trabajo de tesis enteramente a mis padres, el Lic. Franklin Saltos quien fue un ejemplo de persona para mí y me dio su apoyo incondicional cada minuto de mi vida, quien me enseñó a crecer como persona y me guio por el mejor camino, la Sra. Amparo Almeida quien con sus consejos y amor me enseñó el mejor significado de la vida, fue ella quien estuvo atrás mío en cada paso que he dado para no caer en todo el trayecto. Mis padres quienes se atrevieron a confiar en mí y me apoyaron con todos los recursos necesarios para poder concluir con mi meta, es un orgullo decir que sin su apoyo este sueño nunca hubiera podido ser posible, sencillamente Uds. son la base de mi vida profesional y toda la vida les estaré agradecido.

A mis hermanas la Ec. Ericka Saltos y Ec. Viviana Saltos que de uno u otra forma estuvieron a mi lado brindándome su apoyo, les agradezco de todo corazón porque Uds. fueron mi inspiración para seguir adelante y cumplir con la más importante de mis metas.

Esta tesis también se la dedico a mi sobrina que amo con todo mi corazón y formó parte de mi vida desde el inicio de mi carrera.

Frank Rafael Saltos Almeida

La carrera universitaria es un camino largo y muy difícil de transitar, es un pasaje de mucho aprendizaje buscando la madurez profesional.

Esta tesis tiene su particular reseña por el esfuerzo y tiempo procurado, aplicando y reforzando los conocimientos adquiridos en un marco de responsabilidad educativa para con la Facultad. Por tal motivo quiero dedicar este esfuerzo a mi Familia por los valores humanos transmitidos.

A mi papá, el Econ. Jorge Torres, la persona que me guió en mis casi cinco años de carrera, quien me dio los recursos y el valor de aprender la importancia de obtener conocimientos mediante el estudio y la preocupación por las experiencias diarias.

A mi mamá, la Lcda. Beatriz León, quien me inculcó el valor de la humildad, que engrandece mi fortaleza interior y me está llevando a una inteligencia profesional íntegra.

Tesis que también quiero dedicar a mi hermana Katy, que aunque no esté físicamente conmigo, espiritualmente siempre estuvo dentro de mí, motivo de mi inspiración y mi ejemplo de lucha.

Por último dedico la presente tesis a una persona que estuvo apoyándome incondicionalmente en casi todo el proceso universitario, mi otra mitad Gaby.

Jorge Andrés Torres León

CAPITULO 1. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	1
1.1. INTRODUCCION A LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	1-2
1.1.1. Las causas y proceso globales del fenómeno rayo.....	3
1.2. EL TIEMPO Y EL ÁNGULO DE CAÍDA DE LA DESCARGA.....	4-6
1.3. EFECTOS DE LOS RAYOS.....	6
1.4. POLARIDAD DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS.....	6-7
1.5. IDEA DE ÁREA PROTEGIDA.....	8
1.6. PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA DESCARGA	
ATMOSFÉRICA.....	8
1.6.1. Múltiples descargas.....	8
1.6.2. Prevención de impacto de un rayo.....	8-11
1.6.3. Sobretensión conducida.....	11-12
1.6.4. Sobretensión inducida.....	12-13
1.6.5. Aumento de potencial de tierra.....	13-14
1.7. NIVEL CERÁUNICO.....	14
1.7.1. Mapa Isoceráunico.....	15-16

CAPÍTULO 2. PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

(RAYOS)	17
2.1. GENERALIDADES	17-18
2.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (Spcr)	19
2.3. TIPOS DE INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN EN RELACIÓN AL VOLUMEN PROTEGER	19-20
2.4. MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	20
2.5. CONO DE PROTECCIÓN	21
2.5.1. Ángulo de Protección	22
2.6. PLAN DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS	22-24

CAPITULO 3. PARARRAYOS.....**25**

3.1. FUONAMIENTO DEL PARARRAYOS	25
3.2. INVENSIÓN DEL PARARRAYOS	25-26
3.3. DEFINICIÓN DEL PARARRAYOS	26
3.4. PARTES PRINCIPALES DEL PARARRAYOS	27
3.5. PRINCIPIO DEL PARARRAYOS	28-29
3.6. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LOS PARARRAYOS	29-31
3.7. CONFIGURACIÓN DEL PARARRAYOS	31-32
3.8. TIPOS DE PARARRAYOS	32
3.9. INSTALACIÓN DEL PARARRAYOS	32-33
3.10. MANTENIMIENTO DEL PARARRAYOS	33

CAPITULO 4. PARARRAYO TIPO DIPOLO.....	34
4.1. GENERALIDADES DEL PARRARAYOS TIPO DIPOLO.....	34-35
4.2. INTRODUCCIÓN AL PARARRAYOS TIPO DIPOLO	36
4.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	37-39
4.4. ARMADO DEL PARARRAYO TIPO DIPOLO.....	40
4.5. MEMORIA DESCRIPTIVA DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE PARARRAYOS DIPOLO EPD.....	41-44
4.6. NORMATIVAS DE LOS PARARRAYOS TRADICIONALES.....	44
4.6.1. NEC-250-02.....	44
4.6.2. NEC-250-2 Bonding.....	45
4.6.3. 250-28 Puente principal.....	45
4.6.4. NOM 001 SEDE 99.....	46
4.6.5. NOM 001 SEDE 99 NEC 250-83.....	46
4.6.6. NOM-022-STPS-1999.....	46-47
 CAPITULO 5. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	 48
5.1. DEFINICIÓN	48 - 49
5.2. NATURALEZA DEL TERRENO.....	50
5.2.1. Humedad.....	50
5.2.2. Temperatura.....	50
5.2.3. Salinidad.....	50
5.2.4. Estratigrafía.....	50

5.2.5. Compactación.....	51
5.2.6. Variaciones Estacionarias.....	51
5.2.7. Sales Solubles.....	51
5.2.8. Composición del Terreno.....	52
5.2.9. Granulometría.....	52
5.2.10. Estado Higrométrico.....	52-53
5.3. RESISTENCIA A TIERRA.....	53
5.3.1. Resistencia del Electrodo de Tierra.....	53-56
5.4. MÉTODO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DEL SUELO.....	57
5.4.1. Método de Wenner.....	57-58
5.4.2. Método de Schlumberger.....	58-59
5.4.3. Método de los 3 Puntos o Triangulación.....	59-61
5.4.4. Medición de la Resistividad de Tierra por el Método de Los 2 Puntos (Utilizado).....	61-62
5.4.5. Medición de la Resistividad de Tierra Utilizando Muestras de Suelo.....	62
5.5. MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CON UN TELURÓMETRO.....	63-64
5.6. RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LAS MEDICIONES.....	64-65
CAPITULO 6. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	66
6.1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO.....	66-69
6.2. DEFINICIÓN DE PUESTA A TIERRA.....	70
6.3. PARTES DE UNA PUESTA A TIERRA.....	70
6.4. DIFERENCIA ENTRE NEUTRO Y TIERRA.....	71

6.5. VARILLAS DE PUESTA A TIERRA COLOCADAS EN LA	
IMPLEMENTACIÓN DEL PARARRAYOS.....	71
6.5.1. Configuración de las Varillas de Tierra.....	72
6.5.2. Tipo de Varilla usada para la Puesta a Tierra.....	72-73
6.6. MEJORAMIENTO DEL TERRENO.....	74
6.6.1. Relleno.....	74
6.6.2. Materiales Especiales de Relleno.....	75-76
6.6.3. Caja de registro.....	76-77
6.7. CONDUTOR O CABLE.....	78
6.8. CONECTORES DE PUESTA A TIERRA.....	78-79
6.9. INSTALACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA.....	79-81
6.9.1. Materiales.....	82-83
6.9.2. Fijación.....	83
6.9.3. Conexiones.....	84
6.9.4. Sistemas de Conductores Bajantes.....	84
6.9.4.1. Construcción de los Conductores Bajantes.....	84-85
6.9.4.2. Curvatura de Conductores.....	85-86
6.10. SISTEMAS DE PROTECCIÓN INTERNO.....	86
6.11. UNIONES EQUIPOTENCIALES CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS	
ATMOSFÉRICAS.....	87
6.12. CONEXIÓN EXOTÉRMICA CADWELD.....	88-94
6.13. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	94-97
6.13.1. Objetivo del mantenimiento del sistema de puesta a tierra.....	94

6.13.2. Inspección del mantenimiento del sistema de puesta a tierra.....	95-96
--	-------

CAPITULO 7. CÁLCULOS REALIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN

DEL PARARRAYOS PARA LAS SALAS DE CÓMPUTO DE

LA FACULTAD TÉCNICA.....97

7.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A

TIERRA.....97

7.1.1. Cálculo de la Resistividad del Terreno – Método de Wenner 4

Electrodos.....97-98

7.1.2. Método de Burgsdorf & Yakobs en base a la Resistividad

Equivalente.....98-99

7.1.3. Fórmula de la resistividad equivalente.....99-101

7.1.4 Cálculo de Sistema Puesta a Tierra en función de la resistividad

equivalente Método de Schwartz (1 Capa).....101-103

CAPITULO 8. PROCESO DEL DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA

A TIERRA PAT CON PROTECCIÓN A DESCARGAS

ATMOSFÉRICAS PARA LAS SALAS DE CÓMPUTO

DE LA FACULTAD TÉCNICA.....104

8.1. SISTEMA INTEGRAL DE PUESTA A TIERRA (SPT).....104

8.2. DISEÑO DE UNA MALLA PUESTA A TIERRA CON PROTECCION	
PARA DESCARGAS ATMOSFERICAS	105
8.2.1. Antecedentes	105
8.2.2. Objetivo	105-106
8.3. NORMAS Y TEOREMAS	106-107
8.4. PREMISAS Y CONSIDERACIONES	108-112
8.5. EQUIPOS PARA MEDICIONES	112
8.5.1. Aplicaciones del Equipo	113-114
8.5.1.1. Medición de resistividad de tierra	114-115
8.6. MÉTODO DE WENNER PARA CÁLCULO DE RESISTIVIDAD	
REALIZADO EN CAMPO	115-116
8.7. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA PAT	116
8.8. MÉTODO DE BURGSDORF & YAKOBS – RESISTIVIDAD	
EQUIVALENTE	116
8.9. MÉTODO DE SCHWARTZ PARA CÁLCULO DE MALLA	117-118
8.10. CARACTERISTICAS DE LA MALLA	118
8.11. DISEÑO DE MALLA PROPUESTA	119-121
8.12. COMENTARIOS	122-123

CONCLUSIONES.....	124-127
RECOMENDACIONES.....	128
PROFORMA DEL PROYECTO.....	129
BIBLIOGRAFIA.....	130
ANEXOS.....	131-147

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1.1. Ejemplo de las Descargas Atmosféricas.....	1
Figura 1.2. Proceso Global de la Radiación Solar y Capas Atmosféricas para Causa del Fenómeno del Rayo.....	3
Figura 1.3. Ángulo de Caída de la Descarga Atmosférica.....	4
Figura 1.4. Diferentes categorías y Polaridades de las Descargas Atmosféricas.....	7
Figura 1.5. (a) Esquema de las Consecuencias producidas por el Impacto de un Rayo en Líneas Aéreas.....	11
Figura 1.5. (b) Ejemplo Gráfico de una Sobretensión Conducida.....	12
Figura 1.6. (a) Ejemplo de la radiación producida por el impacto de un Rayo sobre un objeto cercano.....	12
Figura 1.6. (b) Ejemplo gráfico de una sobretensión inducida.....	13
Figura 1.6.5. (a) Esquema de las consecuencias producidas por el impacto de un rayo al suelo.....	13
Figura 1.6.5. (b) Ejemplo gráfico de un Aumento de Potencial de la tierra.....	14
Figura 1.7. (a) Mapa de la actividad de rayos en el Planeta1.....	15
Figura 1.7. (b) Mapa de la actividad de rayos en el Ecuador.....	16
Figura 1.7. (c) Mapa de la actividad de rayos por Km² por año que impactan a cada región del Planeta.....	16
Figura 2.1. Ejemplo de la Vulnerabilidad a las Descargas Atmosféricas.....	17
Figura 2.2. Sistema de Protección separado del Volumen a Proteger.....	19
Figura 2.3. Sistema de Protección no Aislado del Volumen a Proteger.....	20
Figura 2.4. Cono de Protección, Método para Calcular la Zona Protegida.....	21

Figura 3.1. Experimento que realizó Benjamín Franklin para demostrar que las nubes están cargadas eléctricamente.....	25
Figura 3.2. Partes Principales de la instalación del Pararrayos implementado en la Facultad Técnica para el Desarrollo.....	27
Figura 3.3. Distribución de cargas en el entorno de una nube de tormenta, previo a la caída de un rayo de forma descendente (Nube-Tierra).....	28
Figura 4.1. (b), (c) Pararrayo Tipo Dipolo instalado en la Facultad Técnica para el Desarrollo.....	34
Figura 4.1. (a) Ángulo de Protección del Pararrayos Tipo Dipolo.....	35
Figura 4.1. Pararrayo Tipo Dipolo instalado en la Facultad Técnica para el Desarrollo.....	35
Figura 4.2. Prueba de Laboratorio, Simulación de Descarga Atmosférica en Pararrayos Tipo Dipolo.....	36
Figura 4.3. Modo de acción del Pararrayos Tipo Dipolo durante la formación del Rayo.....	39
Figura 4.4. Partes que conforman la estructura del Pararrayos Tipo Dipolo colocado en la Facultad Técnica.....	40
Figura 4.5. (a) Especificación del Toroide Excitador y el Anillo Equipotencial del Pararrayos Tipo Dipolo.....	42

Figura 4.5. (b) Especificación de las conexiones usadas para la conducción del cable 2/0 AWG del Pararrayos Tipo Dipolo.....	43
Figura 4.5. (c) Especificación de las partes principales que componen el Pararrayos Tipo Dipolo.....	43
Figura 4.5. (d) Seguridad en la instalación del Pararrayos Tipo Dipolo.....	44
Figura 5.1. Instrumento de Medición (Ground Probe GP-1) usado en la prueba de Resistividad del Terreno para la colocación de Malla Tierra del Pararrayos.....	49
Figura 5.2. Ubicación de Electrodos para Medición de Resistividad del Suelo, según Método de Wenner.....	57
Figura 5.3. Ubicación de Electrodos para Medición de Resistividad del Suelo, según Método de Schlumberger.....	59
Figura 5.4 Ubicación de electrodos, según Método de las tres puntas.....	60
Figura 5.5. Ubicación de electrodos para prueba de Resistividad de Suelo para la colocación de la Malla Tierra.....	61
Figura 6.5.2. (a) Varilla Copperweld usada para la implementación en las Salas de Cómputo.....	72
Figura 6.5.3. (a)' Forma como se enterró la Varilla Copperweld.....	72
Figura 6.5.3. (a)'' Excavación de la Zanja para enterrar la Varilla Copperweld en las Salas de Cómputo de la Facultad Técnica.....	73

Figura 6.6.2. Utilización de GEM para mejoramiento del Sistema de Puesta a Tierra	76
Figura 6.6.3. (a) Caja de Registro usada en el sistema de puesta a tierra.....	77
Figura 6.6.3. (b) Características de la Caja de Registro.....	77
Figura 6.8. Conector de Puesta a Tierra del tipo Soldadura Exotérmica en los exteriores de la Sala de Cómputo.....	78
Figura 6.9. (a) Configuración de la Conexión de las Varillas de Puesta a Tierra... 	79
Figura 6.9. (b) Medición de la Resistencia de Tierra con el Telurómetro para el proyecto de Tesis.....	80
Figura 6.9. (c) Imagen capturada del parrarayos montado en las salas de Cómputo de la facultad tècnica.....	80
Figura 6.9. (d) Conector de la Puesta a Tierra implementado en los exteriores de la Sala de Cómputo.....	81
Figura 6.9.2. Disposición de las Abrazaderas y Conductores Bajantes.....	83
Figura 6.9.4.1. Disposición de los Conductores Bajantes.....	85
Figura 6.12. (a) Molde de Grafito capturado durante la implementación del proyecto.....	88
Figura 6.12. (b) Descripción de Partes acerca del Uso del Molde de Grafito para la Soldadura Exotérmica.....	89
Figura 6.12. (c) Pasos a seguir para realizar la Soldadura Exotérmica.....	92
Figura 6.12. (d) Momento de la ignición en el Molde de Grafito.....	93

Figura 6.13. (e) Comparación entre la Soldadura Exotérmica y una Conexión Mecánica.....	94
Fig. 8.4.1. Disposición de los Conductores Bajantes.....	108
Fig. 8.4.2. Colocación de Varilla de 6"x 5/8" Cooperweld.....	109
Fig. 8.4.3. Caja de Registro usada en el sistema de puesta a tierra.....	110
Fig. 8.4.4. Armado de la Torreta de Viento Galvanizada.....	111
Fig. 8.4.5. Instalación del Pararrayo Dipolo Corona.....	112
Fig. 8.5.1. Telurómetro Digital.....	112
Fig. 8.5.2. Diagrama esquemático del método Wenner.....	114
Fig. 8.5.3. Colocación de jabalinas para aplicación de método de Wenner.....	115
Fig. 8.6.1. Modelo de Método de Wenner.....	115
Fig. 8.11.1. Ubicación de Electrodo en el Sistema de Puesta a Tierra.....	119
Figura 8.11.2. Vista en corte transversal de ubicación del cable conductor en el Sistema de Puesta a Tierra (SPT).....	120

ÍNDICE DE FORMULAS

Página

Fórmula 3.1. Para calcular el Valor de Cresta de un Sistema Contra Descargas Atmosféricas	31
Fórmula 5.1. Para comprobación de Resistividad del Suelo, según Método Wenner.....	58
Fórmula 5.2. Ecuación simplificada para Prueba de Resistividad del Terreno, según Método de Wenner – ver Figura 5.5.....	58
Fórmula 5.3. Ecuación para Prueba de Resistividad del Terreno, según Método de Schlumberger.....	53
Fórmula 5.4. Ecuación de Prueba de Resistividad del Terreno, según Método de Tres Puntas.....	60
CAPITULO 7.	
7.1.1. Cálculo de la Resistividad del terreno-Método de Wenner 4 Electrodo.....	97
7.1.2. Método de Burgsdorf & Yakobs en base a la Resistividad Equivalente.....	98
7.1.3. Fórmula de la Resistividad Equivalente.....	99
7.1.4. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra en función de la Resistividad Equivalente Método de Schwartz (1 Capa).....	101-102
Fórmula 8.6.1. Método de Wenner (Ver proyecto de Tesis-Cap.7).....	114

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Página

Gráfica 3.1. Demostración de variaciones de voltaje en un sistema eléctrico usando la protección del Pararrayos Tipo Dipolo.....	29
Gráfica 3.2. Característica Voltaje-Corriente de un Pararrayos conectado entre Fase y Tierra.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 2.1. Ángulo de Protección deseado de acuerdo al nivel requerido y la altura de la estructura en metros.....	22
Tabla 5.1. Valores de resistividad de algunos materiales.....	54
Tabla 5.2. Valores de resistividad de algunos suelos.....	55
Tabla 5.3. Como obtener la resistencia de un electrodo.....	55
Tabla 5.4. Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración.....	56
Tabla 6.1. Normas Eléctricas empleadas para el Sistema de Puesta a Tierra del Pararrayos implementado en las Salas de Cómputo de la Facultad Técnica.....	67
Tabla 6.9.1. Materiales resistentes a los efectos electromagnéticos producidos por la corriente del rayo.....	82
Tabla 6.12. Descripción de la Dimensión del Cable y Molde para la Soldadura Exotérmica.....	90
Tabla 8.1. Valores resultantes del cálculo por Método de Wenner.....	116
Tabla 8.10. Características de la Malla de Puesta a Tierra.....	118
Tabla 8.11.2. Detalle del Tipo de Terreno existente en el área de campo.....	120
Tabla 8.11.3. Datos generales de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT).....	121

RESUMEN

La elaboración de un sistema de protección contra descargas atmosféricas es uno de los métodos principales que un profesional en Eléctrico - Mecánica debe de conocer y emplear en las diferentes ramas de trabajo que desempeñe. Con el conocimiento de los diferentes métodos de protección atmosférica, se estableció como prioridad la seguridad de la infraestructura educativa, que garantizará la calidad de servicio y optimización del trabajo en actividades específicas.

En esta tesis se estudió los sistemas de protección (pararrayos), contra descargas atmosféricas, los cuales servirán como material de apoyo teórico – práctico para los estudiantes de la Facultad Técnica.

La medida a tomar es interceptar la trayectoria del rayo y conducirlo a lo largo de un conductor de baja resistencia, con el fin de que no se recaliente y que no produzca elevados niveles de voltajes durante la descarga. Con tal fin, la instalación para protección contra rayos se inició con la colocación de un terminal aéreo de captación, de una adecuada bajante a tierra y un sistema de electrodos de puesta a tierra. El uso de este sistema brinda la seguridad y fiabilidad de funcionamiento del centro de cómputo de la Facultad Técnica, sin la interrupción del servicio que éste presta, y que puede fallar debido a descargas atmosféricas, dando de esta manera una atención continua y eficiente para las diferentes labores que los estudiantes en la Facultad realizan.

INTRODUCCIÓN

Los resultados del impacto de un rayo en un centro de telecomunicaciones dependerán de la intensidad de descarga del rayo en la misma, de la resistencia del conductor con su capacidad de transportar la corriente y de la capacidad de filtración de puesta a tierra donde se deriven estas corrientes.

En base a estos parámetros, habrá una generación de efectos electromagnéticos, que van desde un comportamiento de circulación de corriente a tierra sin averías, a destrucción de equipos eléctricos y electrónicos, que significan eventualidades eléctricas a las personas por un diferencial de potencial.

Según los expertos en **ceraunología**, han demostrado que los rayos aún cuando caigan en el centro de la cubierta de una edificación, su corriente tiende a circular mayoritariamente por los conductores externos de ella (bajantes, estructuras metálicas continuas y conexiones a tierra) antes que por los conductores internos.

Las disposiciones de prevención para éstas inclemencias atmosféricas han sido estudiadas desde hace varias décadas atrás, de tal manera que, para la actualidad encontramos varias alternativas, de las cuales se ha elegido la más apropiada.

El Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPDA) y su debida puesta a tierra, es el medio más propicio para garantizar la protección de los centros de cómputo de la facultad técnica frente a éste fenómeno de la naturaleza imprevisible, y por ende evitar riesgos eléctricos al alumnado, personal docente y administrativo que ingrese en su interior.

La edificación de la facultad técnica está expuesta al peligro de sufrir los efectos del impacto directo de las descargas atmosféricas, por carecer de los conocidos pararrayos. Estos fenómenos naturales siempre constituyeron una dificultad para nuestra facultad y con frecuencia han ocasionado apagones hasta el momento, que en un futuro no muy lejano podrían causar perjuicios económicos por daño de equipos y humanos por lesiones o muertes. Existen rayos de 5 a 350.000 amperios en una sola descarga, el cambio climático genera temporadas más largas de tormenta y aparición de rayos de más intensidad.

Por lo tanto se aseguró las instalaciones eléctricas de las salas de computo, garantizando la continuidad eléctrica, para ello se dispuso de bajantes de cobre de unión del pararrayos a la toma de tierra, sobre la propia estructura de la torre, un mecanismo mecánico y conductor eléctrico a la vez que garantizó el plano de tierra en la parte más alta de la torre, por medio de pletinas de acero estañado unidas a la misma torre por medio de remaches o abrazaderas.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de protección para posibles sobrevoltajes originados por descargas atmosféricas, mediante la captación de los impactos directos de rayo que se dirijan a la estructura de la salas de computo de la Facultad Técnica disipando la corriente del rayo a tierra sin causar daños colaterales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- El de brindar seguridad al personal docente, estudiantes.
- Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección
- Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación



CAPITULO 1

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

1.1. INTRODUCCIÓN A LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS



Figura 1.1. Ejemplo de las Descargas Atmosféricas

Se estima que en nuestro planeta existen simultáneamente unas 2000 tormentas y que cerca de 100 rayos descargan sobre la Tierra cada segundo. En total ello representa unas 4000 tormentas diarias y unos 9 millones de descargas atmosféricas cada día.

Las descargas atmosféricas son impredecibles. En tan sólo millonésimas de segundo los rayos pueden descargar intensidades de 200 KA (ocasionalmente 500 KA).



La energía media disipada por unidad de longitud del canal de descarga formado por un simple rayo es de 105 J/m, equivalente a unos 100kg de dinamita.

Llega a alcanzar longitudes de unos 3 km., una potencia de 20 billones de vatios y una temperatura de 30.000 °C.

De todo ello se deduce que la energía de la descarga es relativamente pequeña por el corto período de tiempo que entra en juego. Sin embargo, la potencia es grande dado que los valores de tensión e intensidad son muy elevados y el del tiempo, muy pequeño. La cantidad de electricidad que interviene en este fenómeno está comprendida entre 10 y 20 culombios.

Usualmente las nubes están cargadas negativamente en su base y positivamente en su parte superior. Por inducción electrostática la tierra resultará positiva inmediatamente debajo de tal nube. Se establece así una diferencia de potencial enorme, produciéndose el rayo cuando se vence la rigidez dieléctrica del medio (aire o vapor de agua). Simultáneamente con el rayo se produce la luz (relámpago) y sonido (trueno).

Aproximadamente la mitad de los rayos constituyen descargas simples y la otra mitad corresponde a rayos compuestos por descargas múltiples de rápida sucesión.

Así como en la nube se forman centros de carga, algo similar ocurre en la tierra, pues hay suelos más conductores que otros, teniéndose en cuenta que las cargas en la tierra se mueven según la inducción que impone la nube.



1.1.1. Las causas y proceso globales del fenómeno rayo

Las causas principales del fenómeno rayo son: la radiación solar y la formación de las capas atmosféricas; pero en particular la ionósfera así como las nubes de la tropósfera. Por otro lado, la radiación desde estas capas, de la ionósfera a las nubes y desde éstas hasta el nivel del suelo, así como la disipación por un proceso electrolítico en el suelo.

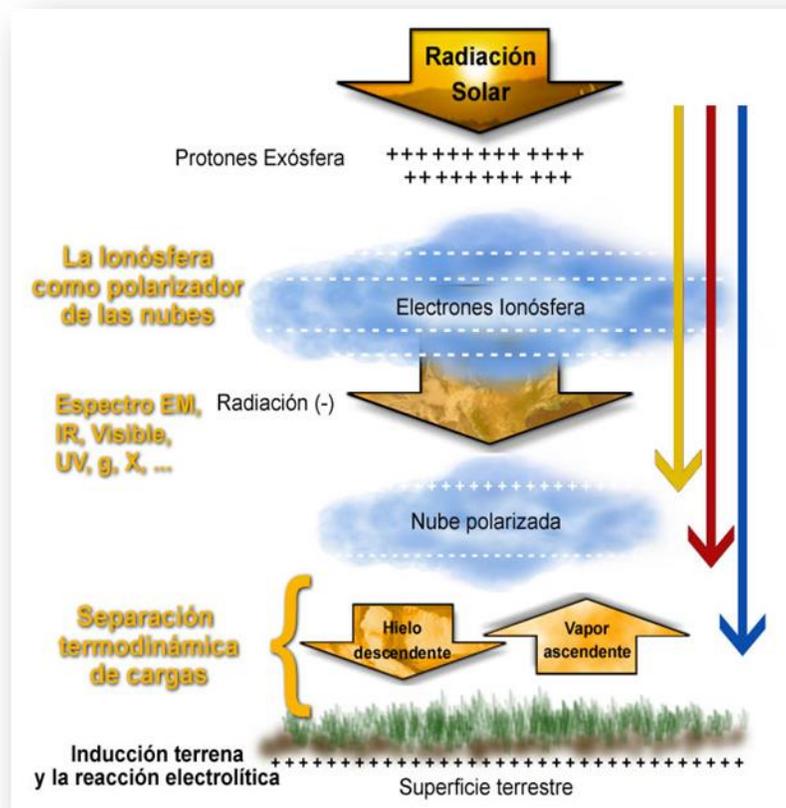


Figura 1.2. Proceso global de la radiación solar y capas atmosféricas para causa del fenómeno Rayo



1.2. EL TIEMPO Y EL ÁNGULO DE CAÍDA DE LA DESCARGA

Adicional a una errónea previsión del ángulo de la descarga atmosférica, el tiempo de propagación en las estructuras (torres por ejemplo), más el tiempo de propagación en el terreno (impedancia, resistividad y capacidad de cargas) provocan el rebote hacia las instalaciones, cuando no corresponden a la oferta de la nube, que es de muy alta carga (hasta 200,000,000 Volts y hasta 100,000 A) en tan solo 50 micro segundos.



Figura 1.3. Ángulo de Caída de la Descarga Atmosférica

Los rayos que inician en tierra son relativamente raros y ocurren normalmente en montañas o en estructuras altas.



Los rayos iniciados en las nubes negativas, normalmente aparecen en nubes de tormenta del tipo cumulo nimbus convectivas que usualmente miden de 3 a más de 50 km de largo, y son consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico.

Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50 metros por microsegundo con descansos de 50 microsegundos. Una vez que el rompimiento creó una columna de plasma en el aire, la descarga eléctrica surgirá inmediatamente dentro de un hemisferio de unos 50 m de radio del punto de potencial más alto. Cualquier objeto puede ser el foco de esta descarga, hacia arriba, de partículas positivas, aún desde una parte metálica debajo de una torre.

Los rayos consisten usualmente de descargas múltiples, con intervalos entre descargas de decenas a centenas de milisegundos. La primera descarga es la que tiene mayor amplitud, mientras que las subsecuentes tienen tiempos de ataque más rápidos, aunque la velocidad de las descargas se ha encontrado que depende del lugar geográfico. La primera descarga está entre 6 y 15×10^7 m/s y la segunda entre 11 y 13×10^7 m/s.

Las descargas atmosféricas pueden causar grandes diferencias de potencial en sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas. Pero, aún sin la descarga, una nube cargada electrostáticamente crea diferencias de potencial en la tierra directamente debajo de ella.



El campo eléctrico debajo de una nube de tormenta es generalmente considerado entre 10 y 30 KV/m. Es importante, comparar estos valores con el de 1.5 KV/m con el que las puntas empiezan a emitir iones.

1.3. EFECTOS DE LOS RAYOS

- **Mecánicos:** destrucción de elementos afectados.
- **Térmicos:** incendios, volatilización de metales por fusión.
- **Fisiológicos:** quemaduras, parálisis, y a menudo, la muerte.
- **Eléctricos:** generación de tensiones de paso y de contacto, por circulación de corriente de descarga, producción de corrientes inducidas en conductores o piezas metálicas próximas y paralelas a la corriente de descarga.

1.4. POLARIDAD DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS

En el estudio y cálculo de sobrevoltajes un rayo puede ser visto como una fuente de corriente que puede tener polaridad positiva, negativa o ambas en una misma descarga, lo que se conoce como onda bipolar. En general, se han identificado cuatro tipos de rayo entre nube y tierra. Las descargas negativas forman el 90 % de las descargas que caen a tierra a lo largo de todo el planeta (figura 1.4 # 1), menos del 10 % de las descargas son positivas (figura 1.4 # 3). También existen descargas iniciadas desde tierra hasta la nube (figuras 1.4 # 2 y 4), sin embargo, estas descargas son relativamente raras y ocurren normalmente en zonas de gran altitud, desde los picos de las montañas o desde altas estructuras construidas por el hombre.

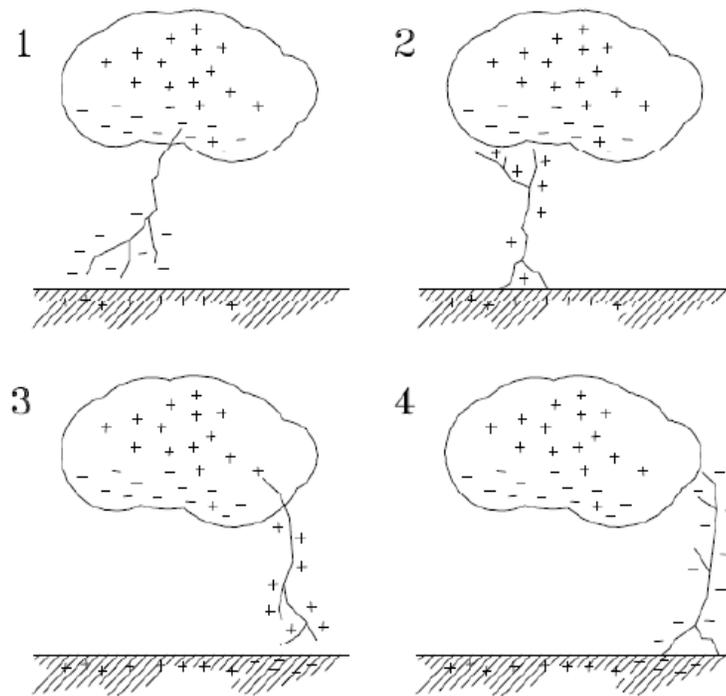


Figura 1.4. Diferentes categorías y polaridades de las Descargas Atmosféricas

Los rayos de polaridad positiva (figura 1.4 # 3) tienen un considerable interés práctico porque tanto la corriente pico como la carga total transferida pueden ser mucho más grandes que las de la mayoría de los rayos con polaridad negativa más comunes.

En el rango de 200 a 300KA, proviene de rayos positivos. Los rayos positivos contienen normalmente una única descarga de retorno seguida de un período de corriente continua. La mayoría de rayos positivos a tierra ocurren durante las tormentas de invierno, aunque estas tormentas producen pocos rayos en general, y es relativamente raro que ocurran en tormentas de verano, no más de un 15 % de los rayos, aunque tormentas con carga predominantemente negativa acaban a menudo con descargas positivas.



1.5. IDEA DE ÁREA PROTEGIDA

- Las descargas atmosféricas “no pueden evitarse”.
- Ningún sistema de protección puede garantizar en forma absoluta vidas, bienes ni estructuras.
- Todos los sistemas de protección tratan de controlar la descarga buscando que se produzca sobre puntos definidos y garantizar su rápida disipación a tierra.
- Área protegida es el volumen que encierra a todos los elementos que gracias a la instalación de un “captor” tienen una baja posibilidad de recibir una descarga.

1.6. PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA DESCARGA ATMOSFÉRICA

1.6.1. Múltiples descargas

- 55% poseen descargas sucesivas
- 90% no exceden de 8 descargas
- Media: 3 descargas/rayo

1.6.2. Prevención de impacto de un rayo

Existen situaciones en las que el peligro de recibir el impacto de un rayo se genera en pocos minutos. Los lugares más seguros durante una tormenta eléctrica son los vehículos, ya que conducen la electricidad al suelo por su parte exterior.



Dentro de un edificio deben tomarse las siguientes precauciones:

- ✓ Cerrar/alejarse de puertas y ventanas.
- ✓ Alejarse de instalaciones eléctricas.
- ✓ Desconectar electrodomésticos (en la medida de lo posible).
- ✓ No usar teléfonos fijos, sólo inalámbricos o móviles.
- ✓ Cerrar las puertas al salir.

Dentro de un vehículo deben tomarse las siguientes precauciones:

- ✓ Cerrar todas las puertas y ventanas.
- ✓ No tocar partes metálicas del vehículo.
- ✓ Por ningún motivo abandonar el vehículo.

En caso de que el individuo sea sorprendido por la tormenta eléctrica mientras se encuentra al aire libre, se recomienda lo siguiente:

- ✓ En caso de haber un edificio o vehículo muy cerca, intentar llegar a él.
- ✓ Alejarse de objetos altos (árboles, postes o cualquier objeto que sobresalga).
- ✓ No acostarse, ya que la tierra húmeda conduce muy bien la electricidad.
- ✓ Intentar agacharse lo más posible, pero tocando el suelo sólo con las plantas de los pies.
- ✓ No resguardarse en cuevas o accidentes geográficos similares, ya que se acumula el aire ionizado que aumenta la probabilidad de descarga.



Está erróneamente extendido que, dada la velocidad del sonido en el aire -340 m/s-, para determinar la distancia a la que caen los rayos, sólo es necesario contar los segundos entre relámpago y trueno. Sin embargo esto, en términos generales, está lejos de la realidad.

El trueno se desplaza por medio de ondas explosivas y no mediante ondas acústicas ordinarias, siendo las primeras de propagación mucho más rápida que las acústicas, y de valor no constante.

Cuando la descarga eléctrica está muy anticipada respecto de la percepción del sonido, se oyen descargas sordas que oscilan en intensidad, y que llegan al espectador con retraso respecto del rayo.

El rayo no es el único causante de sobretensiones transitorias, también lo son:

- ✓ Conmutaciones de compañías eléctricas.
- ✓ Actuación de dispositivos de protección de redes.
- ✓ Cortocircuitos.
- ✓ Entrada / Salida de cargas inductivas.
- ✓ Conmutaciones de máquinas de gran potencia.
- ✓ Compresores.
- ✓ Fotocopiadoras.
- ✓ Descargas electroestáticas.
- ✓ Actuación de bancos capacitivos



En una instalación eléctrica todos los conductores que acceden desde el exterior son susceptibles de facilitar el camino a las sobretensiones transitorias, provocando así perturbaciones en la alimentación de todos los sistemas conectados.

Las sobretensiones producidas por fenómenos atmosféricos llegan hasta las instalaciones de tres formas:

1.6.3. Sobretensión conducida

El rayo puede caer directamente en las líneas aéreas, propagándose la sobretensión a lo largo de varios kilómetros; llegando al usuario y derivándose a tierra a través de sus equipos, produciéndoles averías o su total destrucción.

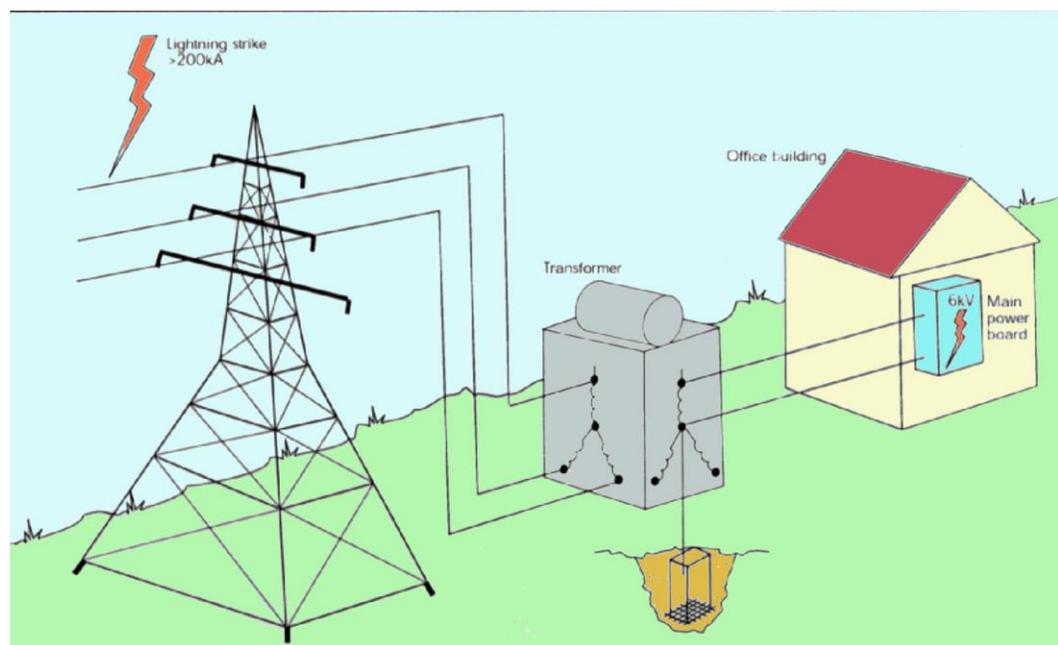


Figura 1.5. (a) Esquema de las consecuencias producidas por el impacto de un Rayo en Líneas Aéreas

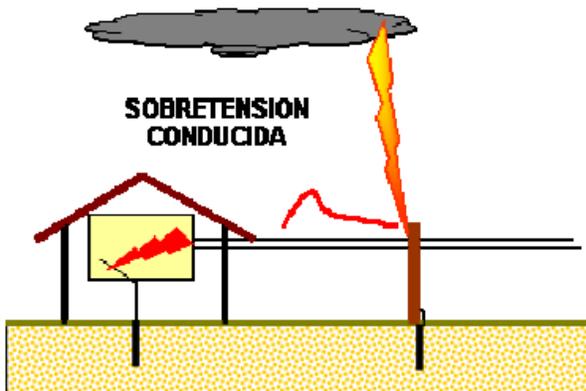


Figura 1.5. (b) Ejemplo gráfico de una Sobretensión Conducida

1.6.4. Sobretensión inducida

La radiación emitida por el impacto del rayo sobre un objeto (poste, árbol, pararrayos, etc.) próximo a líneas eléctricas o telefónicas, induce corrientes transitorias en éstas, transmitiéndose al interior de nuestras instalaciones provocando averías o destrucción de los equipos conectados.

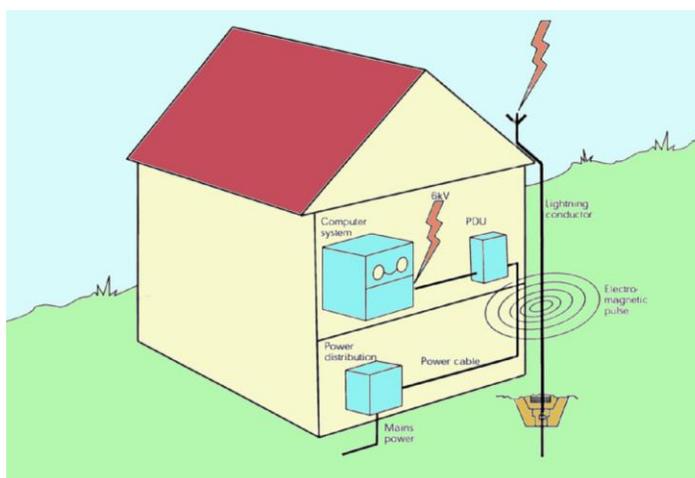


Figura 1.6. (a) Ejemplo de la radiación producida por el impacto de un Rayo sobre un objeto cercano

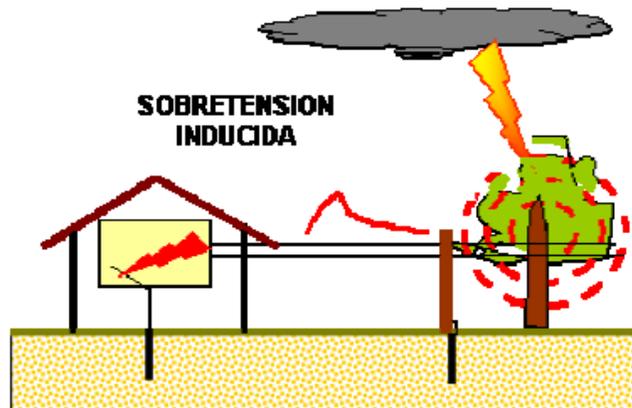


Figura 1.6. (b) Ejemplo Gráfico de una Sobretensión Inducida

1.6.5. Aumento del potencial de tierra

Cuando un rayo cae directamente al suelo o a través de una estructura conectada a tierra (puede ser un poste eléctrico, un pararrayos, etc.) la corriente de descarga del rayo puede elevar el potencial de tierra varios miles de voltios como consecuencia de la corriente que circula por el terreno.

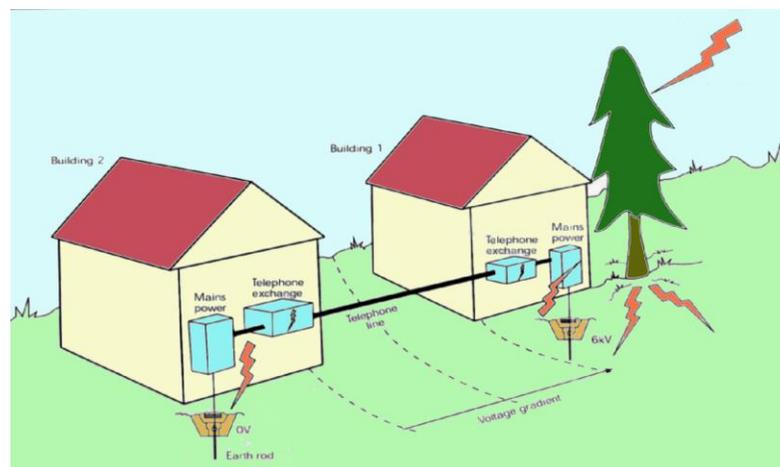


Figura 1.6.5 (a) Esquema de las consecuencias producidas por el impacto de un Rayo al suelo



Figura 1.6.5. (b) Ejemplo Gráfico de un aumento de potencial de la tierra

1.7. NIVEL CERÁUNICO

El nivel ceráunico de la zona se define como el número de días al año en el cual se ha percibido la caída de un rayo al menos una vez durante esas veinticuatro horas. Los niveles ceráunicos se suelen llevar a Mapas ceráunicos, es decir, a mapas con curvas de igual nivel ceráunico.

La densidad de descargas a tierra, está relacionado al nivel isoceráunico por la relación:

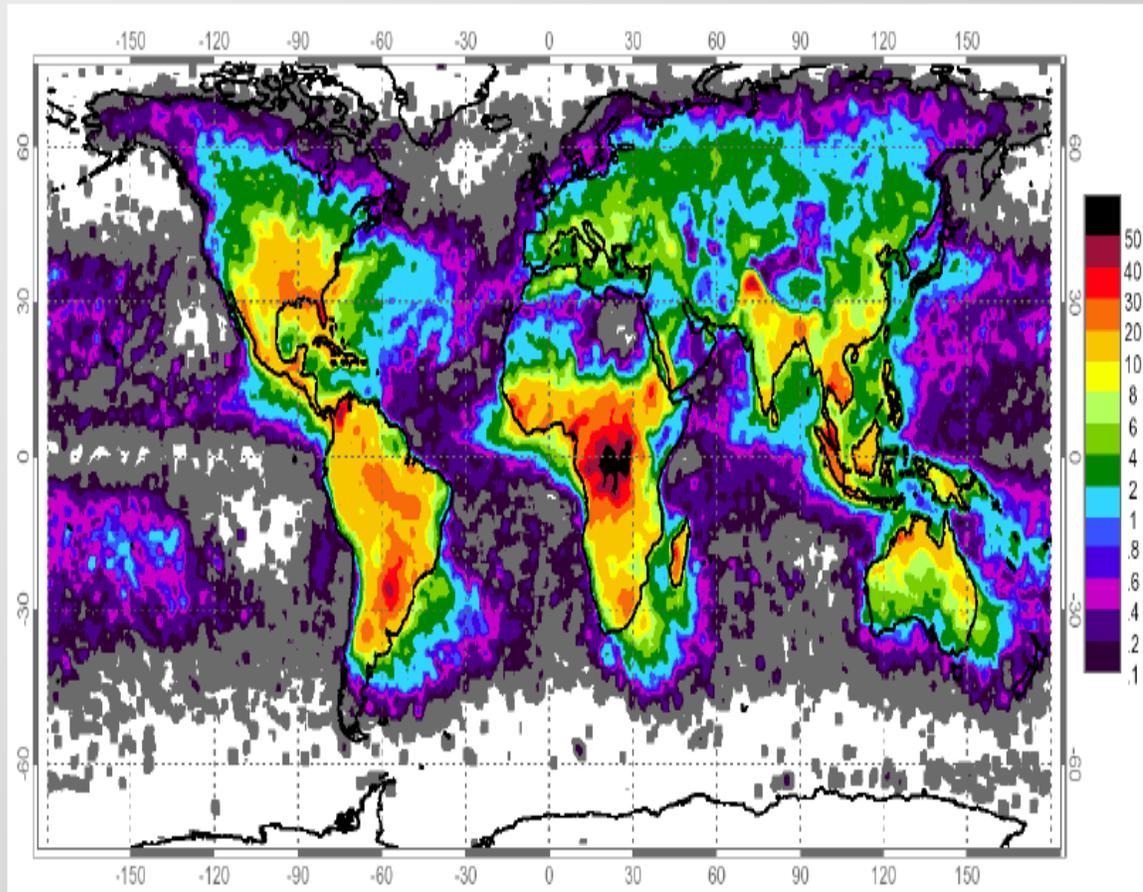
$$N_o = C * N_I \text{ descargas / km}^2 \text{ por año}$$

- No: densidad de descargas a tierra.
C: Constante para una determinada región tiene valores entre 0,1 y 0,2
NI: Nivel isoceráunicos.



1.7.1. Mapa Isocerámico

MAPA DE ACTIVIDAD DE RAYOS EN EL PLANETA



Densidad de descargas a tierra por Km². Obtenido del Proyecto TRMM de la NASA.

Figura1.7. (a) Mapa de la Actividad de rayos en el Planeta 1



CAPITULO 2

PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS)

2.1. GENERALIDADES



Figura2.1. Ejemplo de la vulnerabilidad a las Descargas Atmosféricas

En cualquier instante dado, casi 1,800 tormentas eléctricas están en progreso sobre la superficie de la Tierra. Aproximadamente 1,000 tornados se generan a partir de estas tormentas. La intensidad media de la descarga de un rayo se estima en 20,000 amperios, pero se han detectado rayos de hasta 200,000 amperios. Las características climáticas y montañosa de cada país determina el número y la intensidad de las tormentas que se producen (**nivel isocerámico**), riesgo que varía dentro de un mismo país.



El conocimiento de las zonas de riesgo es una información importante para determinar eficazmente el tipo de protección contra el rayo más adecuado. Los efectos de un rayo pueden ser ocasionados por un impacto directo o por causas indirectas.

También pueden alcanzar las instalaciones interiores de fábricas, hogares, comercios, industrias, etc., a través de las líneas de conexión del suministro de energía eléctrica, por las líneas de conexión de teléfonos, fax, módems, televisión por cable, y también a través de la estructura metálica de los edificios, por contacto directo o por inducción, por las raíces de los árboles. Por lo cual es necesario que los equipos estén protegidos frente a todas estas posibilidades.

Mientras que un impacto directo puede tener consecuencias catastróficas para las personas, edificaciones, y animales; los daños por causas indirectas suelen ser más numerosos, acompañados de cuantiosas pérdidas económicas. Se entiende como causas indirectas como la caída de rayos en las inmediaciones o sobre los tendidos aéreos o las inducciones electromagnéticas en estos conductores. No existe método alguno para evitar la formación de descargas atmosféricas (rayos).

El propósito entonces es tratar de protegerse contra las descargas atmosféricas (rayos), controlando el paso de la corriente de las descargas eléctricas, y así prevenir lesiones a las personas y daños a la propiedad.

La primera medida a tomar es interceptar la trayectoria del rayo y conducirlo a lo largo de un conductor de baja resistencia, con el fin de que no se recaliente y que no produzca elevados niveles de voltajes durante la descarga.



2.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (SPCR)

Es un sistema que permite proteger una estructura contra los efectos del rayo; consta de un sistema externo y de un sistema interno de protección contra el rayo.

A) Sistema Externo: Comprende un dispositivo captor (terminal aéreo), las bajadas y un sistema de puesta a tierra.

B) Sistema Interno: Comprende todos los dispositivos complementarios al anterior (A) con el objeto de reducir los efectos electromagnéticos (voltajes inducidos) de la corriente de rayo dentro del espacio a proteger.

2.3. TIPOS DE INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN EN RELACIÓN AL VOLUMEN A PROTEGER

a) **Sistema de Protección separado del volumen a proteger.** Los captores y las bajadas están ubicados de tal manera que **el trayecto de la descarga no tiene ningún contacto** con el volumen a proteger y **evita las descargas laterales**.

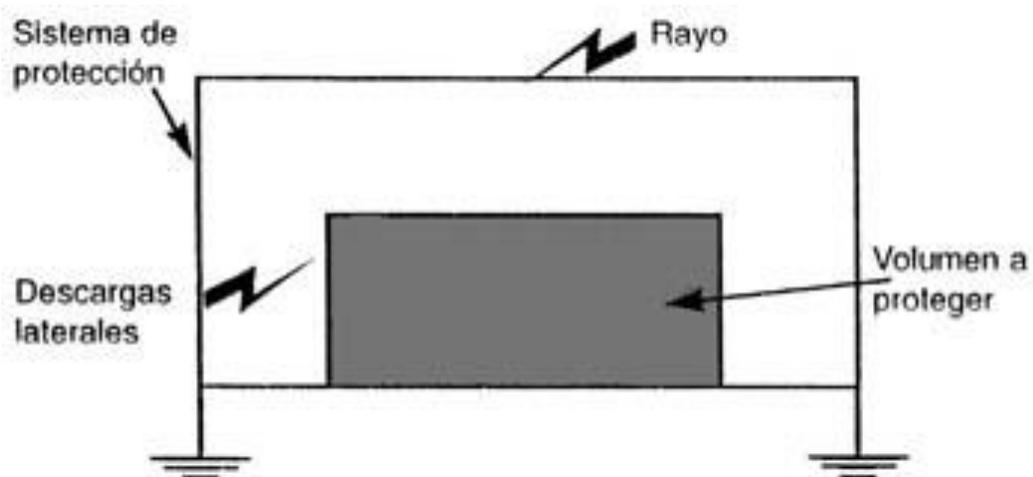


Figura2.2. Sistema de Protección separa del volumen a proteger



b) **Sistema de protección parcialmente separado del volumen a proteger.**

Los captores están ubicados de tal manera que el trayecto de la descarga atmosférica no tiene ningún contacto con el volumen a proteger e impide las descargas laterales, pero **sin que los conductores de bajada** estén aisladas (separados) de tal volumen.

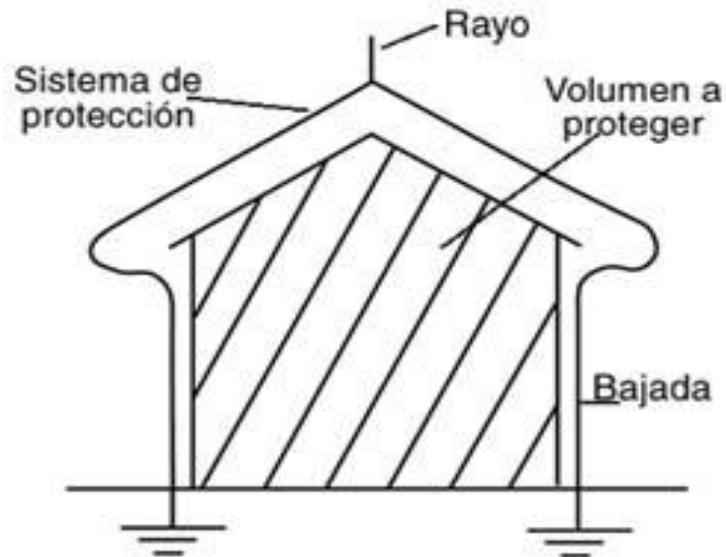


Figura2.3. Sistema de protección No aislado del volumen a proteger

2.4. MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- Método de la esfera rodante
- Método de enmallado
- Método de ángulo de protección
- Método de cono de protección



2.5. CONO DE PROTECCIÓN

Este método estima que una barra conectada a tierra protege una zona incluida dentro de un cono de protección cuyo vértice está en la punta de la barra y que tiene como base una circunferencia que rodea a misma. La abertura del cono de protección se estima entre 30° y 60° , adaptándose 45° de modo tal que se proteja todo el edificio.

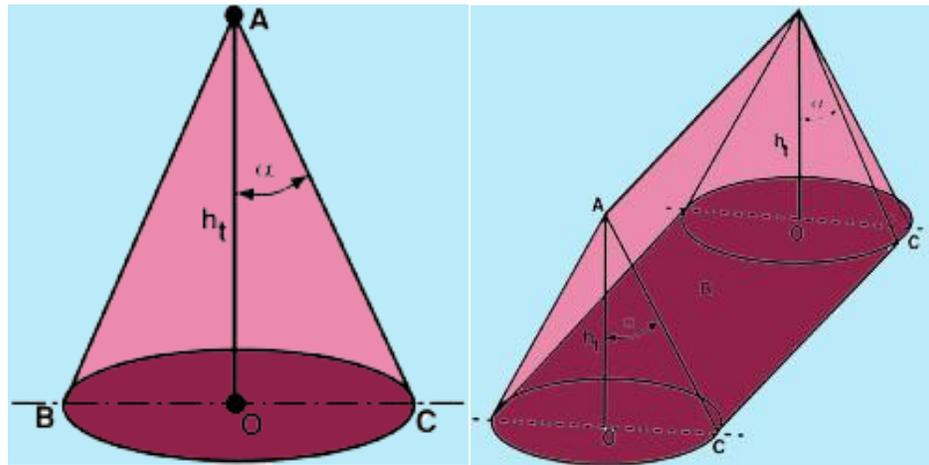


Figura 2.4. Cono de Protección, método para calcular la zona protegida

- ✓ A = Cabeza del Captor
- ✓ B = Plano de referencia
- ✓ OC = Radio del área protegida
- ✓ h_t = altura del captor sobre el plano de ref.
- ✓ Alfa = Angulo de protección



2.5.1. Ángulo de Protección

Nivel de Protección	h = 20 mt	h = 30 mt	h = 45 mt	h = 60 mt
I	25 grados			
II	35 grados	25 grados		
III	45 grados	35 grados	25 grados	
IV	55 grados	45 grados	35 grados	25 grados

Tabla2.1. Ángulo de Protección deseado de acuerdo al nivel requerido y la altura de la estructura en m

2.6. PLAN DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Una protección perfecta, del 100% efectiva, es prácticamente imposible, y toda protección se diseña sobre la base de un riesgo o compromiso estadístico o de probabilidad. Sin embargo, es posible definir criterios generales para la protección de equipos electrónicos en edificios, que son de aceptación general.

Se recomienda seguir este plan de protección que consta de los seis puntos siguientes:

1- Captura del impacto del rayo directo en puntos preferentes y conocidos. Esto significa la instalación de uno o más terminales aéreos de captación en los edificios.



- 2- Conducir la descarga a tierra de una forma segura a través de una ruta conocida. Se debe instalar uno o más sistemas de conducción o bajantes a tierra.
- 3- Disipar a tierra las descargas del rayo. Esto requiere la instalación y mantenimiento de un sistema de puesta a tierra efectivo y de baja impedancia.
- 4- Eliminar inducciones a través de tierra o lazos de tierra. Se requiere la planificación cuidadosa, la creación de un único sistema de puesta a tierra y la consideración práctica para la instalación de los equipos. Una red de tierras de baja impedancia es esencial.
- 5- Proteger todas las líneas de potencia que entren en la estructura o edificio contra sobretensiones. Se requiere la instalación de protectores o filtros reductores específicos contra sobretensiones, equipos estabilizadores, sistemas de alimentación interrumpida y otras medidas dependiendo de las circunstancias de cada lugar.
- 6- Proteger todas las líneas de datos y de señal que entren o salgan de la estructura o edificio contra sobretensiones. Esto implica la instalación de cajas, barreras y aparatos de protección de alta velocidad y la correcta puesta a tierra de los cables apantallados.

Hay en la actualidad muchos edificios que presentan sistemas inadecuados de protección contra el impacto directo del rayo y las sobretensiones, y no es necesariamente por el resultado de una decisión incorrecta en el momento de la construcción del edificio, sino más bien por un cambio gradual del mercado, forzado por los datos estadísticos de la curva costo/riesgo/beneficio, con el empleo en nuestros días de equipos informáticos y de comunicaciones técnicamente más avanzados y del propio aumento del uso de los mismos.



La protección contra el impacto directo del rayo para un edificio siempre debe ser considerada, si este contiene un número elevado de personas, materiales o instalaciones, que en caso de impacto pueden provocar grandes catástrofes (materiales inflamables, etc.), o equipos electrónicos, o la altura del edificio mayor a 43 metros, o si el índice de riesgo determinado por los días de tormenta anuales de esa región, las características orográficas (climáticas y montañosa) y la exposición relativa del propio edificio excede los valores normales.

En particular, la eliminación de las inducciones entre tierras o bucles a través de tierra es imprescindible. Es muy común, pero incorrecto, tener tierras separadas o independientes en un edificio para diferentes servicios como su sistema de protección contra rayos, los equipos eléctricos, las líneas telefónicas, las computadoras, servicio de cable TV y cualquier otro servicio (por ejemplo más de seis sistemas de tierra pueden existir en un mismo lugar). Sin embargo, las normas para las instalaciones eléctricas de baja y media tensión, así como de las empresas distribuidoras de electricidad, deben ser aplicadas.

Para edificios donde la interconexión de tierras es difícil por causas prácticas o razones del Reglamento, el uso de descargadores de sobretensiones (pararrayos) entre tierras, constituye una solución aceptada.

Estos aparatos conectados entre distintos sistemas de tierras son efectivamente un circuito abierto en condiciones normales de funcionamiento.



CAPITULO 3

PARARRAYOS

3.1. FUNCIONAMIENTO DEL PARARRAYO

La botella de Leyden es un dispositivo que permite almacenar cargas eléctricas comportándose como un condensador o capacitor. La varilla metálica y las hojas de estaño conforman la armadura interna.

La armadura externa está constituida por la capa que cubre la botella; la misma botella actúa como un material dieléctrico (aislante) entre las dos capas del condensador.

3.2. LA INVENCIÓN DEL PARARRAYO

El pararrayos fue inventado por Benjamín Franklin en su estancia en Francia, en 1752, hizo el famoso experimento de la cometa que le permitió demostrar que las nubes están cargadas de electricidad y que, entonces, los rayos son descargas de tipo eléctrico.

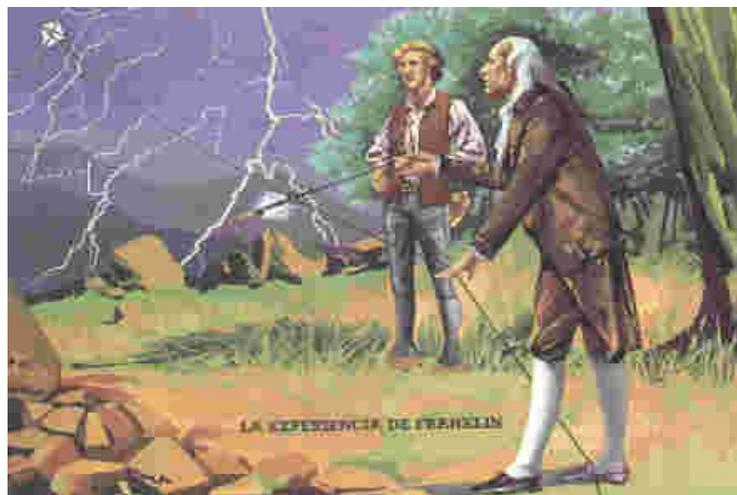


Figura 3.1. Experimento que realizó Benjamín Franklin para demostrar que las nubes están cargadas eléctricamente.



En 1752 Benjamín Franklin publicó en su famoso Almanaque del Pobre Richard (Poor Richard's Almanac) una aplicación interesante para este fenómeno.

Propuso la idea de utilizar el efecto punta (que descargaba rápidamente una botella de Leyden) para protegernos de la caída de los rayos. Nació así el pararrayos.

3.3. DEFINICION DE PARARRAYO

Es un dispositivo formado por una o más barras metálicas terminadas en punta y unidas entre sí y con la tierra, o con el agua, mediante conductores metálicos, y que se coloca sobre los edificios o los buques cuyo objetivo es atraer la descarga atmosférica en forma de rayo y canalizar la descarga eléctrica hacia tierra, de modo tal que no cause daños a construcciones o personas para preservarlos de los efectos del rayo. El rayo se debe a un desequilibrio eléctrico entre nubes, o entre la tierra y las nubes. Si la base de la nube está cargada negativamente, atrae cargas positivas de la tierra que está debajo.

La diferencia de potencial aumenta hasta que tiene lugar una repentina descarga, el rayo, que neutraliza de nuevo las cargas en la nube y la tierra. Es decir, un rayo es como un corto circuito entre una nube y la tierra, un fenómeno de la naturaleza imprevisible y aleatorio que ocurre cuando la energía acumulada en una nube alcanza un valor crítico y rompe la rigidez dieléctrica del aire.

La mayoría de los pararrayos están fundados en el efecto de las puntas, o tendencia de las cargas a escapar por las regiones de máxima curvatura; en este efecto se basó el pararrayos de Benjamín Franklin. El campo eléctrico en el extremo del pararrayos es lo suficientemente intenso para ionizar el aire y estas cargas, opuestas a las de la nube.



3.4. PARTES PRINCIPALES DEL PARARRAYO



Figura 3.2. Partes Principales de la instalación del Pararrayos implementado en la Facultad Técnica para el Desarrollo.



3.5. PRINCIPIO DE UN PARARRAYO

Los pararrayos consisten en un mástil metálico (acero inoxidable, aluminio, cobre o acero), con un cabezal captador.

El cabezal puede tener muchas formas en función de su principio de funcionamiento: puede ser en punta, multi-puntas, semiesférico o esférico y debe sobresalir por encima de las partes más altas del edificio al que protegen. El cabezal está unido a tierra, mediante un cable de cobre conductor.

La toma de tierra se hace mediante picas hincadas en el terreno, mediante placas conductoras también enterradas, o bien con un tubo sumergido en el agua de un pozo).

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.

El objetivo principal de estos sistemas es reducir los daños que puede provocar la caída de un rayo sobre otros elementos, como edificios, árboles o personas incluyendo el propio edificio que se protege.

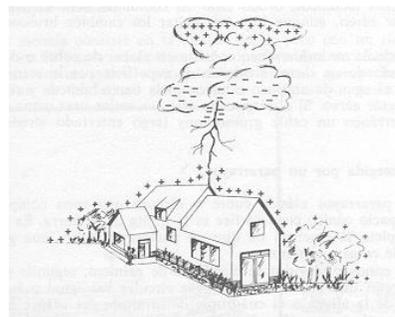


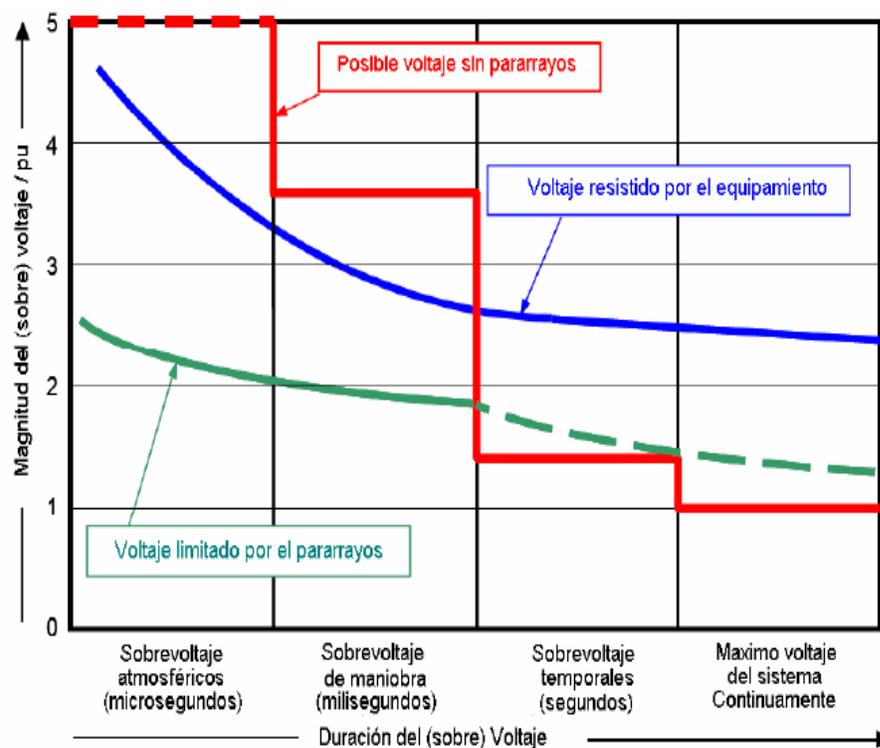
Figura 3.3. Distribución de cargas en el entorno de una nube de tormenta, previo a la caída de un rayo de forma descendente (Nube-Tierra)



A medida que se acerca la descarga, se produce un intenso y brusco incremento del campo eléctrico. Originándose una zona de riesgo de impacto. Si esta zona de riesgo tiene lugar en la zona de protección del pararrayos, la brusca variación del campo eléctrico acciona simultáneamente el sistema de control del que, en sincronía con la aproximación del rayo, proporciona una vía de descarga a tierra controlada y segura.

3.6. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LOS PARARRAYOS

Los pararrayos constituyen un auxilio indispensable para la coordinación de aislamiento en los sistemas de suministro de energía eléctrica.



Voltajes de un sistema de energía eléctrica de alto voltaje

Gráfica 3.1. Demostración de variaciones de voltaje en un sistema eléctrico usando la protección del Pararrayos Tipo Dipolo.



En la **Gráfica 3.1** se muestra los voltajes que pueden aparecer en un sistema de energía eléctrica de alto voltaje expresados en por unidad el valor de cresta del máximo voltaje permanente entre fases y tierra, dependiendo de su duración.

Se divide en forma aproximada el eje del tiempo en la gama de los sobrevoltajes atmosféricos (microsegundos), sobrevoltajes de maniobra (milisegundos), sobrevoltajes temporales (segundos), y por último el máximo voltaje permanente de operación del sistema, ilimitada por el tiempo. El voltaje o sobrevoltaje que puede alcanzar sin el uso de pararrayos es de una magnitud de varios p.u.

La característica distintiva de un pararrayos es su característica de voltaje – corriente (V – I) extremadamente alineal. Las corrientes que atraviesan el pararrayos dentro de la gama de posibles voltajes de frecuencia industria aplicados, son tan pequeñas que el pararrayos prácticamente se comporta como aislador.

Si se inyectan en el pararrayos corrientes de impulso en el orden de los kiloamperios, tales como las que aparecen con sobrevoltajes atmosféricos o de maniobra, el voltaje resultante en sus terminales debe permanecer lo suficientemente baja, como para proteger el aislamiento del aparato asociado, de los efectos del sobrevoltaje.

En la **Grafica 3.2** se da un ejemplo de la característica V – I de un pararrayos típico conectado entre fase y tierra de un sistema de 420 KV con neutro rígido a tierra.

Sobre el eje de ordenadas se representan linealmente los valores de cresta de los voltajes, mientras que sobre el de abscisas los valores de cresta de las corrientes, se representan en una escala logarítmica desde 50 uA hasta 50 KA.

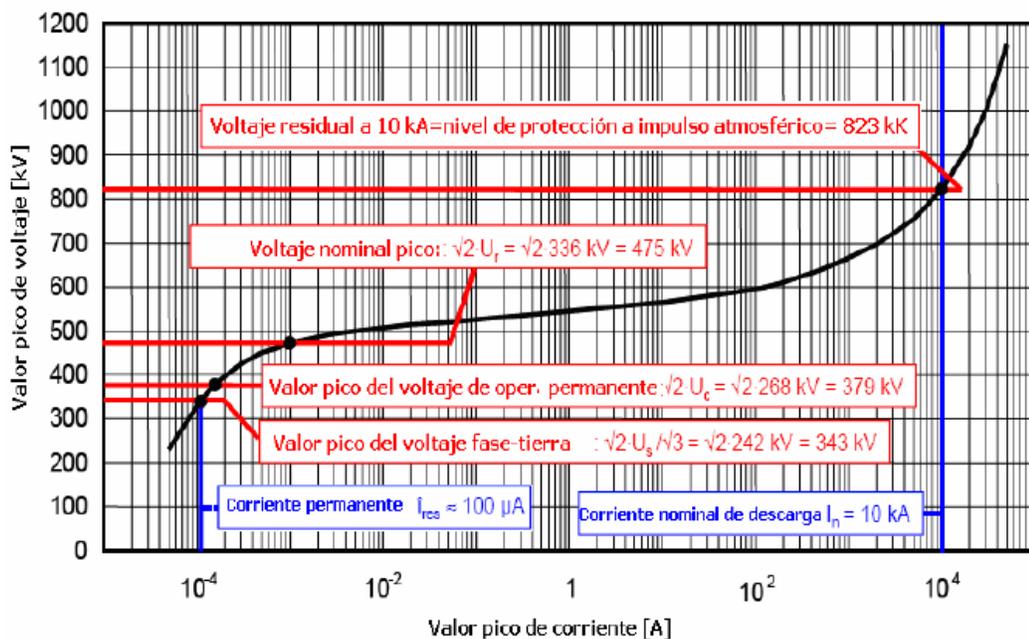


El voltaje de frecuencia industrial que se aplica permanentemente al pararrayos es el máximo voltaje de fase – tierra del sistema. En este caso el valor de cresta es:

$$\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_c / \sqrt{3}$$

Fórmula 3.1. Para calcular el Valor de Cresta de un Sistema Contra Descargas

Atmosféricas



Curva U-I de un pararrayo típico para un sistema de 420 kV

Gráfica 3.2. Característica Voltaje-Corriente de un Pararrayos conectado entre Fase y

Tierra

3.7. CONFIGURACIÓN DE LOS PARARRAYOS

El propósito de esta parte de la tesis es que, a través de un enfoque general se pueda disponer de un pararrayo apropiado para las aplicaciones menos comunes, para protección contra sobrevoltajes.



Las normas internacionales para ensayos y aplicaciones de los pararrayos de sobrevoltaje de Oxido metálico (ZnO) a las que se hará referencia en su mayor parte son: IEC 60099-4, IEC 60099-5, IEC 60099-1 como también el documento IEC 37/268/FDIS.

3.8. TIPOS DE PARARRAYOS

Pararrayo Ionizantes

- ✓ Pararrayos Franklin
- ✓ Pararrayos Multipuntas
- ✓ Pararrayos de Cebado

Pararrayos inhibidores de frecuencia del rayo

- ✓ Pararrayos anti-rayo
- ✓ Inhibidor de rayos

Pararrayos Desionizadores

- ✓ Pararrayos Desionizador de Carga electrostática

3.9. INSTALACION DEL PARARRAYOS

Las **Instalaciones de Pararrayos** tienen la función de proteger contra los rayos desde la red de captación hasta su conexión a la puesta a tierra del sistema a proteger.

- El pararrayos estará al menos dos metros por encima de cualquier otro elemento dentro de su radio de protección.
- El conductor de bajada se instalará de forma que su recorrido sea lo más directo posible, evitando cualquier acodamiento brusco o remonte.



- Los conductores deben estar protegidos mediante un tubo de protección hasta una altura superior a dos metros a partir del suelo.
- La resistencia de la toma de tierra medida por medios convencionales debe ser inferior a **10**.
- Los elementos constitutivos de las tomas de tierra de los pararrayos deberán distar al menos dos metros de toda canalización metálica o eléctrica enterrada.

3.10. MANTENIMIENTO DE PARARRAYOS

Deben recibir un mantenimiento periódico, que garantice su buen funcionamiento, ya que debido a la corrosión, inclemencias atmosféricas, aves o impactos del rayo, pueden perder su efectividad.

El mantenimiento anual del Pararrayos debe incluir:

- Revisión del Cabezal Pararrayos.
- Comprobación del amarre y posible oxidación del mástil.
- Cable conductor Pararrayos. Comprobar amarre, conectores y tubo de protección.
- Toma de tierra. Comprobar amarres, conectores y medida de la resistencia de la misma, que no deberá sobrepasar los 10 ohms. (ver UNE 21.186).
- Contador de rayos, en caso de existir en la instalación.
- Área de cobertura del pararrayos. Comprobar que ningún elemento nuevo ha variado las condiciones del estudio de instalación del Pararrayos original.



CAPITULO 4

PARRARAYOS TIPO DIPOLO

4.1. GENERALIDADES DEL PARRARAYOS TIPO DIPOLO



Figura 4.1. Pararrayo Tipo Dipolo instalado en la Facultad Técnica para el Desarrollo

Concentra la energía del gradiente de potencia existente en la atmósfera por medio del toroide excitador que se carga constantemente al potencial circundante y define, en esa forma, la incidencia sobre la punta de la barra de descarga.



El campo eléctrico entre el anillo equipotencial y el toroide permite regular la dirección de los iones existentes entre el canal original de ionización y por lo tanto el radio de alcance del pararrayos.

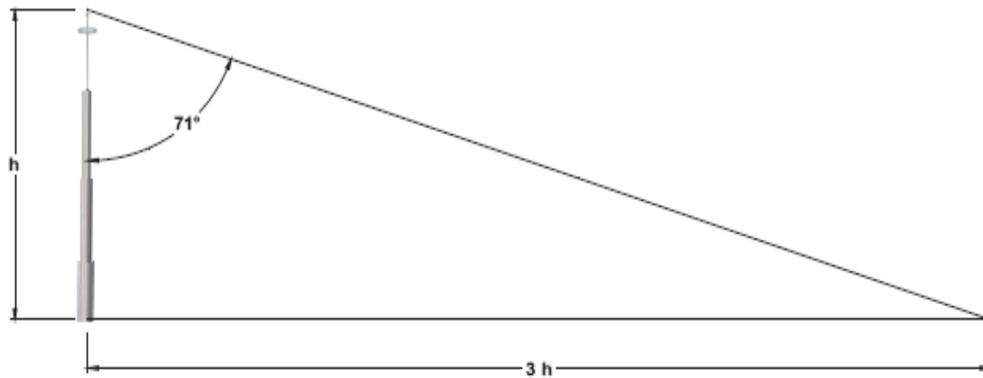


Figura 4.1. (a) Ángulo de Protección del Pararrayos Tipo Dipolo

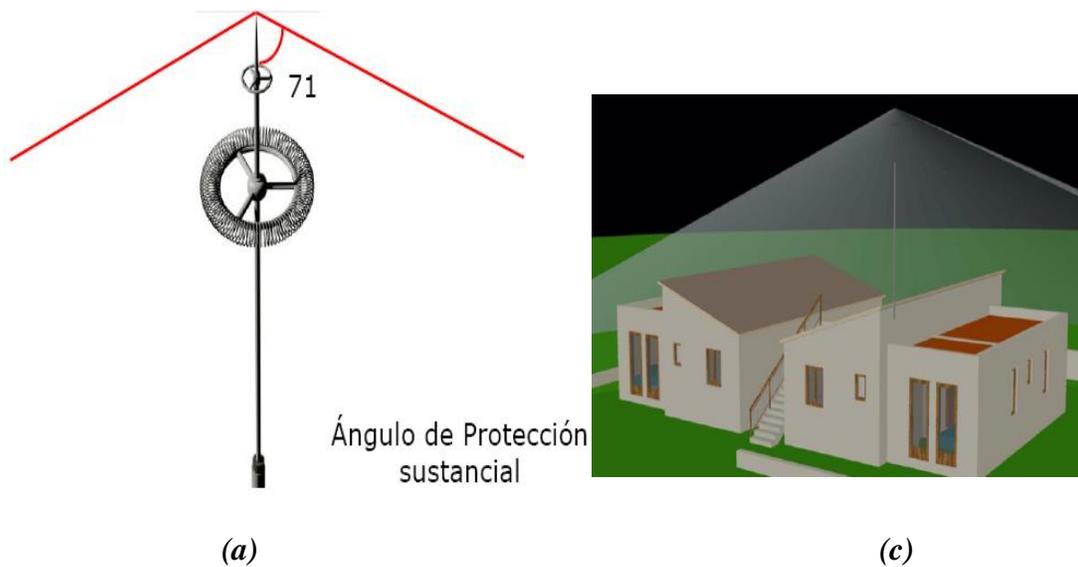


Figura 4.1. (b), (c) Pararrayo Tipo Dipolo instalado en la Facultad Técnica para el Desarrollo



4.2. INTRODUCCIÓN AL PARARRAYO TIPO DIPOLO

Este tipo de Pararrayos es del tipo Desionizador de Carga Electroestática (PDCE), incorporan un sistema de transferencia de carga (CTS), no incorporan ninguna fuente radioactiva.

El cuerpo del pararrayos está construido por dos discos de aluminio separados por un aislante dieléctrico todo ello soportado por un pequeño mástil también de Aluminio.

Su forma es circular y el sistema está conectado en serie con la propia toma de tierra para transferir la carga electroestática a tierra evitando la excitación e impacto directo del rayo.



Figura 4.2. Prueba de Laboratorio, Simulación de Descarga Atmosférica en Pararrayos Tipo Dipolo



4.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Concentra el gradiente de potencial existente en condiciones de tormenta en la atmósfera a través de su corona helicoidal que esta se carga constantemente al potencial circundante y define de esta forma la incidencia del rayo sobre la punta de la barra conductora que está conectada constantemente a un sistema de tierras.

Este tipo de Pararrayos es del tipo Desionizador de Carga Electroestática (PDCE), incorporan un sistema de transferencia de carga (CTS), no incorporan ninguna fuente radioactiva. Su principio de funcionamiento se basa en la transferencia de la carga electroestática antes de la formación del rayo eliminando el fenómeno de ionización o efecto corona.

El cuerpo del pararrayos está construido por dos discos de aluminio separados por un aislante dieléctrico todo ello soportado por un pequeño mástil también de Aluminio.

Su forma es circular y el sistema está conectado en serie con la propia toma de tierra para transferir la carga electroestática a tierra evitando la excitación e impacto directo del rayo.

La característica principal es la de canalizar por el cable de tierra la diferencia de potencial entre la nube y la parte superior del pararrayos, el sistema conduce primero en sentido hacia arriba, por el cable de tierra física; la tensión eléctrica creada por la tormenta eléctrica al punto más alto del sistema, durante el desarrollo de la tormenta se generan campos de alta tensión que se concentran en el electrodo inferior (cátodo -), a partir de una magnitud del campo eléctrico.



El electrodo superior (ánodo +) atrae cargas opuestas para compensar la diferencia de potencial interna de la parte superior, durante el proceso de transferencia, en el interior del pararrayos se produce un flujo de corriente entre el ánodo y el cátodo, este proceso natural anula el efecto corona en el exterior del pararrayos, no produciendo descargas disruptivas, ni ruido perceptible, ni radiofrecuencia, ni vibraciones del conductor.

Durante el proceso, se genera una fuga de corriente a tierra por el cable del sistema, los máximos valores que se generan en el tiempo de la tormenta eléctrica, son cercanos a los 350 miliamperios.

En este instante el campo eléctrico en el ambiente no es superior a la tensión de ruptura al no tener la carga suficiente para romper su resistencia eléctrica.

Es decir, protege de los impactos directos el área de cobertura para evitar daños a las personas y estructuras, el sistema está calculado para conducir la energía durante la formación del rayo desde la parte superior hasta la tierra física.

Las normas que rigen las instalaciones de sistemas de pararrayos, tierra física y bajada de cables cumplen las recomendaciones de las normas en baja tensión.

Los sistemas de pararrayos con características CTS proporcionan mayor protección que los pararrayos simplemente terminados en punta.

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

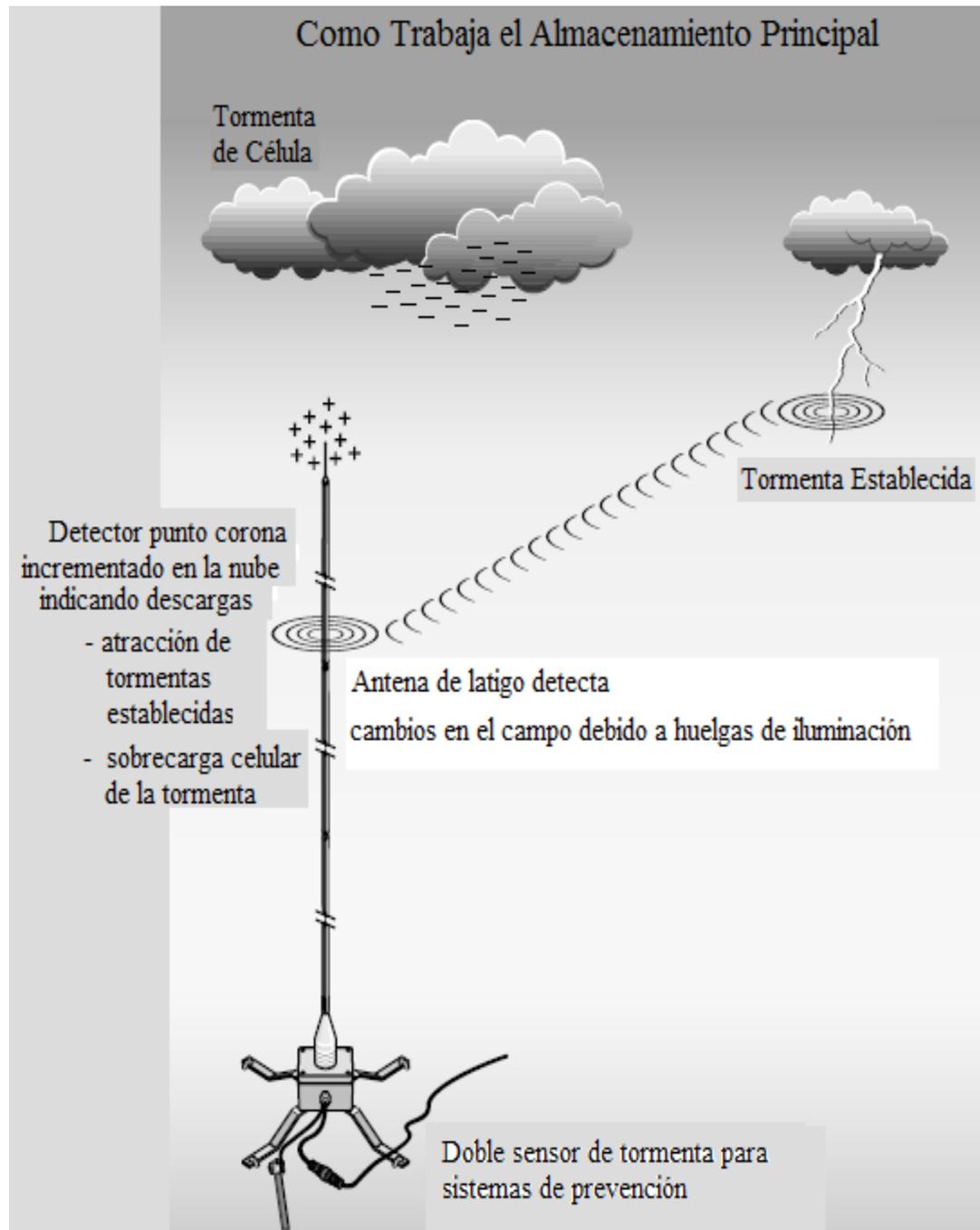


Figura 4.3. Modo de acción del Pararrayos Tipo Dipolo durante la formación del Rayo



4.4. ARMADO DEL PARARRAYO TIPO DIPOLO

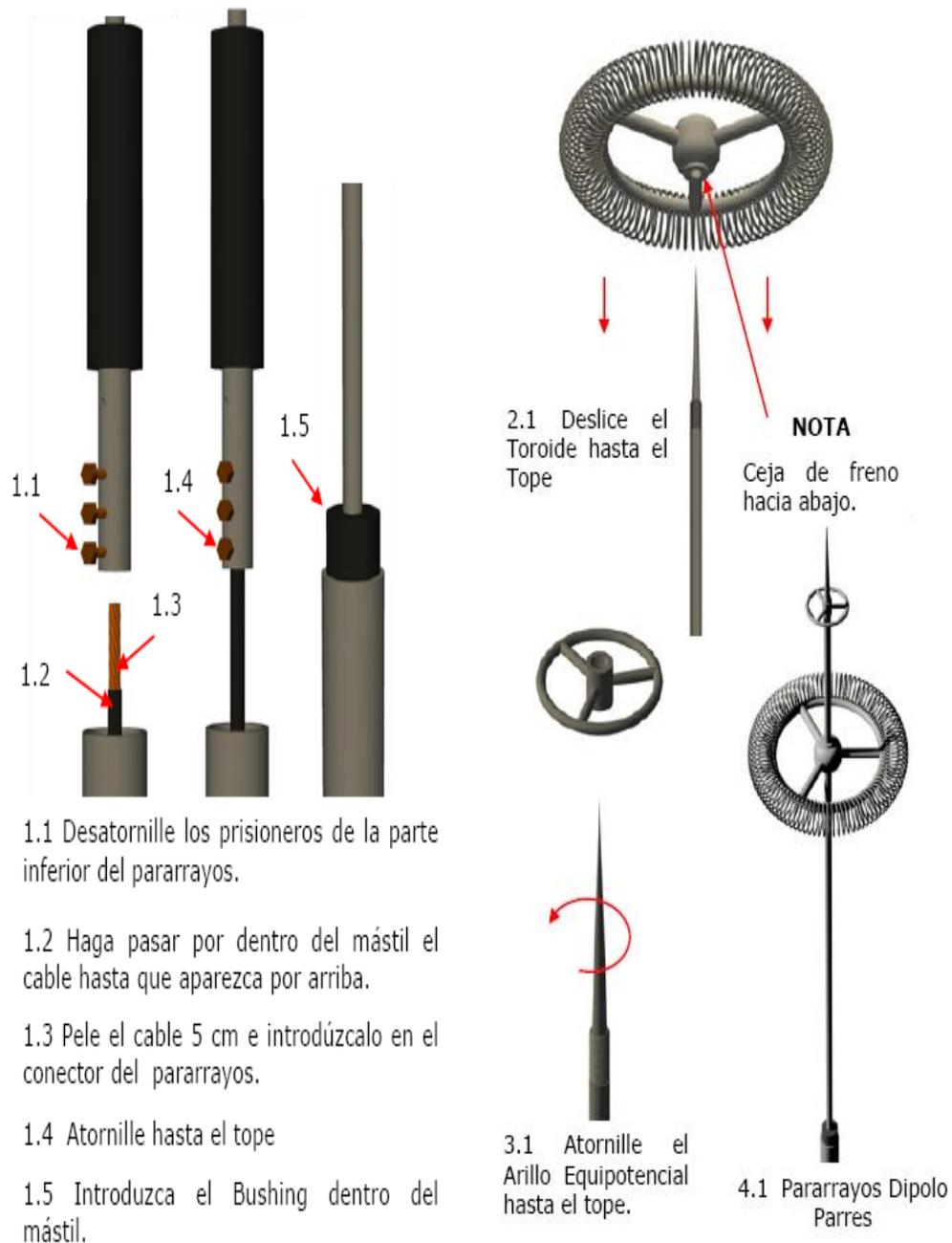


Figura 4.4. Partes que conforman la estructura del Pararrayos Tipo Dipolo

colocado en la Facultad Técnica



4.5. MEMORIA DESCRIPTIVA DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE PARARRAYOS DIPOLO.

1. Instalación de equipo Pararrayos

- a) El equipo debe ser instalado en el punto más alto de la torre, integrado con mástil, mismo que deberá ser empotrado lateralmente sobre el perfil estructural encontrado, a base de abrazaderas tipo “U” inoxidable reforzadas.
- b) Se deberá armar el equipo, integrado por: Barra de descarga (1.00 pza.), Anillo equipotencial (1.00 pza.), Toroide Excitador (1.00 pza.), Bushing de aislamiento y Conector mecánico, donde estos dos últimos ya vienen integrados en la barra de descarga.
- c) El equipo deberá ser preparado para introducción dentro del mástil de 3.00 de longitud y diámetro de 1 ½”, de material acero galvanizado.
- d) Hacer pasar el cable de bajante de pararrayos cal. #2/0 AWG THW dentro de mástil y conectar a pararrayos en su conector mecánico correspondiente.
- e) Verificar el correcto apriete entre el conector mecánico del equipo y el cable de bajante Cal. #2/0 AWG THW.
- f) Introducir Bushing de aislamiento dentro de mástil y verificar su correcta fijación.
- g) El pararrayos deberá ser fijado en el perfil estructural de la torre por lo menos 1.00 m.
- h) El cable de bajante Cal. 2/0 AWG THW, deberá ser fijado lateralmente sobre el perfil estructural encontrado en la torre, por medio de fleje y hebillas de acero inoxidable a cada 1.00 m. en toda su longitud.



- i) El cable de bajante Cal. 2/0 AWG THW, deberá ser fijado sobre la pata de la torre opuesta a la bajada de cables Feeders (guías de onda).
- j) La bajante del pararrayo debe ser toda continua y de una sola pieza, hasta su conexión con el sistema de tierras correspondiente.
- k) Realizar la medición funcional de continuidad entre el pararrayos y el sistema de tierras correspondiente.

Ver los siguientes gráficos del proceso de instalación de pararrayos:



Figura 4.5. (a) Especificación del Toroide Excitador y el Anillo Equipotencial del Pararrayos Tipo Dipolo



Figura 4.5. (b) Especificación de las conexiones usadas para la conducción del cable 2/0 AWG del Pararrayos Tipo Dipolo

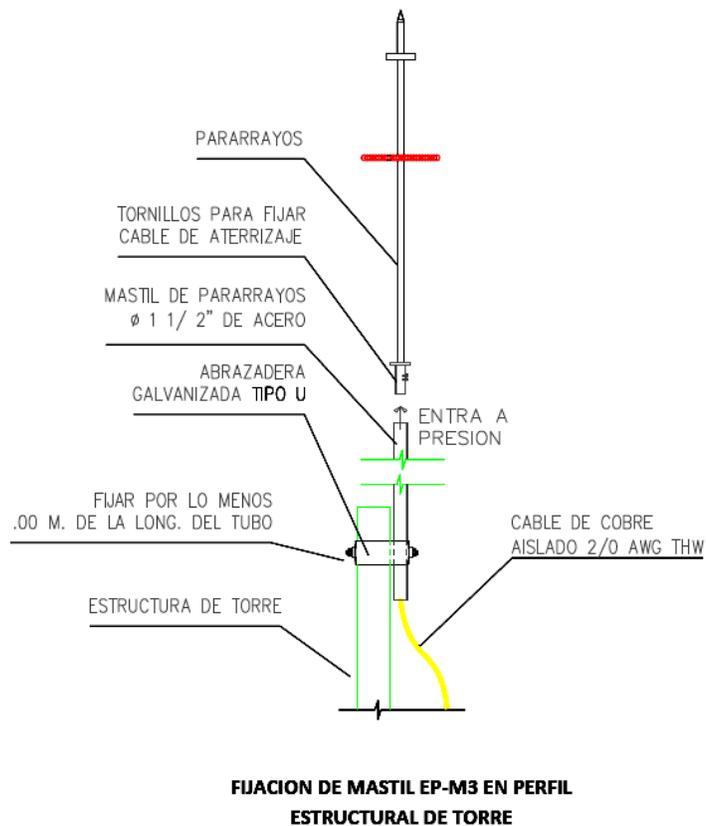


Figura 4.5. (c) Especificación de las partes principales que componen el Pararrayos Tipo Dipolo

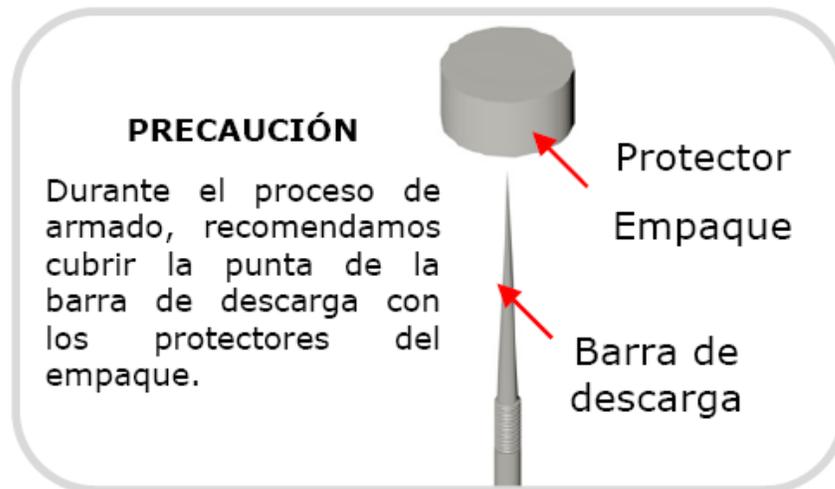


Figura 4.5. (d) Seguridad en la instalación del Pararrayos Tipo Dipolo

NOTA: Se recomienda se utilice el equipo de seguridad como guantes, zapatos de seguridad, arnés, cuerdas de vida y bandola.

4.6. NORMATIVAS DE LOS PARARRAYOS TRADICIONALES.

4.6.1 NEC-250-02

Los sistemas eléctricos deben de estar aterrizados de forma que limiten el voltaje creado por rayos, transitorios en la línea o por contacto con líneas de alto voltaje con el fin de estabilizar el voltaje a tierra durante la operación normal.

Materiales conductivos que protejan conductores eléctricos o equipos deben de estar conectados a tierra para limitar el voltaje a tierra en estos materiales.

Estos materiales deben de estar conectados entre ellos y a su vez deben de estar conectados al conductor de tierra del sistema eléctrico, de manera que se establezca un camino efectivo para las corrientes de fallo.



4.6.2 NEC-250-2 Bonding

Materiales conductivos, como tubería de metal, tubería de gas y el acero de las estructuras, que pueden ser energizados, deben de estar puenteados al conductor de tierra del sistema eléctrico, de forma que descargar las corrientes de fallo a tierra.

El camino para descargar las corrientes de fallo debe de ser eléctricamente continuo, debe de tener la capacidad de manejar la corriente máxima de fallo y debe de tener una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación de los equipos contra sobre corrientes.

4.6.3 250-28 Puente principal

En un sistema aterrizado debe de existir un puente para conectar el conductor principal de tierra y el tablero principal.

Dos edificios o estructuras alimentadas por la misma línea de AC. Cuando dos líneas o estructuras están alimentadas por la misma línea de AC estas deben de utilizar el mismo sistema de tierra.

1. 250-50 Son electrodos del sistema de tierra.

- Tuberías enterradas de agua.
- Estructura de metal del edificio.
- Estructura ahogada en concreto.
- Mallas de tierra.

2. 250-52 Electrodos especialmente fabricados.



4.6.4 NOM 001 SEDE 99

1. 250-83. Electrodos especialmente contruidos.

Los electrodos especialmente contruidos deben estar libres de recubrimientos no-conductores, como pintura o esmalte. Cuando se use más de un electrodo para el sistema de puesta a tierra, todos ellos (incluidos los que se utilicen como varillas de pararrayos) no deben estar a menos de 1,8 m de cualquier otro electrodo o sistema de puesta a tierra.

4.6.5 NOM 001 SEDE 99 NEC 250-83

Dos o más electrodos de puesta a tierra que estén efectivamente conectados entre sí, se deben considerar como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra.

1. Electrodo de varilla o tubería. Los electrodos de varilla y tubo no deben tener menos de 2,4 m de longitud.
2. Electrodo de placa. Los electrodos de placas deben tener en contacto con el suelo un mínimo de 0,2 m² de superficie. Los electrodos de metales no-ferrosos deben tener un espesor mínimo de 1,52 mm.

4.6.6 NOM-022-STPS-1999

Los valores de la resistencia para instalaciones eléctricas deben estar comprendidos entre 0 y 25 ohms, y para sistemas de pararrayos, la resistencia de la red de tierras debe tener un valor no mayor a 10 ohms.



- 5 **250-46. Separación de los conductores de los pararrayos.** Las canalizaciones, envoltentes, estructuras y otras partes metálicas de equipo eléctrico que no transporten normalmente corriente eléctrica, se deben mantener alejadas 1,8 m como mínimo de los conductores de bajada de las varillas pararrayos o deberán interconectarse cuando la distancia a los conductores sea inferior a 1,8 m.

NOTA: Para el uso de las varillas de los pararrayos, véase 250-86. Véanse también separación de los conductores de los pararrayos, en 800-13 y 820-10(e) (3).

- 6 **250-86. Varillas de pararrayos.** No se deben usar conductores de puesta a tierra de los pararrayos ni tubos, varillas u otros electrodos fabricados utilizados para poner a tierra las bajadas de los pararrayos, en sustitución de los electrodos de tierra indicados en 250-83 para la puesta a tierra de sistemas eléctricos y de equipo. Esta disposición no impide cumplir los requisitos de conexión de los electrodos de puesta a tierra de diversos sistemas.

NOTA 1: Para la separación de los electrodos de los pararrayos, véase 250-46. Para la conexión de electrodos, véanse 800-40(d), 810-21(j) y 820-40(d).

NOTA 2: Si se interconectan todos los electrodos de puesta a tierra de distintos sistemas, limitan la diferencia de potencial entre ellos y entre sus correspondientes sistemas de alambrado.

- 7 **800-13. Conductores de pararrayos.** Cuando sea factible, se debe mantener una separación de por lo menos de 180 cm entre los conductores visibles de sistemas de comunicación y los conductores de pararrayos.



CAPITULO 5

RESISTIVIDAD DEL TERRENO

5.1. DEFINICIÓN

La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1m^3 de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación, variaciones estacionales, Sales Solubles, Granulometría, Composición del suelo, estado higrométrico.

De acuerdo con las normas oficiales **NEC**, el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos:

- Tubería metálica de agua enterrada.
- Estructura metálica del inmueble.
- Electrodo empotrado en concreto.
- Anillo de tierra.

Algunos de los métodos que se pueden utilizar para realizar la medición de la resistencia a tierra son los siguientes: método de los dos puntos, método del 62 %, método de caída de potencial, método de los cuatro puntos, entre otros.

Para poder medir la resistencia se utiliza un instrumento denominado **telurómetro (Ground Probe GP-1)**.



Figura 5.1. Instrumento de Medición (Ground Probe GP-1) usado en la prueba de Resistividad del Terreno para la colocación de Malla Tierra del Pararrayos

Este aparato se basa en el método de compensación y funciona con un generador magneto de C.A., que lleva un transformador en serie de relación exacta, es decir, que la intensidad por el primario es siempre igual a la del secundario.

La medición de resistencia a tierra de electrodos es una técnica que requiere conocer aparte del método de medición, algunos factores que afectan los resultados de las mediciones, y que son:

- El tipo de prueba.
- El tipo de aparato empleado.
- El lugar físico de las puntas de prueba.

Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad, cualquier instalación de toma de tierra, deberá ser obligatoriamente comprobada por los servicios oficiales al dar la instalación de alta para el funcionamiento.



5.2. NATURALEZA DEL TERRENO

Esta se refiere a que la resistividad varía según el tipo de terreno, es decir se tiene una resistividad más elevada en un terreno rocoso que en uno donde haya arena.

5.2.1. Humedad

Aquí varía la resistividad 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, es por esta razón que debe procurarse un terreno un poco más húmedo para obtener mejores valores.

5.2.2. Temperatura

Aquí también la temperatura afecta en las mediciones ya que el calor crea una resistencia en el terreno, ya que es como si se tuviera un terreno seco.

Y por el contrario a temperaturas muy bajas la poca humedad que hay en el terreno puede congelarse (solo la superficie del agua), y como se sabe el hielo no es un buen conductor por lo que se eleva la resistividad del terreno.

5.2.3. Salinidad

Como se sabe el agua por sí sola no conduce la electricidad pero con sales se convierte en un excelente conductor, es por esto que mientras más sales contenga el terreno y este húmedo más bajo serán los valores de resistividad.

5.2.4. Estratigrafía

Esta afecta por el exceso de rocas y piedras de tamaño considerable en un terreno ya que las rocas y piedras provocan una mayor resistencia en el terreno.



5.2.5. Compactación

Aquí la resistividad disminuye mientras más compactado este un terreno ya que cuando no está bien compacto hay pequeños espacios de aire los cuales impiden que la corriente eléctrica se pueda esparcir por el terreno.

5.2.6. Variaciones estacionales

Las estaciones también intervienen en el valor de la resistividad de un terreno ya que en una estación calurosa como lo es primavera el terreno estará más seco que si se tuviera una estación con muchas lluvias y por esto los valores cambiarían según la estación del año en que nos encontremos es por esto que se recomienda hacer varias mediciones en diferentes estaciones del año para determinar la resistividad promedio.

Por esto se recomienda hacer varias mediciones en el terreno en diferentes posiciones y después sacar un promedio de estas para obtener un valor de resistividad más exacto.

5.2.7. Sales Solubles

La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; esto es, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es prácticamente la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.



5.2.8. Composición del Terreno

La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200ohms respectivamente.

En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 ohm o menos con una sola varilla electrodo es virtualmente imposible.

5.2.9. Granulometría

Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra.

Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.

5.2.10. Estado Higrométrico

El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante.



Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

5.3. RESISTENCIA A TIERRA

5.3.1. Resistencia del electrodo de tierra.

La resistencia de tierra de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece.

Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad.

Tabla 1 da, a título de orientación, unos valores de la resistividad para un cierto número de terrenos.

Con el fin de obtener una primera aproximación de la resistencia de tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios indicados en la **Tabla 2**.

Bien entendido que los cálculos efectuados a partir de estos valores no dan más que un valor muy aproximado de la resistencia de tierra del electrodo.

La medida de resistencia de tierra de este electrodo puede permitir, aplicando las fórmulas dadas en la **Tabla 3**, estimar el valor medio local de la resistividad del terreno; el conocimiento de este valor puede ser útil para trabajos posteriores efectuados en unas condiciones análogas.



NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD EN OHM*M
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Tabla 5.1. Valores de resistividad de algunos materiales



Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad en Ohm*m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables.	3.000

Tabla 5.2. Valores de resistividad de algunos suelos

Electrodo	Resistencia de la tierra en ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \frac{\rho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = \frac{2\rho}{L}$

Tabla 5.3. Como obtener la resistencia de un electrodo



- R, resistividad de terreno (ohm*m)
- P, perímetro de la placa (m)
- L, longitud de la pica del conductor (m)

Numero de electrodos	Valor original	El valor original se reduce al
Un solo electrodo	100%	
Dos electrodos en línea		55%
Tres electrodos en línea		38%
Tres electrodos en triángulo		35%
Cuatro electrodos en simetría		28%
Ocho electrodos en simetría		16%

Tabla 5.4. Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración



5.4. MÉTODOS PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

5.4.1. Método de Wenner o cuatro puntos

En 1915, el Dr. Frank Wenner del U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre.

Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente.

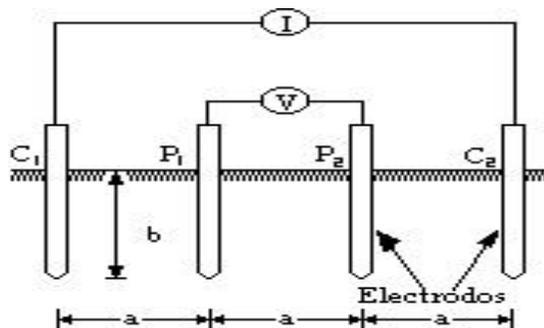


Figura 5.2. Ubicación de Electrodos para Medición de Resistividad del Suelo, según

Método de Wenner



En la **Figura 5.5**.se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores. La resistividad aparente está dada por la siguiente expresión:

$$\rho := \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left[1 + \frac{2 \cdot A}{(A^2 + 4B^2)^{0.5}} \right] - \frac{2 \cdot A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}}}$$

Donde

- p : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m
- A : Distancia entre electrodos en metros.
- B : Profundidad de enterrado de los electrodos en metros
- R : Lectura del terrómetro en ohms.

Fórmula 5.1. Para comprobación de Resistividad del Suelo, según Método

Wenner

Si la distancia enterrada (B) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (A). O sea $A > 20B$, la siguiente fórmula simplificada se puede aplicar:

$$\rho := 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

Fórmula 5.2. Ecuación simplificada para Prueba de Resistividad del Terreno, según

Método de Wenner (para distancias mínimas entre electrodos) – ver Figura 5.5.

5.4.2. Método de Schlumberger

El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial (a) se mantiene constante.



Las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos (**na**) de la separación base de los electrodos internos (a). La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura.

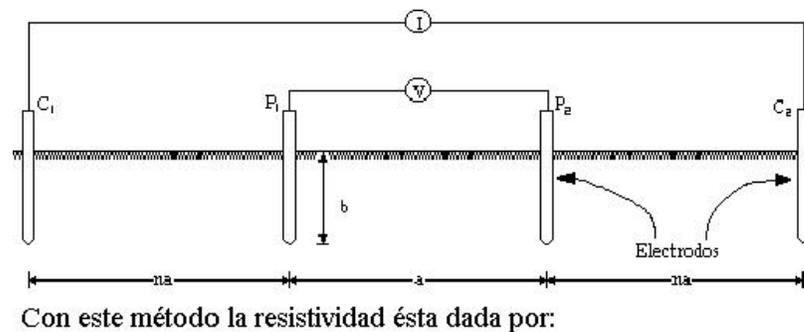


Figura 5.3. Ubicación de Electrodos para Medición de Resistividad del Suelo, según Método de Schlumberger

$$\rho := 2 \cdot \pi \cdot R \cdot (n + 1) \cdot na$$

Fórmula 5.3. Ecuación para Prueba de Resistividad del Terreno, según Método de Schlumberger

5.4.3. Método de los Tres puntos o Triangulación

Consiste en enterrar tres electrodos (A, B, X), se disponen en forma de triángulo, tal como se muestra en la figura 2, y medir la resistencia combinada de cada par: X+A, X+B, A+B, siendo X la resistencia de puesta a tierra buscada y A y B las resistencias de los otros dos electrodos conocidas.

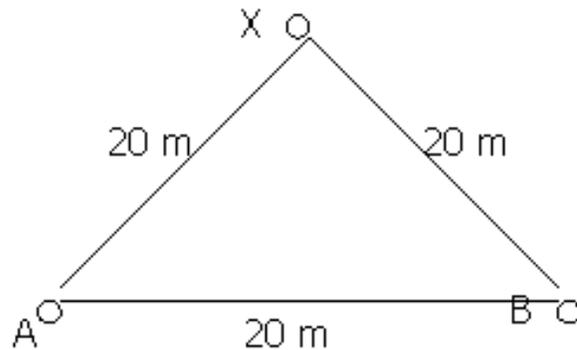


Figura 5.4 Ubicación de electrodos, según Método de las tres puntas.

Las resistencias en serie de cada par de puntos de la puesta a tierra en el triángulo será determinada por la medida de voltaje y corriente a través de la resistencia. Así quedan determinadas las siguientes ecuaciones:

$$R1= X+A$$

$$R2= X+B$$

$$R3= A+B$$

De donde

$$X= (R1+R2-R3)/2$$

Fórmula 5.4. Ecuación de Prueba de Resistividad del Terreno, según Método de Tres Puntas

Este método es conveniente para medidas de resistencias de las bases de las torres, tierras aisladas con varilla o puesta a tierra de pequeñas instalaciones.

No es conveniente para medidas de resistencia bajas como las de mallas de puesta a tierra de subestaciones grandes.



El principal problema de este método es que A y B pueden ser demasiado grandes comparadas con X (A y B no pueden superar a 5X), resultando poco confiable el cálculo. Para la toma de tierra de áreas extensas, las que presumiblemente tienen bajos valores de resistencia, se recomienda que las distancias entre electrodos sean del orden de la mayor diagonal del área a medir.

5.4.4. Medición de la Resistencia de Tierra por el Método de los Dos Puntos (método utilizado para Prueba de Resistividad del Terreno en la Facultad Técnica para el Desarrollo)

Este método resulta de una simplificación del expuesto precedentemente. En este caso, se mide la resistencia total de la toma de tierra bajo ensayo y de otra toma auxiliar, cuya resistencia de tierra se presupone despreciable frente a la primera.



(a)

(b)

Figura 5.5. Ubicación de electrodos para prueba de Resistividad de Suelo para la colocación de la Malla Tierra (medio de Descarga del Pararrayos)

Figura 5.8. (a), (b) Usando el Método de Dos Puntas



Con este método, se mide la resistencia de dos electrodos en serie. La malla y el sistema de tierra de referencia. Por lo mismo, existen limitaciones importantes:

- El sistema de tierra de referencia (o electrodo de corriente) debe ser lo suficientemente bueno para tener una resistencia despreciable. En ese caso puede tomarse la lectura del instrumento directamente como la resistencia del electrodo en prueba.
- El electrodo de tierra bajo prueba debe estar lo suficientemente lejos del sistema de tierra de referencia para quedar fuera de su esfera de influencia.

El Método de Dos Puntos entrega la suma de sus resistencias individuales (como dos resistencias en serie) para cada combinación.

El método se considera adecuado para sistemas de tierra ubicados en áreas urbanas congestionadas o **terreno rocoso**, donde puede ser difícil ubicar electrodos en varias posiciones. La dificultad está en que se requiere efectuar muchas medidas y cálculos en línea para verificación y eventualmente obligar a nuevas medidas.

5.4.5. Medición de la resistividad utilizando muestras de suelo

La estimación de la resistividad del terreno a partir de la medición de la resistividad de una muestra extraída del mismo, se puede realizar empleando el método de los cuatro puntos en una caja prismática pequeña de sección transversal cuadrada, en la que se introduce el material extraído de la probeta respectiva. El valor de resistividad que se obtiene de esta manera resulta menos exacto que el que se obtendría en el terreno real, pero en algunas ocasiones es el único camino posible.



5.5. MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA CON UN TELURÓMETRO

Se describe la disposición de electrodos, el conexionado requerido, y la técnica de medición para el método de tensión-corriente.

La disposición de los electrodos es la siguiente:

En esta medición intervienen 3 electrodos hincados en el terreno:

E1 es la puesta a tierra cuya resistencia se desea medir.

E2 y **E3** son jabalinas auxiliares que se instalan para realizar la medición, y se retiran cuando ella finaliza. Normalmente se utilizan las jabalinas de 50 cm., que se entregan con el telurómetro para ese fin.

Para realizar esta medición, los bornes **E_{XC}** y **E_{XT}** del telurómetro deben estar cortocircuitados mediante la chapita que se provee con el equipo.

Los pasos a seguir para efectuar una medición son los siguientes:

1.1.- Clave en el terreno dos jabalinas auxiliares: la sonda **E2** (también llamado electrodo de tensión) y la jabalina auxiliar de corriente **E3**.

Las distancias normalmente utilizadas son:

- Entre E1 y E2: 15 m.
- Entre E1 y E3: 20 m.

1.2.- Realizar las siguientes conexiones, utilizando los cables que se proveen:

- El borne de la puesta a tierra E1 a los bornes Ext y Exc (están cortocircuitados) del telurómetro.
-



La sonda E2 al borne Et del telurómetro.

- La jabalina auxiliar de corriente E3 al borne Ec del telurómetro.

1.3.- Seleccione la escala de 20 KW, oprimiendo la tecla correspondiente (queda retenida).

1.4.- Oprima el pulsador de *ENCENDIDO*. Si suena la alarma acústica significa que existe alguna anomalía en el cableado de las jabalinas, que impide circular la corriente de medición (eventualmente, la razón puede ser una resistencia de difusión exageradamente elevada en la jabalina de corriente). Revise la instalación para subsanar la dificultad.

1.5.- Si no sonó la alarma, el valor que aparece en el indicador digital es la resistencia de puesta a tierra expresada en KW.

1.6.- Si el valor medido es inferior a 2000 W, elija el rango de medición más conveniente oprimiendo las teclas respectivas. En cualquiera de esas escalas el valor medido estará expresado en ohm. La medición se realiza mientras está oprimido el pulsador de *ENCENDIDO*.

5.6. RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LAS MEDICIONES

- ✓ Enterrar uno o más electrodos de tierra de una altura de 3m, y enterrarla a 2.4m como mínimo esto de acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999, para poder crear una malla o red de mallas
- ✓ Para realizar una medición por el método del 62 % se selecciona un electrodo al azar



- ✓ Por ejemplo si se desea calcular la resistencia de tierra a una distancia de 15m se colocaran dos electrodos de 30 cm cada uno. El segundo a 9.3m del primer electrodo (esto es el 62 % de 15m)
- ✓ El tercero a 15m, que será el 100 % de la distancia
- ✓ El telurómetro aplica una diferencia de potencial a los electrodos
- ✓ Desplazar el interruptor al símbolo de resistencia
- ✓ Presionar el botón, por medio de la perilla girar, observar en la carátula la escala de corriente, y verificar que se encuentre en el valor cero de corriente para obtener una medición más exacta
- ✓ Realizar varias mediciones de la misma manera pero tomando como referencia otros electrodos
- ✓ Sacar una medición promedio de todos los valores obtenidos. El valor obtenido es la resistencia más exacta del terreno.



CAPITULO 6

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PARA EL PARARRAYOS INSTALADO EN LAS SALAS DE CÓMPUTO DE LA FACULTAD TÉCNICA

6.1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La ingeniería de diseño eléctrico comprende la elaboración de especificaciones de materiales para el sistema de tierra y conexiones a tierra de dispositivos eléctricos y electrónicos para el pararrayos de las Salas de Cómputo.

El objetivo del diseño será proveer una instalación eléctrica con las siguientes características:

- ✓ Seguridad
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Confiabilidad
- ✓ Facilidad de expansión
- ✓ Simplicidad
- ✓ Economía

El sistema de puesta a tierra es un componente primordial en la instalación del pararrayos. Debe cumplir con las partes aplicables de la última edición de las normas que se indica a continuación:

ANSI:	American National Standard Institute.
--------------	---------------------------------------



NEMA:	National Electric Manufactures Association.
ASTM:	American Society of Testing Materials.
NFPA:	National Fire Protection Association.
NEC:	National Electrical Code.
IEEE:	Institute of Electrical and Electronic Engineers.

Tabla 6.1. Normas Eléctricas empleadas para el Sistema de Puesta a Tierra del Pararrayos implementado en las Salas de Cómputo de la Facultad Técnica

La tierra es el punto de potencial cero, masa o energía mínima que mejor se adapta a los requisitos de la instalación de protección eléctrica, siendo utilizada como tensión de referencia o tensión neutra. No obstante, el valor de este potencial no es constante en todos los terrenos, viéndose influenciada por corrientes telúricas u otras anomalías.

Para un mismo tipo de terreno, los valores de la resistividad no se mantendrán constantes a lo largo del año, variando desde valores mínimos en épocas lluviosas y húmedas; y a valores máximos durante los periodos secos. Los materiales conectados en la puesta a tierra son las partes metálicas normalmente sin tensión.



La conexión a tierra de partes no metálicas y por tanto no conductoras, no produciría el menor efecto por la falta de continuidad.

La conexión de las partes metálicas, normalmente en tensión, resultarían del todo negativas, ya que las corrientes fluirían hacia tierra directamente como fugas a tierras, sin producir el trabajo al que están encomendadas.

La correcta conexión a tierra de todo el sistema eléctrico es un factor de suma importancia para la seguridad del personal y del equipo eléctrico en sí.

El propósito que se persigue éste proyecto con la existencia de los sistemas de tierra es:

- a.** Protección para el personal operativo, autorizado o no autorizado.
- b.** Protección a los equipos e instalaciones contra tensiones peligrosas.
- c.** Evitar que durante la circulación de falla a tierra, se produzcan diferencias de potencial entre distintos puntos de la instalación, proporcionando para esto, un circuito de muy baja impedancia para la circulación de estas corrientes.
- d.** Apego a normas y reglamentos públicos en vigor.
- e.** Mejorar calidad del servicio
- f.** Disipar la corriente asociada a descargas atmosféricas y limitar las sobre tensiones generadas.
- g.** Dispersar las cargas estáticas a tierra.
- h.** Impedir la acumulación de cargas electrostáticas o inducidas en los equipos, máquinas o elementos metálicos que se hallen en zonas con riesgo de explosión.



- i. Constituye un sistema de protección contra incendios, al limitar en tiempo y valor las corrientes de fuga.

El sistema de puesta a tierra fue usado para dispersar la corriente de rayo, viene por las bajantes reduciendo al mismo tiempo el peligro de tener tensiones de paso y de contacto peligrosas. La forma de la puesta a tierra y sus dimensiones son un criterio importante en su diseño. En términos generales para el sistema de protección externo se buscó un bajo valor de resistencia de puesta a tierra menor a 2.5Ω .

El sistema de puesta a tierra de la protección contra rayos, está integrado con todos los demás sistemas de puesta a tierra (comunicaciones, potencia, protección externa) por medio de uniones que garantizan la equipotencialidad en todas las condiciones de operación.

Se especificó el valor de la resistencia que esperábamos obtener, y determinamos la resistividad promedio del suelo donde realizamos la instalación. La resistividad es un parámetro que se pudo conseguir mediante mediciones realizadas con el **telurómetro** con los métodos de medición más conocidos: el de Wenner y el de Schlumberger (*capítulo 5*). Es necesario recordar que el valor de resistividad del terreno es variable en el tiempo. Este parámetro puede provocar que en determinadas épocas del año el valor de resistencia de nuestro sistema se eleve más de lo esperado, ya que en condiciones de humedad el suelo tendrá un valor de resistividad diferente al que se puede obtener en condiciones de sequía.



6.2. DEFINICIÓN DE PUESTA A TIERRA

La denominación de puesta a tierra comprende toda la conexión metálica directa, sin fusible ni protección alguna de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un grupo de varillas enterradas en el suelo.

Su objetivo es el de conseguir que en el conjunto de instalaciones de la edificación y superficies próximas del terreno, no existan diferencias de potencial peligrosas y que al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falla o de las descargas de origen atmosférico.

Este sistema de protección se basa en impedir que se produzcan tensiones o diferencias de potencial superiores a los 24 V, capaces de enviar a tierra cualquier corriente de fuga o de derivación, debido a las descargas atmosféricas.

6.3. PARTES DE LA PUESTA A TIERRA IMPLEMENTADA PARA EL PARARRAYOS DE LAS SALAS DE CÓMPUTO DE LA FACULTAD TÉCNICA

El sistema de puesta a tierra consta de los elementos agrupados de la siguiente forma:

- Terreno o tierra. Encargado de disipar todas las energías que a él accedan.
- Toma de tierra. Parte enterrada en el terreno, formada por:
 - Las Varillas
 - Línea de enlace con tierra
 - Punto de puesta a tierra
- Instalación de puesta a tierra. Parte exterior al terreno, formada por:
 - Línea principal de tierra
 - Derivaciones de la línea principal de tierra
 - Conductores de protección



6.4. DIFERENCIA ENTRE NEUTRO Y TIERRA

La diferencia de estos dos elementos es que el neutro lo usamos como regreso de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso de suministro eléctrico.

Por otro lado la conexión a tierra, es la conexión que usamos para que circule la corriente no deseada o descargas eléctricas hacia tierra para evitar que dañen a equipos eléctricos, electrónicos e incluso a personas, explicado de otra forma es la conexión que usamos para la protección personal y de equipos contra sobre tensiones o descargas eléctricas de cualquier tipo.

6.5. VARILLAS DE PUESTA A TIERRA COLOCADAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PARARRAYOS

Las varillas de tierra fueron instaladas de manera tal que se puede realizar una inspección durante su construcción. Además, minimizan los efectos de corrosión, sequedad y congelamiento del suelo para así estabilizar la resistencia convencional de puesta a Tierra.

6.5.1. Configuración de las Varillas de Tierra

Para realizar el sistema de puesta a tierra fueron necesarias tres varillas copperweld, las cuales se eligieron de entre muchos tipos.

6.5.2. Tipo de Varilla usada para la Puesta a Tierra

La varilla de tierra se puede encontrar en diferentes tamaños, formas y con diferentes características. A continuación se describe el tipo de varilla colocada:



a. Varilla Copperweld

Esta varilla usada para la implementación en las Salas de Cómputo de la Facultad Técnica está diseñada de acero y laminada de cobre, su longitud es de 1.8 metros y un diámetro de 16 milímetros.

La varilla fue enterrada en forma vertical y a una profundidad de 2.4 metros, esto por norma.



Figura 6.5.2. (a) Varilla Copperweld usada para la implementación en las Salas de Cómputo

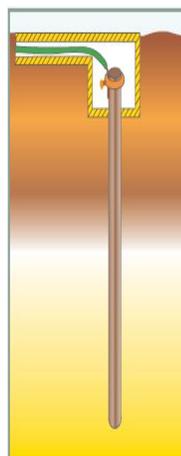


Figura 6.5.3. (a)' Forma como se enterró la Varilla Copperweld



También por norma se acepta que la varilla vaya enterrada en forma horizontal, siempre y cuando sea en una zanja de mínimo 80 cm de profundidad, pero no es muy recomendable, puesto que para este proyecto fue enterrada en forma vertical y a 60 cm de la superficie.

La varilla copperweld no tiene mucha área de contacto, pero sí una longitud considerable, con la cual es posible un contacto con capas de tierra húmedas, lo cual se obtiene un valor de resistencia bajo.



Figura 6.5.3 (a) Excavación de la Zanja para enterrar la Varilla Copperweld en las Salas de Cómputo de la Facultad Técnica



6.6. MEJORAMIENTO DEL TERRENO

6.6.1. Relleno

Derramando una mezcla de sustancias químicas y de tierra tratada en el volumen alrededor de la varilla, se obtuvo una reducción inmediata y significativa en su resistencia de puesta a tierra.

Sin embargo, si los elementos químicos usados se eligen debido a que son solubles, continuarán diluyéndose progresivamente por agua de lluvia u otra causa, y la resistividad del suelo aumentará hasta eventualmente retornar a su valor original. Se necesita un mantenimiento regular para reaprovisionamiento de los elementos químicos diluidos.

Debe considerarse el impacto en el ambiente local de las sustancias químicas incorporadas, lo que puede entrar en conflicto con el régimen de protección al ambiente. Esta razón descarta un grupo de materiales que antiguamente se empleaban como relleno.

El material de relleno fue no-corrosivo, de un tamaño de partícula relativamente pequeño y que ayudará a retener la humedad. No fue necesario demasiado material de relleno, debido a que no hay deficiencia de conductividad eléctrica del terreno.

El grado de mejoramiento dependió principalmente del valor de resistividad original del terreno, de su estructura y del tamaño del sistema de las varillas.



6.6.2. Material especial de Relleno

El mejoramiento de la conductividad entre la varilla y el terreno es una técnica que por su efectividad se empleó en el diseño del sistema de puesta a tierra, en la que fue utilizado un compuesto artificial llamado GEM.

Debido a que el suelo no es el mejor catalizador para el intercambio de iones, al utilizar un compuesto que pueda facilitar ese intercambio, mejoramos la resistencia de puesta a tierra de nuestro sistema.

A la hora de seleccionar el componente que facilitará la conductividad entre la varilla y el terreno hay que tomar en cuenta ciertos beneficios que el compuesto nos debe ofrecer como:

- Baja resistencia y estabilización en el tiempo. Esto se logró utilizando un compuesto de fácil compactación, que además de ser altamente conductivo tenga la capacidad de proteger la varilla de cobre de la corrosión (*un sistema de puesta a tierra debe ser diseñado para garantizar una resistencia sin mayores variaciones durante al menos 15 años*)
- Ser un compuesto no contaminante del suelo, certificado por un laboratorio u organismo acreditado que demuestre que el elemento es ambientalmente seguro.



- Ser un compuesto capaz de ofrecer una baja impedancia al momento de una sobretensión, esto es particularmente importante para el caso de sistemas de puesta a tierra de pararrayos, o de protectores contra voltajes transitorios.



Figura 6.6.2. Utilización de GEM para mejoramiento del Sistema de Puesta a Tierra para el pararrayos implementado en la salas de cómputo de la Facultad Técnica.

El problema de lograr una resistencia baja está asociado con el material en contacto con la varilla y la compactación que éste recibe al rellenar el agujero.

Existe un método el cual consiste en excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con unos 20 o 40kg del compuesto químico GEM.

La primera carga con GEM dura unos 2 o 3 años y, las posteriores aún más, por lo que el mantenimiento es menos frecuente con el tiempo.

6.6.3. Caja de Registro

Cuando se instala una varilla de tierra, es recomendable tener un registro. El registro consiste en un pedazo de un tubo plástico (PVC).



El objetivo de tener este registro es para poder ubicar el lugar donde se encuentra la varilla con facilidad y para que después de un cierto tiempo se le pueda dar mantenimiento.



Figura 6.6.3. (a) Caja de Registro usada en el sistema de puesta a tierra

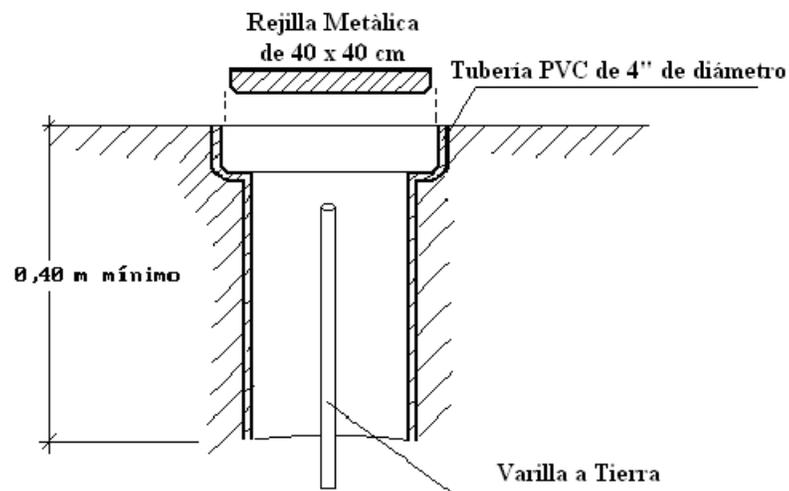


Figura 6.6.3. (b) Características de la Caja de Registro



6.7. CONDUCTOR O CABLE UTILIZADO EN EL PROYECTO

El conductor de las varillas disponibles del sistema de puesta a tierra del proyecto puede llevarse sin ningún empalme y es dimensionado según el mayor calibre requerido para todas las varillas.

Este cable es de 2/0 AWG de cobre y fue soldado exotérmicamente para poder asegurar su contacto y continuidad en el sistema de conexión.

Se procuró usar un cable desnudo para que todas las partes metálicas de la instalación queden conectadas a tierra.

6.8. CONECTORES DE PUESTA A TIERRA DEL PROYECTO

Los conectores de los conductores de la puesta a tierra con las varillas fueron del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas y otros medios aprobados, puesto que no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.).



Figura 6.8. Conector de Puesta a Tierra del tipo Soldadura Exotérmica en los exteriores de la Sala de Cómputo.



Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben ser compatibles con los materiales de los conductores y con las varillas de puesta a tierra, porque deben ser las apropiadas cuando vayan a ser enterradas.

6.9. INSTALACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA

La instalación de puesta a tierra se compone esencialmente de varillas de cobre, que son los elementos que están en íntimo contacto con el suelo (enterrados) y de conductores, utilizados para enlazar a las varillas entre si y a éstos con los gabinetes de los equipos y demás instalaciones expuestas a corrientes nocivas, manteniendo al mismo tiempo, una superficie equipotencial a su alrededor.

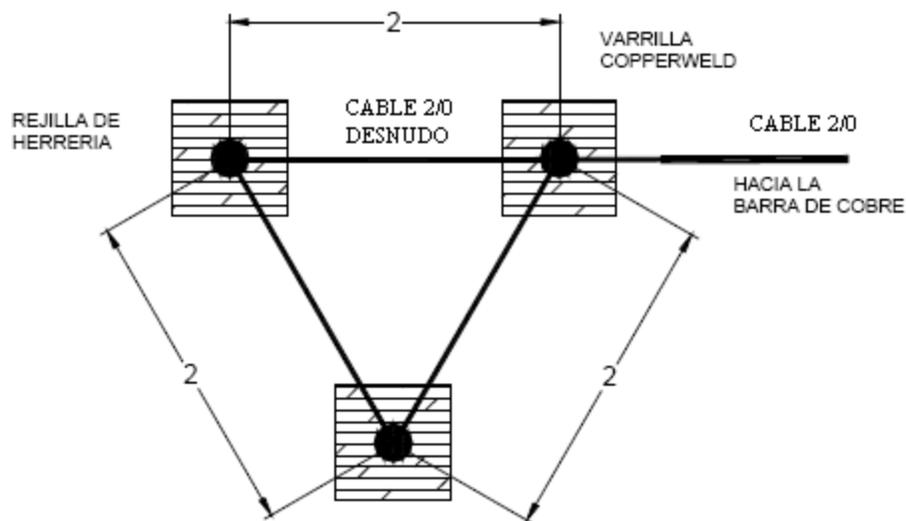


Figura 6.9. (a) Configuración de la Conexión de las Varillas de Puesta a Tierra



Figura 6.9. (b) Medición de la Resistencia de Tierra con el Telurómetro para el proyecto de Tesis

El sistema de tierra para la edificación tuvo una resistencia máxima de **1.8 ohmios**; y el pararrayos se montó en una estructura metálica de doce metros con bajante en cable de cobre desnudo calibre 2/0AWG.



Figura 6.9. (c) Imagen capturada del parrarrayos montado en las salas de cómputo de la facultad tècnica



La puesta a tierra estuvo conformada por tres varillas copperweld de 5/8" x 6 pies, separadas de dos a tres metros entre si y unidas mediante conductor 2/0AWG, y se instaló en cada uno de los extremos de las plataformas.

La unión varilla - cable y cualquier prolongación del conductor se la hizo con soldadura exotérmica del tipo Cadweld o equivalente. Como la resistencia a tierra marcó un valor menor a 2.5 ohmios, no se debió colocar varillas de copperweld adicionales. Pero se realizó un tratamiento del suelo con elementos químicos para obtener un valor adecuado.



Figura 6.9. (d) Conector de la Puesta a Tierra implementado en los exteriores de la Sala de Cómputo.

La continuidad del sistema de tierra se mantuvo a través de todo el sistema de distribución, esto para asegurar la operación de los elementos de protección y eliminar voltajes peligrosos causados por altas corrientes de corto circuito.



6.9.1. Materiales para el Proyecto

Los componentes de la puesta a tierra soportan los efectos electromagnéticos producidos por las corrientes de rayo y esfuerzos accidentales predecibles sin ser dañados. Estos fueron elegidos a partir de los materiales que se muestra en la Tabla 6.9.1, o de otros materiales con características mecánicas, eléctricas y químicas (corrosión) equivalentes.

Material	Uso			Resistencia	Aceleración	Destruída por acople galvánico con:
	Al aire Libre	Enterrado	En concreto			
Cobre	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado Como cubierta	Sólido Trenzado Como cubierta	Bueno en muchos ambientes	Componentes sulfúricos Materiales orgánicos	-
Acero galvanizado en caliente	Sólido Trenzado	Sólido	Sólido Trenzado	Aceptable en aire, en concreto y en suelos benignos	Altas concentraciones de cloruro	Cobre
Acero Inoxidable	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Bueno en muchos ambientes	Altas concentraciones de cloruro	-
Aluminio	Sólido	Inadecuado	Inadecuado	Bueno en atmósferas con bajas concentraciones de cloruros y sulfatos	Soluciones Alcalinas	Cobre
Plomo	Sólido Como cubierta	Sólido Como cubierta	Inadecuado	Bueno en atmósferas con altas concentraciones sulfatos	Sólidos ácidos	Cobre y acero inoxidable

Tabla 6.9.1. Materiales resistentes a los efectos electromagnéticos producidos por la corriente del rayo

Notas:

- Los conductores trenzados son más vulnerables a la corrosión que aquellos sólidos.
- Los conductores trenzados son también vulnerables en el momento en que aquellos entran o salen de posiciones con concreto y tierra. Esta es la razón principal para no recomendar que los conductores trenzados de acero galvanizado no sean recomendados para tierra.



- El acero galvanizado puede ser corroído en suelos arcillosos o húmedos.
- El acero galvanizado en concreto no debe ser extendido al suelo con el fin de evitar la corrosión en el extremo saliente del concreto.
- El acero galvanizado en contacto con el acero del concreto reforzado, puede en algunas circunstancias, causar daño al concreto.
- El uso de plomo en el suelo es evitado o prohibido debido a problemas ambientales.

6.9.2. Fijación de los materiales del proyecto

Los materiales de los captadores aéreos y las bajantes se fijaron de tal manera que fuerzas mecánicas accidentales (vibraciones, expansión térmica, etc.) no causen el rompimiento de los conductores o su pérdida.

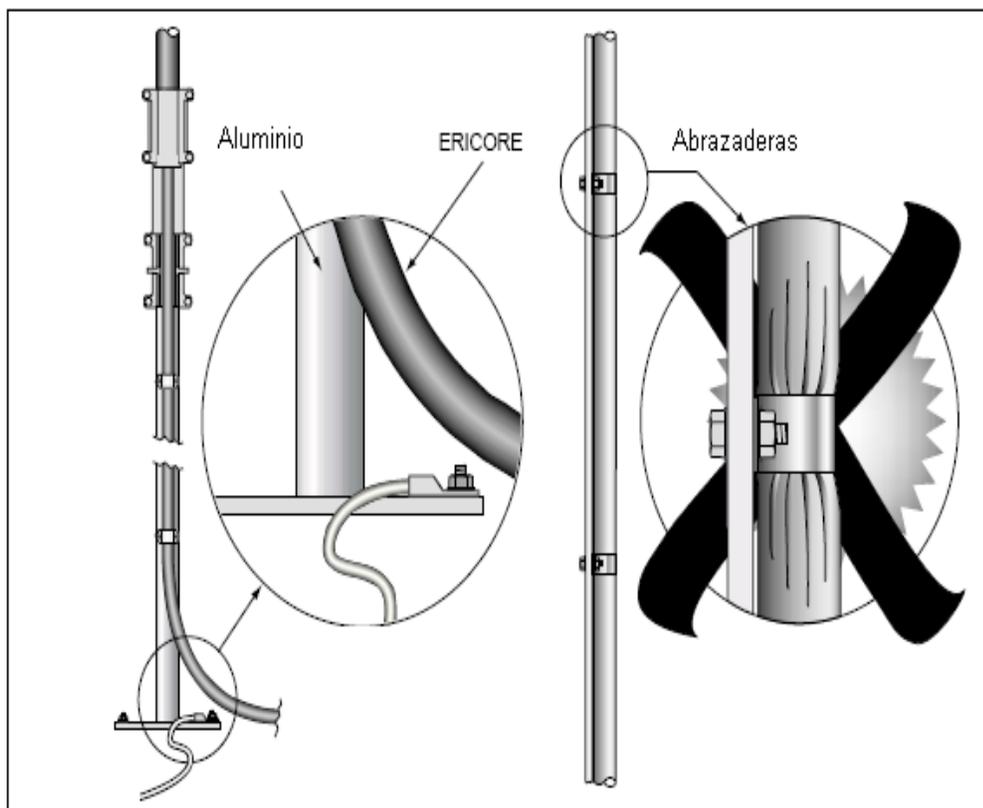


Figura 6.9.2. Disposición de las Abrazaderas y Conductores Bajantes



6.9.3. Conexiones

El número de conexiones a lo largo de los conductores se mantuvo al mínimo. Las conexiones se hicieron de manera segura por medio de abrazaderas, soldaduras, agarraderas, tornillos, etc.

6.9.4. Sistemas de Conductores Bajantes

Con el fin de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo, las bajantes fueron ubicadas de manera tal que a partir del punto de impacto del rayo hasta tierra se cumplan los siguientes requisitos:

- Existencia de varios caminos paralelos para la corriente
- La longitud de los caminos de corriente sea mínima
- Los **equipotencialización** a partes conductoras de la estructura esté hecha de acuerdo con los requisitos del sistema de protección interna.

6.9.4.1. Construcción de los Conductores Bajantes para el Proyecto de Tesis

La longitud de las bajantes fue la menor posible, evitando la formación de lazos o curvaturas en su trayectoria y en el caso que éstas últimas sean inevitables, su ángulo interior fue menor a **90°** y su radio de curvatura no menor a **200mm**.

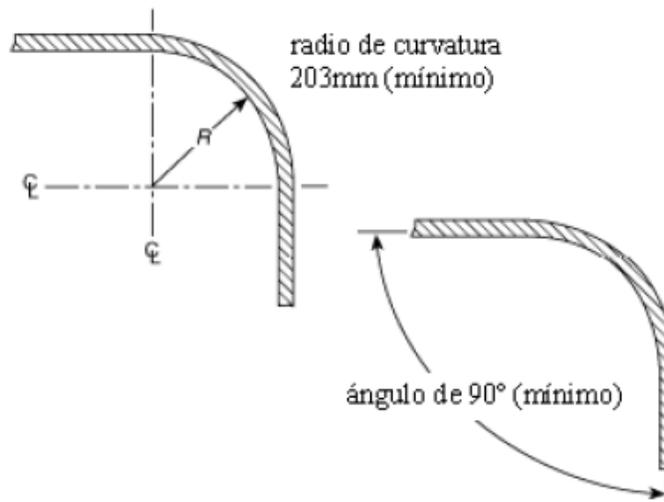


Figura 6.9.4.1. Disposición de los Conductores Bajantes

6.9.4.2. Curvatura de Conductores

Las bajantes fueron instaladas de tal manera que garanticen continuidad eléctrica entre los conductores del sistema de captación. No fueron instaladas dentro de canaletas para aguas aún si éstas estuviesen cubiertas con material aislante.

Los conductores bajantes del sistema de protección externo no aislado de la estructura a proteger fueron instalados siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Las bajantes pueden ser ubicadas sobre la superficie de las paredes si éstas están hechas de material no combustible.
- Si la pared es de material fácilmente combustible las bajantes pueden ser ubicadas sobre la superficie de la pared si se logra garantizar que el incremento de temperatura en las bajantes por el paso de corriente de rayo no sea peligrosa para el material de la pared.



- Si la pared es de material fácilmente combustible y el incremento de temperatura en los conductores de las bajantes es peligrosos, los conductores deben ser instalados de manera tal que la distancia entre la pared y estos sea de al menos 0.1m. cuando esta distancia no se pueda obtener, es indispensable que la sección transversal del conductor no sea menor de 100mm².

6.10. SISTEMAS DE PROTECCIÓN INTERNO

El sistema de protección interno evita la ocurrencia de chispas (descargas eléctricas) peligrosas que podrían presentarse en el interior de la estructura, a causa de la circulación de corriente de rayo en el sistema de protección externo o en otras conductoras de la estructura. Pueden existir descargas eléctricas peligrosas entre el sistema de protección externo y otros componentes como:

- Instalaciones Metálicas
- Sistemas eléctricos y electrónicos que ingresan a la estructura a proteger.
- Partes conductoras externas y líneas conectadas a la estructura.

Las descargas eléctricas peligrosas entre diferentes partes de una instalación pueden ser evitadas con:

- Uniones equipotenciales.
- Aislamiento eléctrico entre las partes en concordancia.



6.11. UNIONES EQUIPOTENCIALES CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

La **equipotencialización** se logra mediante la interconexión del sistema de protección contra rayos con:

- Partes metálicas de la estructura
- Instalaciones metálicas
- Partes conductoras externas y líneas conectadas a la estructura.
- Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de la estructura a ser protegida.

El establecimiento de uniones equipotenciales con sistemas internos puede originar la circulación de corrientes parciales de rayo en dichos sistemas, razón por la cual los efectos de éstas se deberán considerar.

Los medios de conexión se guían de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Conductores equipotenciales donde no existe continuidad eléctrica por unión natural.
- Dispositivos de protección contra sobretensiones, cuando la unión con conductores equipotenciales no es conveniente.

Nota: Los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones deberán ser instalados de tal forma que puedan ser inspeccionados.



6.12. CONEXIÓN EXOTÉRMICA CADWELD

Un proceso de soldadura que elimina la conexión al formar una unión molecular. Las conexiones son el punto débil de todos los circuitos eléctricos, en particular los de puesta a tierra, sujetos al envejecimiento y corrosión. La capacidad de un circuito de puesta a tierra de proteger la seguridad de las personas dependerá de la calidad de las conexiones realizadas.



Figura 6.12. (a) Molde de Grafito capturado durante la implementación del proyecto

El proceso nos ofrece un método para realizar uniones moleculares entre cobre/cobre, cobre/acero normal o galvanizado, cobre/acero revestido de cobre, cobre/bronce/latón/acero inoxidable y acero/acero sin necesidad de fuente de energía o de calor externa.

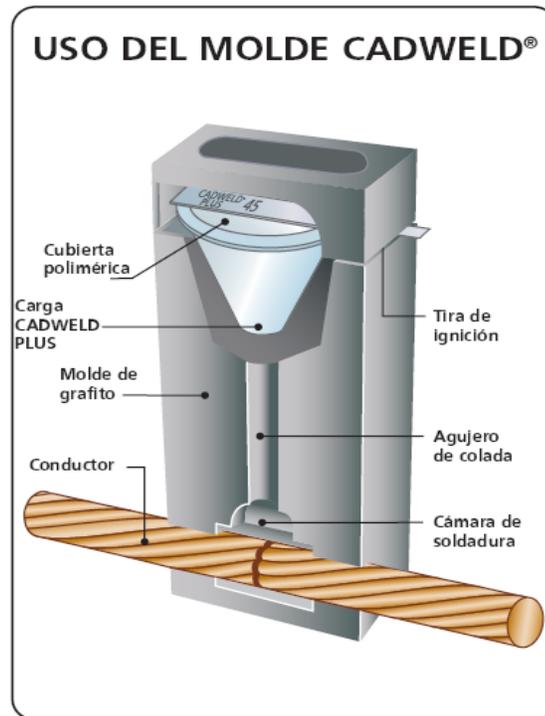


Figura 6.12. (b) Descripción de Partes acerca del Uso del Molde de Grafito para la Soldadura Exotérmica

El principio consiste en combinar material de soldadura con un agente de ignición en un molde de grafito adecuado.



Dimensión nominal del cable		Referencia de molde CADWELD	Número de hilos	Diámetro nominal del hilo (mm)	Diámetro nominal del cable (mm)	Diámetro nominal del cable (pulg)	Sección nominal del hilo (mm²)	Sección nominal del conductor (mm²)
AWG	Sección (mm²)							
#10	6	1B	7	0.98	2.95	0.12	0.75	5.26
		A7	7	1.04	3.12	0.12	0.85	5.95
#8		1E	7	1.23	3.71	0.15	1.19	8.32
	10	W2	7	1.35	4.05	0.16	1.43	10.02
#6		1H	7	1.55	4.67	0.18	1.89	13.21
	16	W3	7	1.70	5.10	0.20	2.27	15.89
#4		1L	7	1.96	5.89	0.23	3.02	21.12
	25	Y1	7	2.14	6.42	0.25	3.60	25.18
#3		1Q	7	2.20	6.60	0.26	3.80	26.61
	25	Y1	19	1.35	6.75	0.27	1.43	27.20
#2		1V	7	2.47	7.42	0.29	4.79	33.54
#2 Macizo	35	1T	1	6.54	6.54	0.26	33.62	33.62
		Y2	19	1.53	7.65	0.30	1.84	34.93
#1		1Y	19	1.50	8.43	0.33	1.77	33.58
#1 Macizo	50	1X	1	7.35	7.35	0.29	42.41	42.41
		Y3	19	1.78	8.90	0.35	2.49	47.28
1/0 Macizo	70	2B	1	8.25	8.25	0.32	53.49	53.49
1/0		2C	19	1.89	9.46	0.07	2.81	53.43
2/0 Macizo		2F	1	9.27	9.27	0.36	67.43	67.43
2/0	95	2G	19	2.13	10.65	0.42	3.56	67.70
		Y4	19	2.14	10.70	0.42	3.60	68.34
	95	Y5	37	1.78	12.46	0.49	2.49	92.07
		Y5	19	2.52	12.60	0.50	4.99	94.76
3/0	120	2L	19	2.59	12.95	0.47	5.27	100.10
4/0 Solid		2P	1	11.68	11.68	0.46	107.22	107.22
4/0	150	2Q	19	2.89	13.41	0.53	6.56	124.63
		Y6	37	2.03	14.21	0.56	3.24	119.75
250 KCM	150	2V	37	2.07	14.61	0.58	3.37	124.52
		Y7	37	2.25	15.75	0.62	3.98	147.11
300 KCM	185	3A	37	2.29	16.00	0.63	4.12	152.39
350 KCM		3D	37	2.47	17.30	0.68	4.79	177.29
400 KCM	240	Y8	37	2.52	17.64	0.69	4.99	184.54
		3H	37	2.64	18.49	0.73	5.47	202.53
500 KCM	300	Y9	61	2.25	20.25	0.80	3.98	242.54
		3Q	61	2.30	20.65	0.81	4.15	253.44
		Y0	61	2.52	22.68	0.89	4.99	304.24

Tabla 6.12. Descripción de la Dimensión del Cable y Molde para la Soldadura

Exotérmica

La reducción del óxido de cobre mediante aluminio genera una escoria de cobre y óxido de aluminio fundido a temperaturas extremadamente altas.



La forma del molde, sus dimensiones y el tamaño del metal fundido dependerán de los componentes que vayan a soldarse y de su tamaño.

La unidad de ignición CADWELD inicia la reacción del crisol de metal. La unidad estándar incluye un cable de 1,8 metros (6 pies). Este cable se conecta a la tira de ignición mediante un clip cuyo conector ha sido específicamente diseñado.

Una vez instalado el clip de conexión en la tira de ignición, el instalador pulsa durante unos instantes el botón de ignición para iniciar la secuencia de carga y descarga. En unos instantes, la unidad de encendido enviará una tensión predeterminada a la tira de ignición, iniciando la reacción.

La soldadura Exotérmica:

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



Figura 6.12. (c) Pasos a seguir para realizar la Soldadura Exotérmica

Es un sistema bastante fiable dado que la unión molecular elimina el concepto de contacto superficial, los electrólitos no pueden penetrar entre los conductores y provocar la oxidación y el deterioro. Esta fiabilidad es de especial interés en entornos químicos o húmedos, así como en el caso de conexiones directamente enterradas en tierra.

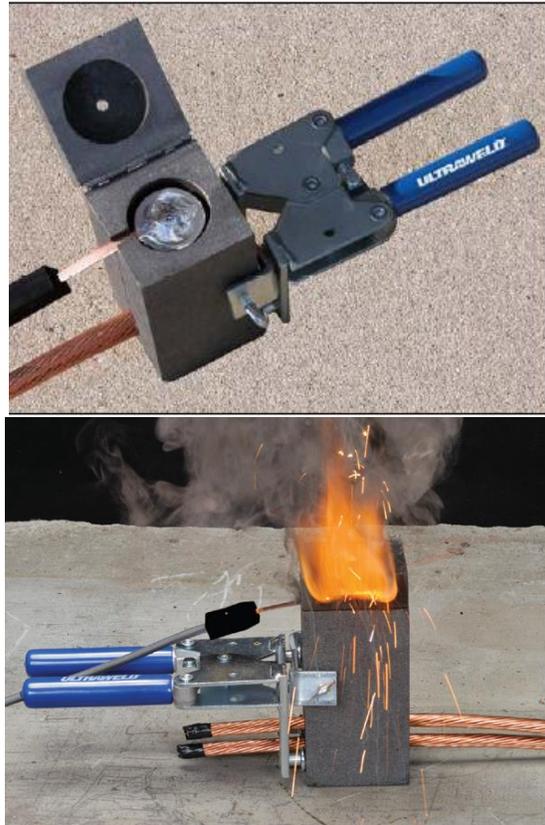


Figura 6.12. (d) Momento de la ignición en el Molde de Grafito

La temperatura de fusión del material de soldadura CADWELD es mayor que la del cobre (1082 °C). Por este motivo, incluso en caso de elevación anormal de la temperatura causada por una corriente de falta excesiva, el conductor se destruye antes de la conexión. Conformen una unión sólida en torno a los conductores, garantizando la continuidad. La sección eléctrica de la soldadura tiene una mayor capacidad que la de los conductores.

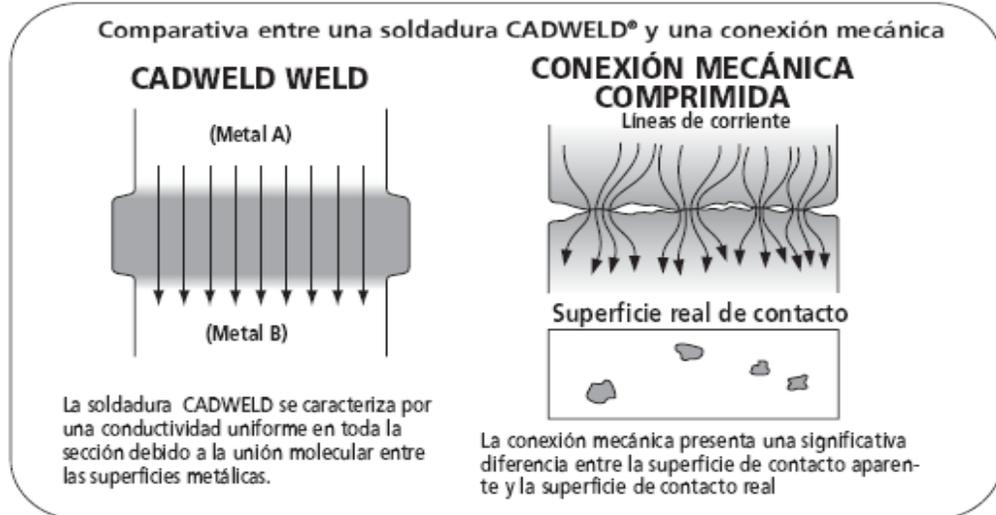


Figura 6.13. (e) Comparación entre la Soldadura Exotérmica y una Conexión Mecánica

6.13. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL PROYECTO

6.13.1. Objetivo del Mantenimiento del sistema de puesta a tierra

El objetivo de las inspecciones es determinar qué:

- Todos los componentes del Sistema de Puesta a Tierra estén en buena condición, aptos para realizar las funciones para las cuales fueron diseñados y evitar la corrosión.
- Estén incorporados dentro del sistema de Puesta a Tierra de la edificación las construcciones o servicios adicionados recientemente.



6.13.2. Inspección del Mantenimiento del sistema de puesta a tierra

- Durante la construcción de la estructura, con el fin de verificar los electrodos embebidos.
- Después de la instalación del sistema de Puesta a Tierra.
- Periódicamente a intervalos determinados con respecto a la naturaleza de la estructura a ser protegida (dependiendo de los problemas de corrosión del Sistema de Puesta a Tierra).
- Después de alteración o reparaciones, o cuando se tiene conocimiento que la estructura ha sido impactada por el rayo.

Durante la inspección periódica es importante verificar lo siguiente:

- Deterioro y corrosión de elementos de terminales de captación aéreos, conductores y conexiones.
- Corrosión de los electrodos de puesta a tierra.
- Valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra.
- Condiciones de conexión, unión equipotencial y fijación.

Las inspecciones regulares están entre las condiciones fundamentales para el mantenimiento confiable del Sistema de Puesta a Tierra. La frecuencia del mantenimiento y la práctica recomendada en la instalación depende de su tipo y tamaño, su función y su nivel de voltaje. Se recomienda que la instalación se verifique cada dos a tres años.



El sistema de instalación debe ser objeto de dos tipos de mantenimiento:

- Inspección a intervalos frecuentes de aquellas componentes que son accesibles o que pueden fácilmente hacerse accesibles.
- Examen, incluyendo una inspección rigurosa y, posiblemente prueba.
- La **inspección** del sistema de tierra en la instalación normalmente ocurre asociada con la visita para otra labor de mantenimiento. Consiste de una inspección visual sólo de aquellas partes del sistema que pueden verse directamente, particularmente observando evidencia de desgaste, corrosión, vandalismo o robo.

El procedimiento en diferentes instalaciones es el siguiente:

- ✓ La inspección normalmente toma lugar asociada con otro trabajo en el lugar, por ejemplo, mejoramiento del servicio, extensiones, etc. Se asegura que la conexión entre los terminales de tierra sean de dimensión suficiente para cumplir la reglamentación.

El **examen** del sistema de tierra radica en una muy rigurosa y detallada inspección, debe satisfacer las normas de puesta a tierra vigentes.

Como parte del examen se requieren dos tipos de pruebas independientes:

- ✓ Prueba de la resistencia de tierra. Se dispone de instrumentos de prueba comerciales para este propósito como el telurómetro.



CAPITULO 7

CÁLCULOS REALIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PARARRAYOS PARA LAS SALAS DE CÓMPUTO DE LA FACULTAD TÉCNICA

7.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

7.1.1. Cálculo de la Resistividad del Terreno – Método de Wenner 4

Electrodos

Para determinar el valor del diseño de puesta a tierra, como premisa se estableció el terreno disponible y necesario, el cual nos permitió conocer un valor único que refleja el comportamiento global del terreno, mediante un hipervinculado en el Programa Microsoft Excel (*hoja de cálculo adjuntada en el CD-ROM de tesis de grado*), que establece este valor según el criterio **Burgsdorf & Yakobs**.

Fórmula Aplicada

$$\rho = \frac{4\pi RD}{1 + \frac{2D}{\sqrt{D^2 + 4p^2}} - \frac{D}{\sqrt{D^2 + p^2}}}$$

donde:

- ρ = Resistividad específica del terreno
- D = Distancia entre jabalinas (separación)
- p = Profundidad de penetración de las jabalinas auxiliares
- R = Valor indicado en el display



Resultado de Resistividad por Estratos

$\rho(1m) =$	20,5087	Ω/m
$\rho(2m) =$	25,7463	Ω/m
$\rho(3m) =$	1,89311	Ω/m

7.1.2. Método de Burgsdorf & Yakobs en base a la Resistividad Equivalente

Datos:

- F** = Valor estadístico para la resistividad del terreno
 ρ_{eq} = Resistividad equivalente para 3 estratos de terreno
r = Radio equivalente de la malla en mtrs
S = Superficie de la malla en mtrs²
 h^2 = Componente de profundidad de los estratos
E = Estratos en mtrs
b = Profundidad de enterramiento de la malla
n = # de Estratos tomados
R_o = Resistencia Aparente

$q^2 = 18,73644$			
$R_o^2 = 7,70775$	E1= 1 mtrs	$F_1 = 0,28129$	$V_1^2 = 7,097887308 < R_o^2$
$h_1^2 = 1 \text{ mtrs}$	E2= 2 mtrs	$F_2 = 0,62501$	
$h_2^2 = 9 \text{ mtrs}$	E3= 3 mtrs	$F_3 = 0,82941$	
$h_3^2 = 36 \text{ mtrs}$	Fn= 3		$V_2^2 = 4,69685454$
	S= 25 mtrs²		$V_3^2 = 2,405373197$
	r= 2.82095 mtrs		
	b= 0,50 mtrs		

El estudio Geoeléctrico concluye un terreno de tres estratos:



$$\begin{aligned}\rho_1 &= 20,50870 \quad \Omega / \text{mtrs} \\ \rho_2 &= 25,74630 \quad \Omega / \text{mtrs} \\ \rho_3 &= 1,89311 \quad \Omega / \text{mtrs}\end{aligned}$$

Puesto que en el estudio del terreno se determinó que éste se trata de tres estratos, la fórmula para la resistividad equivalente quedaría definida como se indica en el tema 7.1.3.

7.1.3. Fórmula de la Resistividad equivalente

Fórmula Aplicada:

$$\rho_{\text{eq.}} = \frac{F_n}{\frac{F_1}{\rho_1} + \frac{F_2 - F_1}{\rho_2} + \frac{F_3 - F_2}{\rho_3}}$$

Donde **n** es el número de estratos.

Con esta fórmula se determina F_i como un valor estadístico y queda determinado por:

$$F_i = \sqrt{1 - \frac{V_i^2}{R_o^2}}$$

Por otra parte tenemos que:

$$V_i^2 = \frac{1}{2} \times \left[q^2 + h_i^2 + R_o^2 - \sqrt{(q^2 + h_i^2 + R_o^2)^2 - 4 \times q^2 \times R_o^2} \right]$$

Donde: $q^2 = 2 \times r \times (r+b)$; $R_o^2 = r^2 - b^2$, para $r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$



r corresponde al radio equivalente de la malla en metros y S la superficie de la malla en

$$r = \sqrt{\frac{25}{\pi}} = 2.82$$

m^2 por lo tanto en el desarrollo de la fórmula tenemos que:

Con estos datos se procede a determinar los valores de las profundidades de los estratos:

$$h_1^2 = (E_1)^2 = 1 \text{ mtrs}$$

$$h_2^2 = (E_1 + E_2)^2 = 9 \text{ mtrs}$$

$$h_3^2 = (E_1 + E_2 + E_3)^2 = 36 \text{ mtrs}$$

Los valores de profundidad son antecedentes necesarios para determinar las variables

V_1^2 ; V_2^2 ; V_3^2 , de acuerdo a la expresión:

$$V_i^2 = \frac{1}{2} \times \left[q^2 + h_i^2 + R_o^2 - \sqrt{(q^2 + h_i^2 + R_o^2)^2 - 4 \times q^2 \times R_o^2} \right]$$

Se obtiene que:

$$V_1^2 = 0,696034268 < R_o^2$$

$$V_2^2 = 0,262869694$$

$$V_3^2 = 0,087464887$$

$$V_1^2 < R_o^2$$

El valor de la Variable V_1^2 siempre será menor que la resistencia aparente para que la resistividad equivalente del terreno quede expresada de la forma:



Resultado de la Resistencia Equivalente

$$\rho_{eq.} = 22,2156 \quad \Omega / \text{mtrs}$$

Una vez establecido un valor representativo del terreno en relación a su comportamiento resistivo, podemos mediante una fórmula respectiva determinar el valor resistivo que presenta el sistema de puesta a tierra que se indica en el tema 7.1.4.

7.1.4. Cálculo de Sistema Puesta a Tierra en función de la resistividad equivalente Método de Schwartz (1 Capa)

Datos:

A = 2 mtrs			
B = 2 mtrs			
S = 25 mtrs ²	K1 = 1,15	Lb = 3,00 mtrs	he = 0,50 mtrs
$\rho_{eq} = 22,21 \Omega / \text{mtrs}$	K2 = 4,78	db = 0,00795mtrs	Lcond = 8 mtrs
		nb = 3 mtrs	d = 0,00926 mtrs

K₁ y K₂ son constantes que dependen de la relación largo y ancho de la malla, de la profundidad h, y en general pueden asumirse como valores aproximados.

Donde:
Lb = Longitud de las barras
L_{cond} = Longitud de los conductores de la malla.
d = Diámetro de los conductores.
db = Diámetro de las barras.
h = Profundidad de la malla
nb = Número de barras.
S = Área cubierta por la malla.

Constantes de Geometría para una profundidad $S < 0.1 \cdot \sqrt{A} = 0,14 \text{ m}$

Número de Bultos de Agregado Químico : 3,6 mtrs L



Características de Barra de Cobre Tipo Jabalina: **COPPERWELD = 5/8" db = 0,0159 mtrs**

Fórmulas Aplicadas:

La malla consiste en el combinado de conductor y varillas, enterrado todo a **S** metros de profundidad, enterrando un área de **A** m² de terreno con una resistividad **p**:

$$K_1 = 143 - \frac{23 \times h_t}{\sqrt{S}} - 0,044 \times \left(\frac{A}{B}\right)$$

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 \times h_t}{\sqrt{S}} + \left(0,15 - \frac{h_t}{\sqrt{S}}\right) \times \left(\frac{A}{B}\right)$$

$$K1 := -0,05 \cdot \frac{L2}{L1} + 1,2$$

$$K2 := 0,1 \cdot \frac{L2}{L1} + 4,68$$

Según la Teoría de Schwarz, **K1** y **K2** son las Constantes de Geometría para una profundidad **S**.

En la malla con un área **A**, enterrada a una profundidad **S**, en un terreno de resistividad **p**, sus varillas electrodo tienen un largo **L** y un radio **r**, con su parte superior también a la profundidad **S**, las varillas electrodo es **B** y la resistividad de la capa inferior donde está enterrada la malla es **p**. El lado más corto es **L1** y lado más largo es **L2**.

Al considerar las características del terreno y de la malla; el siguiente método se considera "exacto". La siguiente expresión permite determinar la resistencia de una malla mediante Schwarz:

$$R_{ms} = \frac{\rho_{es}}{\pi \times Lm} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times Lm}{\sqrt{h_e \times d}} \right) + \left(\frac{K_1 \times Lm}{\sqrt{S}} \right) - K_2 \right]$$



Donde:

- R_{ms} = Resistencia de la malla por Schwarz (Ω).
- $\bar{\rho}_e$ = Resistividad equivalente del terreno (U-m).
- L_m = longitud total del conductor de la malla (m).
- S = superficie de la puesta a tierra (m^2).
- d = diámetro del conductor de la malla (m).
- h_e = profundidad a la cual se entierra la malla (m).
- A = Longitud por el lado de mayor dimensión de la malla (m).
- B = Longitud por el lado de menor dimensión de la malla (m).

Si la resistencia de la malla determinada por Schwarz la denotamos por R_{ms} , la resistencia de los electrodos como R_e , veremos que las expresiones que permite determinar la resistencia del conjunto de la malla-electrodos son:

$$R_e = \frac{\rho_e}{2\pi b L_b} \left[\ln \left(4 \frac{L_b}{db} \right) - 1 + \left(\frac{2K_1 L_b}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{nb} - 1)^2 \right]$$

$$R_{me} = \frac{\rho_e}{\pi L_{cond}} \left[\ln \left(2 \frac{L_{cond}}{L_b} \right) + \left(K_1 \frac{L_{cond}}{\sqrt{A}} \right) \cdot (K_2 + 1) \right]$$

Donde:

- R_e = Resistencia de todas las barras enterradas.
- R_{me} = Resistencia mutua entre el grupo de electrodos y los conductores de la malla.

Resultado de la Resistencia Equivalente:

$R_{ms} = 2,21223 \ \Omega$	RESISTENCIA DE CABLE
$R_e = 1,81085 \ \Omega$	RESISTENCIA DE BARRAS VERTICALES ENTERRADAS
$R_{me} = 1,11764 \ \Omega$	RESISTENCIA MUTUA ENTRE CONDUCTORES
$R_{tc} = 1,54206 \ \Omega$	RESISTENCIA TOTAL O COMBINADA



CAPITULO 8

PROCESO DEL DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA CON PROTECCIÓN A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA LAS SALAS DE CÓMPUTO DE LA FACULTAD TÉCNICA

8.1. SISTEMA INTEGRAL DE PUESTA A TIERRA (SPT)



1. Antecedentes

2. Objetivos

3. Normas y Teoremas

4. Premisas y Consideraciones

5. Equipo Utilizado

6. Medición de Resistividad

7. Conclusión y Recomendaciones





8.2. DISEÑO DE UNA MALLA PUESTA A TIERRA CON PROTECCION PARA DESCARGAS ATMOSFERICAS

8.2.1. Antecedentes

Previa a la obtención de Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico se realiza la puesta en práctica de lo anunciado en la Tesis de Grado con un proyecto de **“PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE UNA MALLA PUESTA A TIERRA CON PROTECCION PARA DESCARGAS ATMOSFERICAS”**

8.2.2. Objetivo

Presentar la memoria de cálculo y diseño proyectado de la malla puesta a tierra aplicando teorías, normas y procedimientos enunciados en la tesis de grado.

Detallando lo siguiente:

- 1.1* Proporcionar una impedancia lo suficientemente baja para facilitar la operación de protecciones puestas a falla.
- 1.2* Mantener los voltajes del sistema dentro de límites razonables bajo condiciones de fallas (descargas atmosféricas – ondas de maniobra o contactos inadvertidos con sistemas de voltajes mayores) asegurando que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrico de las aislaciones.
- 1.3* Drenar las corrientes de fallas o de descargas atmosféricas (rayos) de forma segura bajo régimen de baja impedancia.



1.4 Proteger a las personas que transitan por el área de la malla, para que no queden expuestos a potenciales inseguros en régimen permanente o en condiciones de fallas.

1.5 Equipotenciar todos los elementos cercanos a las mallas

1.6 Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos.

8.3. NORMAS Y TEOREMAS

Para estudiar los Sistemas de Puesta a Tierra, se ha tomado como referencia las siguientes normas y estándares tanto nacionales como internacionales que en este tema casi siempre coinciden, casi todos los países coinciden sus reglamentaciones en el aspecto de la puesta a tierra.

- ANSI/IEEE Std 81 – 1983 IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System.
- IEEE Std. 81 (1983) IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System
- 32 Standard Requirements, Terminology Test Procedure for Neutral Grounding Devices.
- 80 Guide for Safety in AC Substation Grounding.



81 Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System.

665 Standard for Generating Station Grounding.

142 Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.

1100 Recommended Practice Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.

- IEEE Std. 1100 (1999) - IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electrical Equipment.
- Instrucción MIE BT – 008 Puesta a neutro de masas en redes de distribución de energía eléctrica (Reglamento España)
- National Electric Code, Article 250 Grounding. NFC 7 102
- Teoremas de S.J.Schwartz (calculo de mallas) y Burgsdorf – Yacobs (resistencia equivalente)

NFPA – National Fire Protection Association

78 Lightning Protection Code.

30 Flammable and Combustible Liquids Code.

321 Standard on Basic Classification of Flammable and Combustible Liquids.

325 Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatile Solids.



8.4. PREMISAS Y CONSIDERACIONES

- a. Como sistema de protección se adopto una malla de conductores de cobre electrolítico tipo desnudo en calibre AWG #2/0 (33,6 mm²). para la puesta a tierra que limitará la temperatura alcanzada por éstos, cuando transporten la corriente máxima de falla a tierra. Para estos conductores desnudos se transmite energía calórica por el orden de a 250⁰C si las conexiones al cable están hechas con conectores de presión y 450⁰C las conexiones son soldadas.
- b. La malla a proporcionar tendrá forma de algo cuadrado y se alojara a un costado de la sala de cómputo ubicada en la Facultad Técnica de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- c. El radio mínimo de curvatura que se respeto para todas las bajantes será de 15,24 cm (no menor a 90° dirigida hacia el halo de tierra a instalarse).

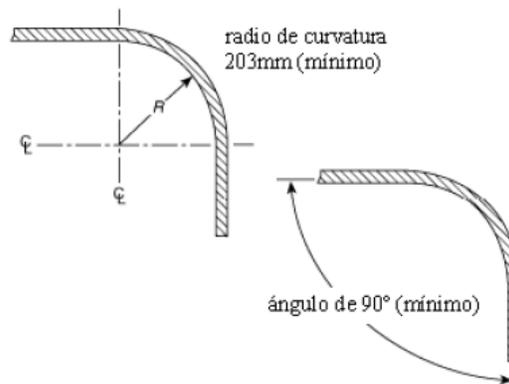


Fig. 8.4.1. Disposición de los Conductores Bajantes



- d.** Todos los acoples o puntos de unión fríos deberán ser de tipo soldado con cargas exotérmicas (Cadweld). La energía calórica para un punto soldado tiende a soportar los 450°C
- e.** Se considero la instalación de varillas de cobre marca Cooperweld de 5/8" x 1,80mts de 10 micras (alta camada) en porcentaje de cobre.



Fig. 8.4.2. Colocación de Varilla de 6"x 5/8" Cooperweld

- f.** Se conecto tanto la estructura de la torreta (soldado exotérmicamente con cable 2/0) como los templadores que sujetan a la misma dirigida a la malla de tierra proyectada.



- g.** El halo de tierra de la malla fue enterrada a 0,60cm del nivel del piso y compactada con tierra firme libre de roca, se utilizaron sales electroquímicas para mantener el ohmiaje estable durante el año y el electrodo horizontal (cable desnudo 2/0) libre de corrosión.
- h.** Se equipotencializan todos los elementos mecánicos involucrados en el criterio de diseño de la malla puesta a tierra (torreta – templadores), uniéndose a la malla existente.
- i.** Las varillas instaladas quedan con una caja registro (rejillas y tuvo PVC 4”), para mantenimiento preventivo durante el año.



Fig. 8.4.3. Caja de Registro usada en el sistema de puesta a tierra



- j.** Se instaló una torreta ventada ($h= 12$ mts) de estructura metálica asentada en la losa de concreto propia del centro de cómputo, ya que esta es el área a proteger contra descargas atmosféricas.



Fig. 8.4.4. Armado de la Torreta de Viento Galvanizada

- k.** Se utilizó como protección de descarga atmosférica un pararrayos tipo dipolo marca PARRES, considerando como cono de protección teoremas del fabricante tales como se demuestran en el capítulo 4 de la Tesis de Grado:

Cono de protección 71° igual a su equivalente de 3 veces la altura de la estructura utilizada (torreta de viento)

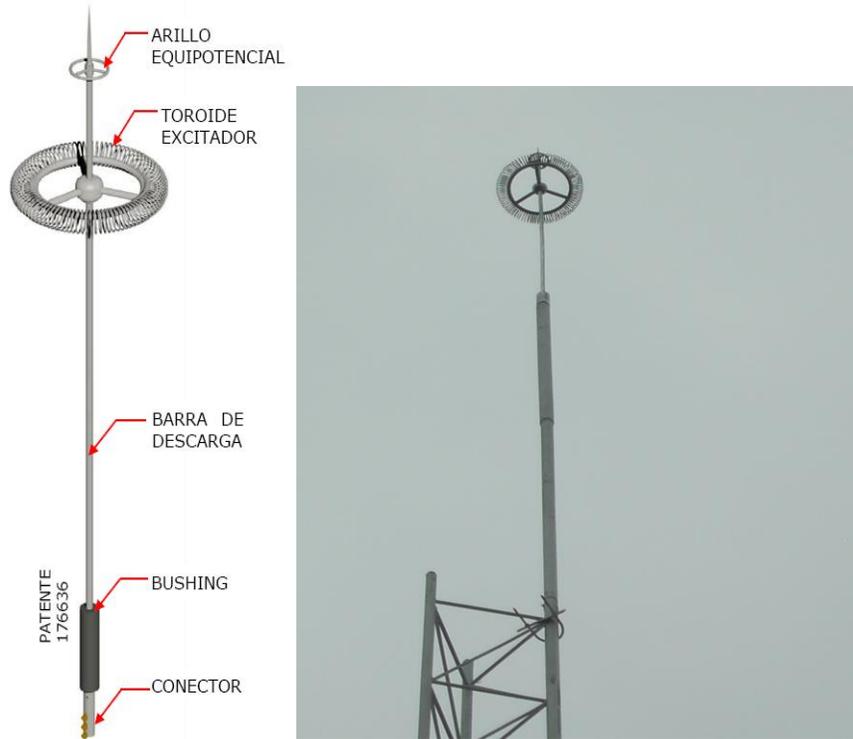


Fig. 8.4.5. Instalación del Pararrayo Dipolo Corona

8.5. EQUIPOS PARA MEDICIONES



**Telurómetro Digital
Ground Probe GP-1**

Fig. 8.5.1. Telurómetro Digital



8.5.1. Aplicaciones del Equipo

Los pasos a seguir para efectuar una medición son los siguientes:

1.1.- Clave en el terreno dos jabalinas auxiliares: la sonda **E2** (también llamado electrodo de tensión) y la jabalina auxiliar de corriente **E3**.

Las distancias normalmente utilizadas son:

- Entre E1 y E2: 15 m.
- Entre E1 y E3: 20 m.

1.2.- Realizar las siguientes conexiones, utilizando los cables que se proveen:

- El borne de la puesta a tierra E1 a los bornes Ext y Exc (están cortocircuitados) del telurómetro.
- La sonda E2 al borne Et del telurómetro.
- La jabalina auxiliar de corriente E3 al borne Ec del telurómetro.

1.3.- Seleccione la escala de 20 KW, oprimiendo la tecla correspondiente (queda retenida).

1.4.- Oprima el pulsador de *ENCENDIDO*. Si suena la alarma acústica significa que existe alguna anomalía en el cableado de las jabalinas, que impide circular la corriente de medición (eventualmente, la razón puede ser una resistencia de difusión exageradamente elevada en la jabalina de corriente). Revise la instalación para subsanar la dificultad.

1.5.- Si no sonó la alarma, el valor que aparece en el indicador digital es la resistencia de puesta a tierra expresada en KW.



1.6.- Si el valor medido es inferior a 2000 W, elija el rango de medición más conveniente oprimiendo las teclas respectivas. En cualquiera de esas escalas el valor medido estará expresado en ohm. La medición se realiza mientras está oprimido el pulsador de *ENCENDIDO*.

8.5.1.1. Medición de resistividad de tierra

De acuerdo con procedimientos físicos establecidos, es posible determinar la resistencia del terreno por medio al método de Wenner (Método Tetraelectrónico,) con toma de series de datos de acuerdo con formato preestablecido, dando como resultado la resistividad aparente del suelo.

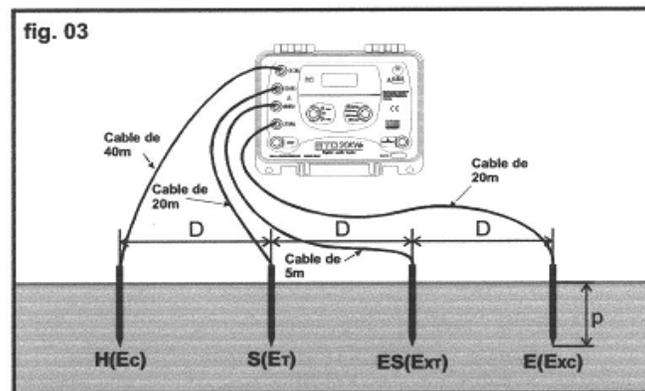


Fig. 8.5.2. Diagrama esquemático del método Wenner

Consiste en introducir cuatro electrodos de prueba en línea recta y separados a distancias iguales (a), enterrados a una profundidad (b) que es igual a la vigésima parte de la separación de los electrodos de prueba ($b = a/20$) y van conectados al equipo de medición, el cual introduce una intensidad de corriente entre los electrodos C1 y C2.



Generando una diferencia de potencial entre los electrodos P1 y P2 (VP1, P2), que será medida por el equipo, a su vez en la pantalla tendremos el resultado de la relación (V/I) que por ley de Ohm es R.

Realizando una medición de campo, mediante el método de las 4 picas equidistantes a una distancia “a” se encontraron los siguientes valores de resistencia del terreno:



Fig. 8.5.3. Colocación de jabalinas para aplicación de método de Wenner

8.6. MÉTODO DE WENNER PARA CÁLCULO DE RESISTIVIDAD

REALIZADO EN CAMPO

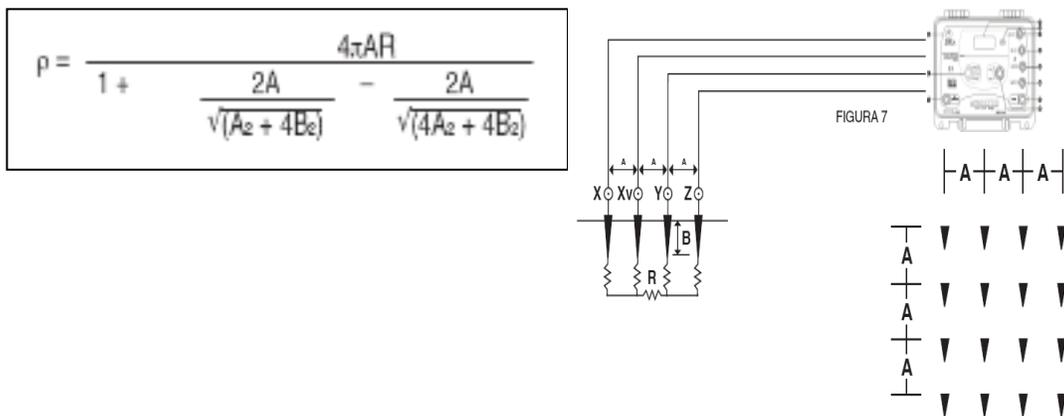


Fig. 8.6.1. Modelo de Método de Wenner

Fórmula 8.6.1. Método de Wenner (Ver proyecto de Tesis – Cap.7)



Distancia	Resistividad
1	20.5087
2	25.7463
3	1.8931

Tabla 8.1. Valores resultantes del cálculo por Método de Wenner (ver proyecto de Tesis – Cap.7)

8.7. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (PAT)

Resistencia Equivalente de los Estratos: Para el estudio geoelectrico del terreno, tomaremos en consideración el método de Burdof-Yakobs, el cual propone una equivalencia de un sistema de 3 o más estratos, a un sistema de 2 estratos, equivalente dentro de un margen aceptable.

Nota: El estudio geoelectrico se denota en los 3 estratos siguientes:

8.8. MÉTODO DE BURGSDORF & YAKOBS – RESISTIVIDAD

EQUIVALENTE

$$\rho_{eq.} = \frac{F_n}{\frac{F_1}{\rho_1} + \frac{F_2 - F_1}{\rho_2} + \frac{F_3 - F_2}{\rho_3}}$$

$$\rho_{eq} = 22.2156 [\Omega \cdot m]$$

Fórmula 8.8.8. Método de Yakobs (ver proyecto de Tesis – Cap.7)



8.9. MÉTODO DE SCHWARTZ PARA CÁLCULO DE MALLA

$$R_{ms} = \frac{\rho_{eq}}{\pi \times L_m} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times L_m}{\sqrt{h_v \times d}} \right) + \left(\frac{K_1 \times L_m}{\sqrt{S}} \right) - K_2 \right]$$

$$R_v = \frac{\rho_v}{2 \times \pi \times L_1 \times n} \times \left[\ln \left(\frac{4 \times L_1}{a} \right) - 1 + \left(\frac{2 \times K_1 \times L_1}{\sqrt{S}} \right) \times (\sqrt{n} - 1) \right] =$$

$$R_m = R_{ms} - \frac{\rho_v}{\pi \times L_m} \times \left[\ln \left(\frac{L_1}{\sqrt{h_v \times d}} \right) - 1 \right] =$$

$$R_{TC} = \frac{R_{ms} \times R_v - R_m^2}{R_{ms} + R_v - 2 \times R_m} =$$

Fórmula 8.8.9. Método de Schwartz (ver proyecto de Tesis – Cap.7)

RESULTADO RESISTENCIA EQUIVALENTE

Rms = 2,21223 Ω	RESISTENCIA DE CABLE ENTERRADO
Re = 1,81085 Ω	RESISTENCIA DE BARRAS VERTICALES ENTERRADAS
Rme = 1,11764 Ω	RESISTENCIA MUTUA ENTRE CONDUCTORES



$$R_{tc} = 1,54206 \ \Omega$$

**RESISTENCIA TOTAL O
COMBINADA**

8.10. CARACTERISTICAS DE LA MALLA

AREA PROPUESTA DE MALLA PAT	3X3 mts / 9 m ²
TIPO DE MALLA	1 Triangular
VARILLAS COPERWEL	1.80 mts x 5/8"
NUMERO DE VARILLA	3 und
SEPARACION ENTRE VARILLAS	+/- 2 mts
CABLE DE CONTRAPESO	#2/0 desnudo / 67.4 mm ²
UNIONES	Soldadura Exotérmica
CAMA DE CABLE DE CONTRAPESO	0.60X0.40 mts
ACOPLADOR QUIMICO x ml	1 unidades
RESISTENCIA DE MALLA OBTENIDA	1.54 Ω

Tabla 8.10. Características de la Malla de Puesta a Tierra



8.11. DISEÑO DE MALLA PROPUESTA

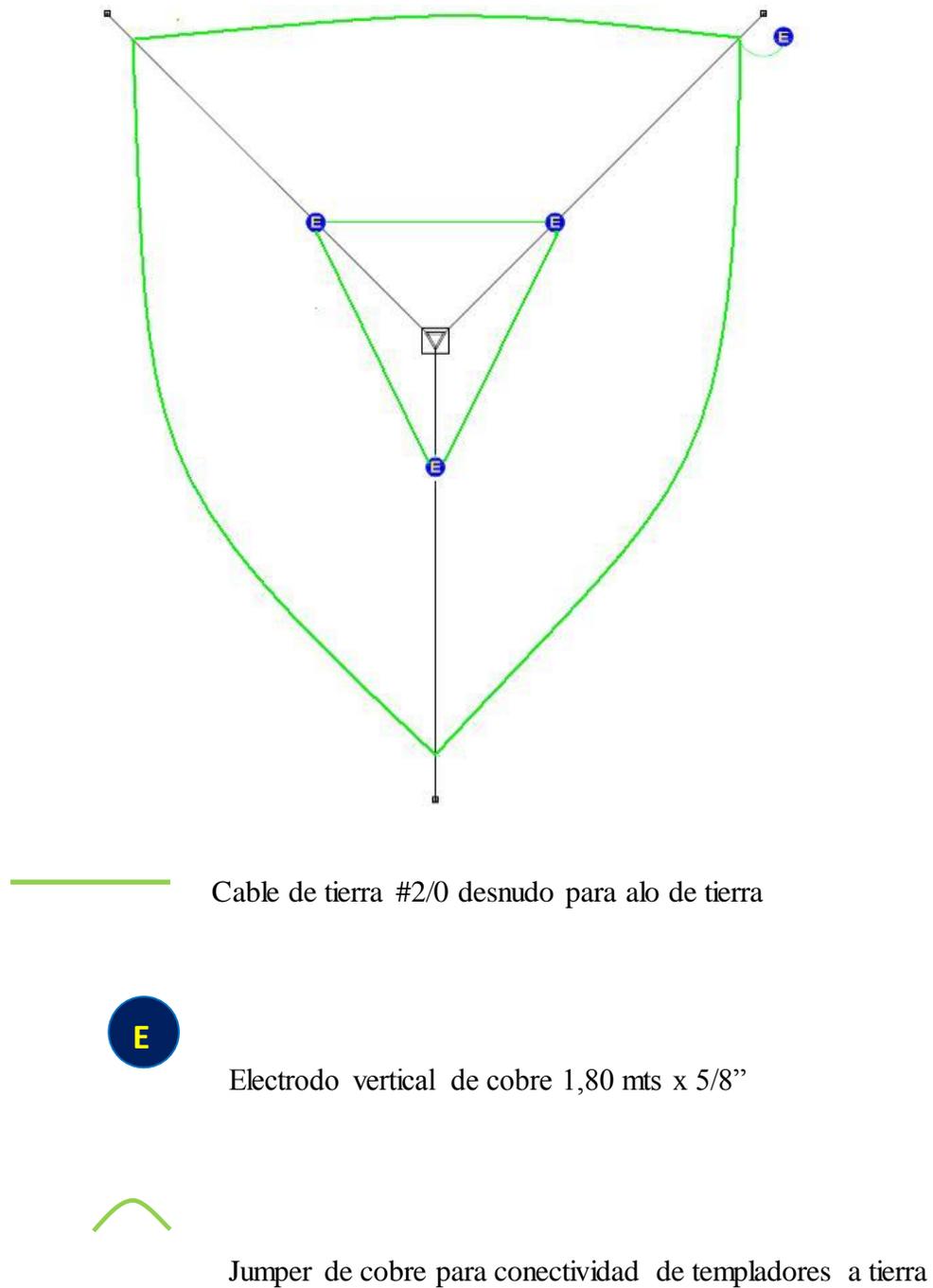


Fig. 8.11.1. Ubicación de Electrodo en el Sistema de Puesta a Tierra



MINERALIZACION PARA TERRENO		TIPO DE TERRENO	
Composición al 100% de la Zanja de la; Malla	% Capa de Concreto	Arcilla plástica	
	50 % Relleno Natural	Margas y arcillas compactas	X
	40 % Tierra Vegetal	Arena arcillosa	
	10% Acopladores Químicos	Piedras calizas blancas	
Composición de Acopladores Químicos	Bentonita	Turba húmeda	
	Carbón Mineral	Humus & Limos	X
	Thor Gem	Granitos y areniscas muy alterados	
	Cemento Conductivo	Piedras calizas agrietadas	
	San Earth	Subsuelo pedregoso	
		Arena silíceo	
	Suelo pedregoso desnudo		
	Aluviones con agua dulce		
	Subcapa húmeda	Si	

Tabla 8.11.2. Detalle del Tipo de Terreno existente en el área de campo



CAMA DE ELECTRODO HORIZONTAL: 0.60 x 0.40 metros:

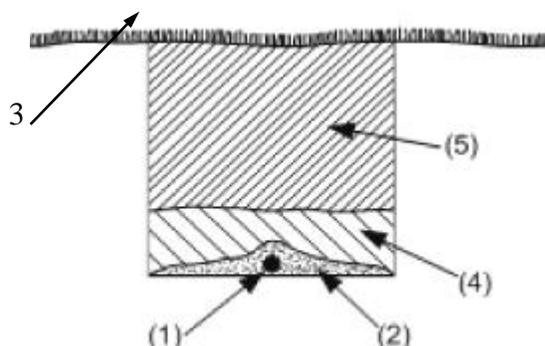


Figura 8.11.2. Vista en corte transversal de ubicación del cable conductor en el Sistema de Puesta a Tierra (SPT).

1	Cable Cu #2/0 (67,4 mm ²)
2	Solución química no toxica
3	Capa de concreto
4	Tierra orgánica vegetal + Acopladores
5	Tierra de relleno en compactación

Tabla 8.11.3. Datos generales de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT)

Nota: El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. Los compuestos químicos utilizados para el mejoramiento del terreno, no deben tener una resistividad mayor a 1,0 ohm-m.



8.12. COMENTARIOS

Después de ser inspeccionada el área donde se propone la instalación del sistema de malla PAT (grafico), se determina lo siguiente:

- a.- Según la medición de resistividad equivalente, demuestra que presenta algo de agresividad en el terreno, puede ser por la arcilla compacta semihúmeda de las subcapas.
- b.- Como la resistencia a tierra en cualquier punto del sistema PAT no debe ser mayor a 5 ohm (sistemas de baja tensión), se debe aplicar el criterio que a niveles de protección a tierra para sistemas de descarga atmosféricos se tomara en cuenta el diseño de mallas PAT con resistencias calculadas menores a este valor.
- c.- Se ha comprobó en la práctica que ningún método de medición de la resistencia es 100% efectivo (calculo de mallas) y con esto no se quiere decir que sean malos, sino que hay que aplicar en la práctica experiencias adquiridas para este efecto.
- d.- Se recomienda utilizar acopladores de tierra minerales (Cementos conductivos – Thor Gem - Químicos) tanto para dar seguridad al material instalado (oxidación – degradación por tiempo) como para bajar y mantener la resistividad del suelo.
- e.- Para la medición se tomo la porción de terreno más uniforme.
- f.- Los templadores de la torre ventada serán aterrizados con jumper conectados a varillas previamente instaladas, las mismas que no requieren de ser unidas al



halo principal de la malla ya que pasan de los 10 metros de separación, como se sabe estas varillas solo servirían de drenaje secundario para descarga inducida en la torreta ya que la descarga principal la absorberá el pararrayos llevándola al halo de tierra principal.



CONCLUSIONES

Actualmente podemos, en líneas generales, decir qué pasa dentro de una célula de tormenta eléctrica y conocemos métodos de protección y prevención de las consecuencias de los rayos.

Existen sistemas que registran las descargas eléctricas en el momento que ocurren y así se puede estudiar la frecuencia con que suceden, viendo cuáles son las zonas más afectadas.

Se han creado diferentes métodos de protección contra rayos pero se necesitan formas de protección mejores dado que la tecnología electrónica actual es cada vez más sensible. El campo de la investigación de tormentas eléctricas continua siendo muy activo y queda mucho por descubrir.

En la actualidad el sistema más usado para la protección contra descargas atmosféricas es el pararrayos. En este proyecto se evaluó los diferentes tipos de pararrayos que existen en el ámbito de protección contra rayos, en el cual, se concluyó que el pararrayos tipo dipolo ayuda de forma más efectiva a la disipación de la descarga atmosférica a tierra debido a su anillo equipotencial y a su toroide excitador que concentra la energía del gradiente de potencial existente en la atmósfera, que se carga constantemente al potencial circundante y define en esa forma la incidencia sobre la punta de la barra de descarga.

El campo eléctrico entre el anillo equipotencial y el toroide permite regular la dirección de los iones existentes entre el canal original de ionización y por lo tanto el radio de alcance del pararrayos.



Con este trabajo se espera que se comprenda que un sistema de puesta a tierra sirve para proteger los aparatos eléctricos y electrónicos, pero el objetivo principal de este sistema es salvaguardar la vida de los seres vivos que se encuentren en el edificio, ya que la corriente eléctrica puede tener efectos parciales o totales, e incluso la muerte.

Un sistema de puesta a tierra consta de varios elementos como son: electrodos, conductor, tabillas de conexión, conectores, registros, compuestos químicos, etc. Para poder instalar un sistema de puesta a tierra, es imprescindible conocer el valor de resistividad que tiene el terreno. Es importante conocer el valor de la resistividad del terreno para que el sistema de puesta a tierra sea eficiente.

El valor de la resistividad de un terreno puede variar de acuerdo a ciertos factores como los mencionados en este trabajo. En la instalación de un sistema de puesta a tierra un factor importante es la resistencia que este ofrece al paso de la corriente, dicha resistencia varía según algunos elementos.

En este trabajo se describe lo que es un electrodo de puesta a tierra, tipos de electrodos que existen, diferentes configuraciones que se pueden realizar con los electrodos y como afectan estos a la resistencia del sistema de puesta a tierra.

En un sistema de puesta a tierra el calibre del conductor que se utilice debe de ser el adecuado para poder soportar las altas corrientes de falla que podrían circular por dicho conductor.



Se ha examinado en lo fundamental, el comportamiento del suelo como conductor eléctrico, a partir de su composición mineralizada y sus contenidos de sales y humedad, incluyendo las Tablas Referenciales que ayudan a una identificación preliminar de su Resistividad.

Se ha abordado el principio de las medidas simplificadas de la «Resistividad Equivalente» del suelo, indicando el método de aplicación práctica con un electrodo piloto, así como sus alcances y limitaciones en relación a la consistencia de los valores obtenidos.

Se ha sintetizado el arreglo del método de Medidas de WENNER, asociado al principio de Caída de Potencial, para la determinación de la «Resistividad Aparente» del suelo estratificado, indicando que es el método adecuado así como las pautas de su aplicación y sus ventajas respecto de otros métodos.

Se han dado los criterios Fundamentales para comprender el alcance real de las medidas de Resistividad del Suelo y las condiciones de su correcta ejecución en relación a la seguridad del operador, la representatividad de los resultados y también la precisión de las medidas.

Cuando se realizó la medición con el telurómetro digital en campo, se obtuvo una resistencia de malla alrededor de los 1.80 ohm y según nuestros cálculos basados en base a la misma malla da como resultado 1.542 ohm.



Se comprobó que ningún método de medición de la resistencia es 100% efectivo, esto no quiere decir que sean malos, sino que hay que realizar varias mediciones con cualquiera de los métodos mencionados para poder obtener un promedio de las mediciones, es decir, un valor más exacto.

En lo práctico, para realizar las mediciones es importante tomar en cuenta las recomendaciones y precauciones mencionadas en este trabajo.

Finalmente con la elaboración de este trabajo se espera crear conciencia en el lector, para que se den cuenta de los efectos que puede tener la corriente eléctrica en los seres humanos y en los equipos.

Y de esta forma comprendan la importancia de un sistema de protección como lo es un sistema de puesta a tierra.



RECOMENDACIONES

Las consecuencias producidas por los efectos de un rayo pueden ser catastróficas para personas, estructuras o simplemente consecuencias económicas y materiales.

Debemos tener en cuenta, la frecuencia con la que suceden estos fenómenos y llevar un registro periódico para conocer la vulnerabilidad de la zona y optar por algún tipo de protección.

El pararrayo es un elemento de protección contra descargas atmosféricas, pero se debe realizar un estudio completo para conocer cual nos ofrecería mayor ayuda en la disipación de dicha descarga, tomando en cuenta también el terreno al que se va a aterrizar y el área a la que va a proteger.

Con respecto a los materiales, se debe asegurar el correcto funcionamiento y estado de los mismos tales como: electrodos, tablillas de conexión, compuestos químicos, etc.

En una instalación, el tipo y calibre del conductor es una de las partes fundamentales en el diseño del mismo, ya que este debe ser el adecuado para no tener problemas tanto de alimentación como de disipación de la descarga, considerando las altas corrientes de falla que debe soportar el mismo.

Existen diferentes normativas y estudios los cuales ayudará a minimizar los daños causados por el rayo, pero siempre se debe tener el criterio y realizar un estudio para implementarlo de manera segura y derivarlo de forma controlada a la tierra.



PROFORMA DEL PROYECTO

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	unidad	Pararrayo dipolo EPD P IM	650,09	650,09
2	unidad	Uniones emt de 1"	2,63	5,26
3	unidad	Galones de agregado electrolitico	30,5	91,5
15	unidad	Sacos de Polvo compactador p/c electrodo de 20 kg.	20,95	314,25
1	unidad	Tubo ISO II galvanizado de 1 1/2 x 6 mt.	42,83	42,83
100	metros	Cable THHN Cu 2/0 AWG 19H 600v	13,15	1315
3	unidad	Varillas de Cu P(T 5/8" x 1.8mt. IM	60,03	180,09
3	unidad	Soldaduras Met. En polvo No. 115 T IM	4,95	14,85
1	unidad	Molde de grafito 2/0 P(V 5/8" M548 IM	81,4	81,4
100	metros	Cable tensor galvanizado de 1/4"	0,85	85
1	unidad	Fotocelula de 1000W 105/305 V	11,25	11,25
1	unidad	Base para fotocelula c/platina	5,74	5,74
100	metros	Cable THHN unilay colores Cu 12 AWG 600V	0,4331	43,31
12	metros	Suministro de torreta galvanizada y pintada triangular 30Cm. X 12 mtrs. Tubo varilla y sujeción con tensores y herrajes acerados.	100	1200
5	unidad	Tubo emt de 1"	9,3	46,5
10	unidad	Graphas EMT de 1"	0,75	7,5
20	metros	Cable desnudo 2/0 para malla	15,39	307,8
1	Gbl.	Certificación de Valores en Ohmios de Resistividad del suelo y malla de tierra	450	450
1	Gbl.	Ruptura y reposicion de piso de concreto	190	190
20	unidad	Pernos de expansión de 1/2"	1,3	26
20	metros	Cable THHN # 2	7,5	150
1	Gbl.	Herrajes de sujeción	30	30
OBRA CIVIL				
5	unidad	Mano de Obra	130	650
3	unidad	Instalación de Puntos de soldadura exotérmica	30	90
3		Transporte	50	150
12	metros	Instalación de torreta galvanizada triangular	15	180
			Subtotal	6318,37
				12%
			I.V.A	758,20
			Total	7076,69



BIBLIOGRAFIA

- Revista CRIEEL (Edición Noviembre 2008 – Abril 2009) Guayaquil – Ecuador
- <http://www.scribd.com/doc/14976317/Proteccion-Contra-Descargas-Atmosfericas7>
- http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/Proteccion_cont-ra_descargas_atmosfericas/Index.htm
- <http://ingeborda.com/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Puesta%20a%20Tierra%20y%20Pararrayos/pararrayos/Sist%20PAT%20y%20Protec%20contra%20Descargas%20Atmosfericas.pdf>
- <http://html.rincondelvago.com/pararrayos.html>
- SEIDMAN, A. Handbook of Electric Power Calculations. Mc Graw-Hill 1996
- HALLMARK, C.L. Grounding Systems LLC. Graphite Sales, Inc
- [Sist%20PAT%20y%20Protec%20contra%20Descargas%20Atmosfericas.pdf](#)
- [Extracto_Curso_Sistemas de PAT-Prot contra rayos.pdf](#)
- [Guia_para_el_diseno_construccion_mantenimiento_e_inspeccion_de_sistemas_d e_proteccion_contra_rayos_NTC_PARTE_3.pdf](#)
- San-Earth Technical Review – Practical Measures for Lowering Resistance to Grounding. Sankosha
- DIAS PABLO “Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos” Editorial Mc Graw Hill 2001
- [pararrayos-no-convencionales.pdf](#)
- [RAYOS_Vivir_para_admirarlos.pdf](#)
- [MantenimientoPararrayos.pdf](#)
- [memoria_pararrayo.pfd](#)
- www.parres.com.mx. ING. HECTOR SOLIS
- www.aadeca.org/cursosyjornadas/cursos_2008/pdf_cano_plata/CLASE_2008_2.pdf



ANEXOS

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL ORGANISMO HUMANO

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen del valor de la intensidad de la corriente, tiempo de duración del contacto, callosidad, sexo, estado de epidermis, peso, altura, estado de ánimo, estado del punto de contacto a tierra. Respecto al concepto de alta o baja tensión, se debe de tener en cuenta que la corriente eléctrica provoca la muerte por fibrilación ventricular, al contrario de la de alta tensión, que lo hace por la destrucción de los órganos o por asfixia, debido al bloqueo del sistema nervioso.

INTENSIDAD	EFFECTOS FISIOLÓGICOS
1 a 3 mA	Prácticamente imperceptibles. No hay riesgo
De 5 a 10 mA	Contracciones involuntarias de músculos y pequeñas alteraciones del sistema nervioso
De 10 a 15 mA	Principio de tetanización muscular, contracciones violentas e incluso permanentes de las extremidades
De 15 a 30 mA	Contracciones violentas e incluso permanentes de la caja torácica. Alteración del ritmo cardiaco

Tabla de Intensidad y Efectos Fisiológicos en las Personas



La fibrilación ventricular del corazón es una acción independiente de las fibras musculares cardiacas, que produce una contracción incoordinada y que entraña la supresión inmediata de la actividad fisiológica del corazón. Al no poder circular la sangre oxigenada, y en particular, no llegar al cerebro, se producen lesiones cerebrales graves. Esto no alerta sobre la rapidez con que debe interrumpirse el paso de la corriente por el organismo. Existen otros fenómenos fisiológicos producidos por la intensidad de la corriente eléctrica o por el trayecto seguido por esta que pueden conducir a la muerte; lesiones encefálicas, bloqueo de la epiglotis, laringoespasma, espasmo coronario, y shock global. Otra manifestación que puede provocar la corriente eléctrica en el cuerpo humano es la quemadura, generada de dos formas distintas:

- Accidentes producidos por cortocircuitos: provocan radiaciones originadas por el arco eléctrico que dan lugar a lesiones por quemaduras.
- Accidentes producidos por diferentes acoplamientos eléctricos: provocan quemaduras internas y externas en el cuerpo.

Factores que intervienen en el accidente eléctrico

- Valor de la intensidad de la corriente eléctrica
- Valor de la tensión
- Tiempo de paso de la corriente eléctrica
- Valor de la resistencia óhmica que presenta el organismo
- La trayectoria que siga la corriente por el organismo



- Naturaleza de la corriente
- Valor de la frecuencia en el caso de C.A.
- Capacidad de reacción del organismo
- De estos factores se destacan:
- Valor de la intensidad de la corriente eléctrica

Se suele llamar también “umbral absoluto de intensidad” y representa la máxima intensidad que puede soportar una persona sin peligro, independientemente del tiempo que dure su exposición a la corriente. Se fija para la corriente eléctrica alterna de frecuencia 50 Hz entre 10 y 30mA, según el sexo y edad de la persona.

Valor de la Resistencia Óhmica del Cuerpo

Diversos estudios experimentales demuestran que la impedancia del cuerpo humano es siempre resistiva pura. Se ha comprobado que para corriente alterna cuya frecuencia sea superior a 10kHz. No provoca más efectos que el de calentar los tejidos por donde paso la corriente.

En lo que a baja tensión respecta se puede considerar el comportamiento de los dipolos del cuerpo humano aproximadamente lineal. El valor de la resistencia en cada uno de ellos depende de diversas circunstancias. La más importante es la humedad de la piel,



que llega a valores de 100000ohms cuando está seca y desciende considerablemente en estado de humedad.

Posibles efectos peligrosos para la salud

Durante una tormenta la tensión eléctrica en la atmósfera puede llegar a valores de 200.000 a 1.000.000 V entre la ionosfera y el suelo. En todo el mundo se generan más de 44.000 tormentas con más de 8.000.000 de rayos, que descargan su energía a tierra. Los rayos y relámpagos son el reflejo de esta reacción de carga eléctrica entre la atmósfera y la tierra. El rayo se forma normalmente en las puntas más predominantes o de menor resistencia y en aquellos lugares donde el contexto ambiental facilite la transferencia de cargas que ionizaran el aire, como en este caso son los pararrayos.

En la atmósfera podemos encontrar, en buen tiempo, una diferencia de potencial de 100-150 Voltios por metro en tierra a nivel de mar.

Según se forman los núcleos y células de tormenta, la tensión eléctrica aumenta progresivamente y con ella la ionización del aire, normalmente positiva (+) en el 85 % de los casos. Durante este proceso, la tensión eléctrica puede llegar a límites de tensión superiores a los 45.000 V/m en la punta del pararrayos. Este efecto causa en la punta del pararrayos chispas diminutas en forma de luz, ruido audible a frito, radiofrecuencia, vibraciones del conductor, ozono y otros compuestos. Este fenómeno arranca una serie de avalancha electrónica por el efecto campo, un electrón ioniza un átomo produciendo un segundo electrón, éste a su vez, junto con el electrón original, puede ionizar otros átomos produciendo así una avalancha que aumenta exponencialmente.



Las colisiones no resultantes en un nuevo electrón provocan una excitación que deriva en el fenómeno luminoso. A partir de ese momento, el aire cambia de características gaseosas al límite de su ruptura dieléctrica, en ese instante, la descarga está a punto de aparecer y generar los daños colaterales del impulso electromagnético; el rayo es el resultado de la saturación de cargas entre la nube y tierra, se encarga de transferir, en un instante, parte de la energía acumulada; el proceso puede repetirse varias veces en las instalaciones donde la resistencia de la tierra es menor. El pulso electromagnético generado por el contacto eléctrico en el pararrayos, es el resultado del campo magnético transitorio generado por la corriente que circula en el canal de descarga del rayo.

La corriente de neutralización fluye muy rápidamente, en proporción a la impedancia del canal de descarga y a la carga eléctrica de la nube, los rangos de crecimiento de estos pulsos de corriente, varía proporcionalmente según la descarga. Se han medido valores superiores a 510 KA por microsegundo, la media es de 100 KA por segundo, la energía radiada viaja a la velocidad de la luz, propagándose a grandes distancias y afectando grandes áreas geográficas.

Durante este proceso de carga y descarga, nos podemos sentir inquietos y con sensación electrizante, por causa del campo eléctrico de alta tensión que se genera temporalmente en la zona, puede cubrir unos 150-300 metros de radio, el estrés electromagnético puede aparecer y tener la sensación de respirar mejor o más fresco, olor a ozono, ruido de chispas, dolor de cabeza, tensión nerviosa, hormigueo, **pelos** de punta, palpitaciones, etc.

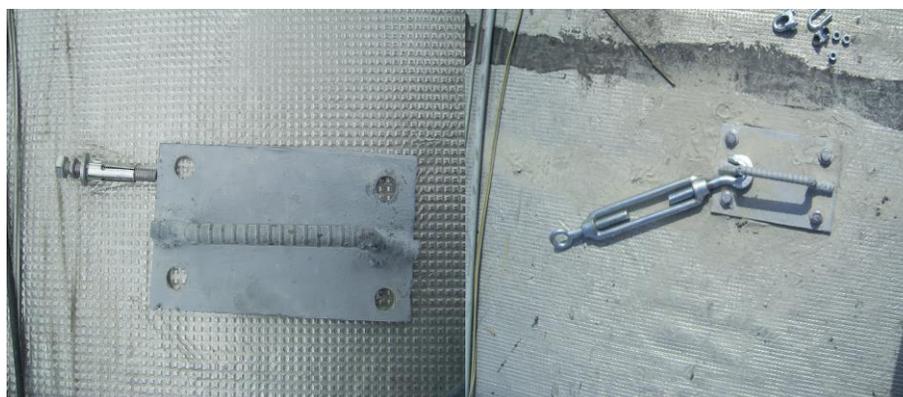


ANEXOS FOTOGRÁFICOS





Primera parte del levantamiento de la estructura metálica





Segunda parte del levantamiento de la estructura metálica





Tercera parte del levantamiento de la estructura metálica





Cuarta parte del levantamiento de la estructura metálica



Medición de la Puesta a Tierra con el Telurómetro

Excavación para enterrar las Varillas Copperweld







Fotografías tomadas al enterrar las Varillas Copperweld



Preparación del Molde de Grafito para realizar la Soldadura Exotérmica





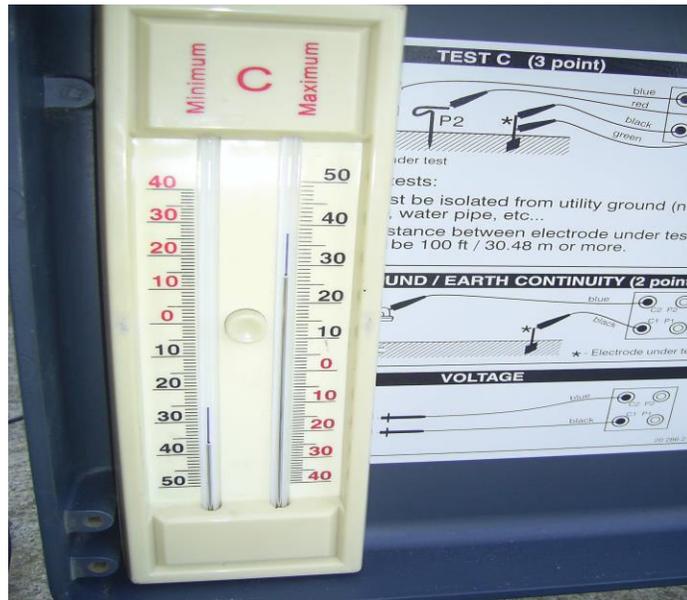
Instalación de Conectores y Bajantes





Medición de la Resistividad de la Malla a Tierra







MANTENIMIENTO PARARRAYOS TIPO DIPOLO

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las instalaciones de pararrayos están diseñadas para un objetivo concreto, la protección de las personas, animales e instalaciones. Las necesidades técnicas u de funcionamiento de cada instalación, obligan a situar todos los equipos y parte de la instalación en el exterior de la estructura o edificio a proteger y colocar la puesta a tierra en diferentes lugares. La situación geográfica de cada instalación es aleatoria e implica estar expuesta a diferentes fenómenos meteorológicos y cambios climáticos permanentes durante cada año. Los materiales expuestos pueden sufrir deterioro involuntario por parte del fabricante, instalador o usuario. Por este motivo es de obligado cumplimiento efectuar una revisión periódica del conjunto de la instalación, para verificar su estado y la continuidad del buen funcionamiento de la protección de rayos y garantizar su eficacia de funcionamiento. El protocolo del mantenimiento será cumplido en su totalidad y rigurosamente en cada revisión anual.

PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

El periodo de revisión: ANUAL

Procedimientos de Mantenimiento:

Puesta a Tierra.

- Se procederá a efectuar diferentes medidas de la resistencia del conjunto de puesta a tierra de la instalación, para tomar las medidas oportunas de mejora.



- Se procederá a verificar la continuidad de las conexiones eléctricas y su nivel de corrosión para tomar las medidas oportunas de corrección.
- Se procederá cada 4 años a desenterrar los electrodos para la revisión de la pérdida de material, corrosión o cambio se fuera necesario.

Conductores Eléctricos.

- Se verificarán el nivel de corrosión o roturas de los soportes o grapas de los cables eléctricos, en caso de necesidad se cambiará por uno nuevo.
- Se verificará la continuidad y resistencia eléctrica entre la toma de tierra y el pararrayos y se tomarán medidas de corrección o cambio.

Mástil.

- Se revisará el estado de aguante mecánico de los soportes o fijaciones del mástil que soporta el pararrayos y se procederá a cambiar o mejorar en caso necesario.
- Se verificará la corrosión de los soportes o fijaciones para su limpieza y pintura.

Pararrayos.

- Se verificará el estado de corrosión de las conexiones eléctricas del cable de tierra y del conjunto del pararrayos y se procederá a efectuar las mejoras necesarias.