



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



# UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRA PARA SITIOS DE TELECOMUNICACIONES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

I N G E N I E R O E N

T E L E C O M U N I C A C I O N E S

P R E S E N T A :

**SERGIO ZEPEDA ARCERQUE**

Director de Tesis:

**Fís. Raymundo Hugo Rangel Gutiérrez**



## ÍNDICE

<b>Cap.</b>		<b>Pág.</b>
	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Conceptos Básicos de Puesta a Tierra</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Elementos aplicables para la acometida de tierra.</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Análisis de requerimientos para la puesta a tierra de un circuito</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Diseño de una malla de puesta a tierra</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Diseño de protección contra descargas Atmosféricas (Rayos)</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Metodología para la puesta a tierra y protección contra descargas un sitio de telecomunicaciones</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Implementación de un caso práctico de puesta a tierra y protección contra descargas (rayos) en un sitio de telecomunicaciones.</b>	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>98</b>
	<b>Glosario</b>	<b>101</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>105</b>
	<b>Figuras</b>	<b>108</b>
	<b>Tablas</b>	<b>110</b>

## INTRODUCCIÓN

Hoy día los sistemas de telecomunicaciones, cualquiera que este sea, contempla una gran cantidad de dispositivos electrónicos, los cuales, debido a su precisión y rapidez en sus operaciones, requieren de una gran estabilidad eléctrica, la cual, se obtiene con un correcto sistema de aterrizaje a tierra.

Aunque hoy existe una gran confusión en lo referente a la conexión a tierra de los sistemas de telecomunicaciones, el trabajo que se presenta contempla los aspectos importantes para lograr la estabilidad de los sistemas de telecomunicaciones a fin de proteger en todo momento la información que circula a través de estos sistemas.

Además, no hay que olvidar que la incorrecta instalación de un sistema de tierra junto con una perturbación eléctrica o la incidencia de un agente externo, no solo provoca un daño costoso e irreparable, operaciones erráticas y pérdida de información en el sistema de comunicación en servicio, sino que también pueden resultar personas accidentadas con lesiones menores o incluso hasta la muerte.

Para lograr un correcto dimensionamiento y toma de decisiones para los sistemas de tierra en sitios de telecomunicaciones, se tomarán como base las Normas Internacionales, como lo es el Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos (NEC 1999); el Reglamento de Instalaciones Eléctricas de México, además de algunas otras normas propietarias, como lo es la Norma de Tierras de Telmex, empresa, la cual contiene la mayor cantidad de sitios de telecomunicaciones en servicio a través del territorio nacional.

Es importante tener presente que todas y cada una de las normas o reglamentos de cada país son elementos de recomendación de aplicación, no solo por seguridad al personal que labora en los sitios de telecomunicaciones, sino que son requerimientos que exigen los seguros internacionales para evitar pagar elevados costos por daños a elementos que son asegurados, por lo que la presente propuesta, tomará la mayor cantidad de características válidas de aterrizaje a tierra las cuales estarán apegadas en todo momento a los criterios de las normas y reglamentos vigentes.

En este documento se revisa los diferentes métodos y técnicas para lograr un sistema de tierra que proteja lo mismo que la infraestructura en telecomunicaciones como a los recursos humanos que laboran y operan las redes, para ello se revisan normas, manuales, reglamentos, etc. para concluir con un ejercicio de diseño y evaluación de un sistema de tierra que en su desarrollo enseña la forma de conceptualización, cálculo y diseño de acuerdo a las necesidades de cada infraestructura y el personal que se desea proteger.

## **Capítulo 1**

### **ANTECEDENTES**

Con el advenimiento de los microprocesadores y circuitos integrados en los modernos equipos electrónicos han surgido nuevos problemas relacionados con la interferencia electromagnética, los cuales se han agravado por la creciente integración de los semiconductores, los que se han hecho más densos y susceptibles a las perturbaciones eléctricas, tales como las interferencias electromagnéticas (EMI, por su siglas en inglés), interferencias de radiofrecuencias (RFI, por su siglas en inglés), descargas electrostáticas (ESD, por su siglas en inglés) y a todo tipo de ruidos y perturbaciones de la onda senoidal eléctrica.

Los modernos equipos electrónicos continuamente utilizan nuevas tecnologías e incorporan componentes innovadores, cada vez más sensibles a los ruidos eléctricos, Estos no solo producen los conocidos generadores de perturbaciones, tales como los motores y los sistemas de aire acondicionado, que además de afectar a las señales electromagnéticas deseadas, también lo hacen sobre los mismos equipos analógicos o digitales.

El desarrollo de las nuevas tecnologías está avanzando de tal manera, que en la actualidad existen sistemas de telecomunicaciones que no había hace un año ó menos. Este desarrollo acelerado, la instalación de nuevos equipos digitales y al desarrollo y actualización de los criterios y formas de mantenimiento se deben considerar para el logro de una estabilidad eléctrica de todos estos sistemas de telecomunicaciones, con un buen diseño y correcto aterrizaje a tierra se podrán evitar daños por corrientes no deseadas, las cuales se han vuelto muy comunes al momento de ir reduciendo el tamaño de los componentes eléctricos, provocando cada vez que sus componentes se encuentre muy cerca uno de otro.

Actualmente la mayor demanda en el desarrollo de las tecnologías de protección (sistemas de tierras nuevos, electrodos de puesta a tierra, supresores de picos, supresores de transientes, etc.).

Los cuales son elementos de apoyo para la configuración de puesta a tierra de los sistemas de telecomunicaciones, además cada dispositivo de apoyo cuenta con características muy particulares de operación, lo cual los vuelve en equipos que en caso de no estar instalados adecuadamente ó utilizados para la función para la cual fueron diseñados, son dispositivos inservibles dentro de la operación de protección utilizada. Sin embargo, en caso de haber realizado una correcta ingeniería y diseño de aplicación, los dispositivos son de gran apoyo para evitar daños a equipos y personas, así como colocar el sitio en condiciones adecuadas de operación y sin fallas en las comunicaciones.

De lo anterior y de acuerdo a datos obtenidos de empresas de telecomunicaciones y de otras con sitios similares, se determina que el 80% de los problemas en sus sistemas de conmutación y transmisión son causados por una deficiente conexión a tierra, dispositivos de protección inadecuados y a problemas de cableado. Todo esto es consecuencia de la falta de una metodología y un conjunto de métodos coherentes, que permita la adquisición de nuevo conocimiento en el dominio del problema (problemas de aterrizaje a tierra y otros relacionados) así como la utilización de ese conocimiento para tratar con problemas relevantes en el dominio.

Estas son las razones de la gran importancia que tiene el trabajo de tesis presente. Este intenta:

- a) Definir las técnicas de aterrizaje actuales en una sola fuente, actualmente está dispersas en fuentes diferentes.
- b) A motivar el desarrollo de otras.
- c) A contribuir a formar una cultura pertinente.
- d) y delinear una metodología para sistemas de tierra.

La importancia de todo esto no puede soslayarse.

Con el antecedente sometido en párrafos anteriores, podemos adentrarnos al tema, indicando que, la conexión a tierra es el tópico base para está presentación, y debido a que es un tema comúnmente no tratado, no solo por los conceptos intrínsecos de la materia, sino principalmente

debido a la interpretación errónea y a la gran cantidad de términos usados en los libros, artículos técnicos nuevos y otras bibliografías que existen sobre el tema, a lo cual agregamos que la mayoría de los proyectos realizados sobre temas de nuevas tecnologías y equipos, no incluyen un rubro sobre el aterrizaje del equipo para evitar daños, teniendo solo en cuenta que en sus dispositivos o equipos deben tener un punto donde se les debe conectar un sistema de aterrizaje, sin especificar requerimiento alguno.

No obstante la gran cantidad de términos utilizados, y los criterios mencionados en la bibliografía actual, se tiene que las especificaciones y directrices, especialmente de los fabricantes de equipos de telecomunicaciones, han agravado el problema, ya que mucha de su literatura (manuales, instructivos, especificaciones) creadas por las grandes empresas, han sido escritos por Ingenieros que no conocen el tema ó más aún no basan sus documentos en las normas internaciones (p. e. NEC), aun cuando, en los últimos cinco años se ha dado gran importancia al sistema de conexión a tierra ya que un gran número de los nuevos equipos de telecomunicaciones, requiere de una tierra libre de ruidos eléctricos.

Como antecedente adicional, podemos incluir el hecho que la mayor parte de los países Latinoamericanos se encuentra expuestos a una alta incidencia de tormentas eléctricas, por lo que este tipo de eventos provocan que los sistemas de telecomunicaciones sufran constantemente daños en sus equipos; adicionalmente al tipo y cantidad de descargas atmosféricas; podemos mencionar la baja calidad que las compañías suministradoras de energía eléctrica entregan a sus clientes.

En resumen, podemos decir que para garantizar la correcta operación de un sistema de telecomunicaciones, se tiene que considerar que si un sistema aterrizado está mal instalado o es deficiente, los equipos sensibles de telecomunicaciones sufrirán daños irreparables si se presenta una descarga atmosférica ó si se presenta un evento relevante sobre la red de suministro Comercial, por el contrario, si asumimos la posición de tomar en cuenta criterios básicos de aterrizaje, así como un diseño e ingeniería correcto, tenemos asegurada la operación por un mayor período de los equipos instalados.

Parte de la confusión sobre el tópico se basa en falsas creencias o información incorrecta que circula en artículos, libros y otras publicaciones. Se ha comparado el sistema a tierra con una red recolectora de aguas negras, donde los conductores de tierra son las cañerías que drenan todas las perturbaciones y ruidos eléctricos a tierra. Esto es particularmente cierto para las perturbaciones causadas o inducidas por rayos, donde los electrodos de tierra es una de las terminales de la trayectoria de la energía del rayo.

Otra falacia corresponde al concepto de “tierra aislada”, en la cual los fabricantes de equipos de telecomunicaciones (p. e. Ericsson) usualmente exigen en su documentación una tierra aislada o separada, y mal interpretando el verdadero significado de la normatividad internacional, previendo solamente una terminal para las dos tierras: la tierra de seguridad y tierra aislada. Siendo que la tierra aislada su función es la de proporcionar una referencia “cero”, libre de ruido para los circuitos electrónicos.

Otro ejemplo que se encuentra frecuentemente con los fabricantes de equipos de telecomunicaciones, es la exigencia de solicitar una acometida diferente a la ya establecida e independiente de la misma, justificando el hecho que el sistema actual de tierra se encuentra con una “tierra sucia”, llena de ruidos de los sistemas de comunicaciones adyacente e instalados con anterioridad. Esto puede provocar que se encuentre instalaciones peligrosas para el personal de operación, así como para los equipos de telecomunicaciones encontrados en el sitio.

Es importante considerar que el equipo que se esta alimentando por corriente eléctrica comercial emite, con mayor o menor intensidad perturbaciones de distintas frecuencias, que pueden abarcar desde simples distorsiones en comunicaciones digitales ó provocar la interrupción de una comunicación celular.

Para visualizar la gravedad del problema es importante tener presente que todos los sistemas de telecomunicaciones consumen menos del 1% de la energía producida, mientras que el 99% restante los emplean equipamiento ajeno a los sistemas de telecomunicaciones (alumbrado, generadores, monitores, etc.), incluso hay que recordar que los mismos equipos de comunicaciones se afectan entre sí cuando están instalados en el mismo sitio.

Otro punto a considerar; es que el espacio se encuentra lleno de radiaciones electromagnéticas, que proviene de una gran cantidad de equipos que transmiten señales utilizando el espacio como medio de transmisión, teniendo en el ambiente diferentes anchos de banda.

Al final, la tesis tiene por finalidad señalar las prácticas más adecuadas y actuales de puesta a tierra, para diferentes sitios y equipos de telecomunicaciones dentro de un mismo sitio o en ambientes eléctricos diferentes.

Entreviendo además que los principios fundamentales no pueden ser tratados de la misma manera para un sistema de tierra que funciona a frecuencia de potencia de 60 Hz, que para sistemas expuestos a altas frecuencias y alimentados con corriente directa, ya que los métodos correctos de conexión a tierra para diferentes sistemas dependen del ambiente eléctrico al cual se encuentran expuestos.



## **Capítulo 2**

### **CONCEPTOS BÁSICOS DE PUESTA A TIERRA**

Con el fin de familiarizarnos con los conceptos que se usan en el presente trabajo de tesis, exponen algunos conceptos básicos de la aplicación y puesta a tierra de los sitios de telecomunicaciones actuales, los cuáles son de gran utilidad para poder tener una visión más amplia al entrar a la propuesta realizada.

## 2.1. Motivos de Puesta a Tierra.

- Aterrizaje de los sistemas de alimentación de sistemas de telecomunicaciones.

Podemos considerar que las dos razones básicas por las cuales se deben realizar la puesta a tierra de sistemas de alimentación y circuitos de alimentación de sistemas de telecomunicaciones son:

- a) Protección de personal.
- b) Protección de equipo.

Tomando en cuenta también que la puesta a tierra sólo tiene el objetivo de obtener un plano equipotencial entre todos los equipos de telecomunicaciones y cubiertas metálicas para proteger al personal de una descarga eléctrica, por lo que, en la puesta a tierra se toma como primer punto la protección del personal, lo anterior debido a que en todo momento y en cualquier circunstancia la seguridad de las personas es número uno en cualquier actividad y más aún cuando se colocan en riesgo vidas humanas por un mal diseño; en segundo lugar, la puesta a tierra es muy importante para el buen funcionamiento de los interruptores termomagnéticos de seguridad, los cuales deberán de operar no solo para lo que fueron diseñados, sino también para mantener la electricidad tan limpia y libre de ruidos eléctricos como sea posible.

Para este caso, es importante indicar que el conductor de seguridad a tierra deberá de contar con una baja impedancia y los interruptores termomagnéticos de circuito son protectores de personal y equipo, pero solamente limitan la duración de la sobrecorriente, también es muy importante señalar que, estos dispositivos, los cuales abren el circuito y aíslan la falla de la red de suministro, en muchos casos no eliminan el daño causado, ya que una falla puede provocar un incendio y aun cuando se elimine la falla, el fuego puede continuar. Sin embargo, si se cuenta con un sistema de tierra dimensionado correctamente, se permitirá la operación adecuada de los circuitos básicos en los tiempos para los cuales fueron diseñados.

- Motivos para conectar a tierra sistemas de alimentación y circuitos.

Podemos considerar que las seis razones básicas por las cuales se debe realizar la puesta a tierra sistemas de alimentación, circuitos o equipo son:

Limitar voltaje por:

- 1.- Rayos.
- 2.- Sobrevoltajes transitorios.
- 3.- Contactos accidentales con líneas de alto voltaje

y para:

- 4.- Estabilizar el voltaje durante operaciones normales.
- 5.- Facilitar la operación de los interruptores de circuito.
- 6.- Drenar a tierra, corrientes de fuga o corrientes de descarga electrostática.

## 2.2.- Sistemas de Tierra.

Actualmente los principales sistemas de tierra existentes son:

- a) Tierra física ó sistemas de electrodos de tierra.

Cubre el sistema del electrodo de tierra y todas las conexiones hechas para realizar un sistema de puesta a tierra efectiva.

La tierra física, también llamado sistema de electrodo de tierra, es la conexión física de un sistema a un electrodo bajo tierra. Esta es solo una parte del sistema debido a que la tierra del circuito y la tierra de seguridad o del equipo están arriba de la tierra. Siendo importante considerar el sistema completo de tierra de una instalación eléctrica, con sus tres componentes principales: **tierra física, tierra del circuito y tierra del equipo.**

El tipo de electrodo de tierra puede consistir desde una simple varilla ó algún tubo con componentes químicos que permitan bajar la resistencia del terreno, logrando la menor impedancia para permitir el flujo de las corrientes a tierra.

- b) Tierra de protección contra rayos.

Es un sistema separado que debe conectarse al sistema de tierra del sitio de telecomunicaciones.

La función específica de este sistema es drenar la energía de un rayo a tierra, en forma controlada, por medio de la varilla pararrayos o cualquier tipo de pararrayos punta, un conductor bajante y un electrodo a tierra separado. Aunque a simple vista esto parece sin sentido, el objetivo primario es traer parte de la energía del rayo a tierra y drenarlo a través del sistema de electrodos instalado o de la malla de tierra de todo el sistema de tierras. En caso de no realizar esta acción corremos el riesgo de permitir una diferencia de potencial entre ambos sistemas provocando una posible chispa o salto de arco, que podría causar graves daños al sistema de telecomunicaciones y el daño físico a alguna persona.

- c) Tierra del equipo o tierra de seguridad.

Está destinado a la protección del personal y el equipo contra fallas o cortocircuitos.

Este sistema conecta todas las partes metálicas de los equipos, gabinetes y todo metal que puede estar en contacto con el personal de operación en sitio, todo lo anterior con el objetivo de mantener una misma referencia a tierra.

- d) Conductor conectado a tierra.

Este sistema tiene la función de transportar la corriente de retorno del conductor de fase para un sistema monofásico y el retorno de las corrientes de fase que no se cancelaron, para un sistema trifásico y un sistema monofásico de fase dividido o sistema monofásico de tres hilos.

El conductor conectado a tierra, generalmente llamado el conductor neutro, es la referencia a tierra del sistema debido a que, en un sistema conectado a tierra, se conecta a tierra en el transformador de la empresa suministradora de energía y este conductor conectado a tierra se trae a nuestro equipo de servicio a la entrada del sitio de telecomunicaciones.

En este punto se establece la unión neutro-tierra, y en la barra de tierra, se conecta el conductor del electrodo de tierra al conductor neutro. Es decir, el neutro es un conductor conectado a tierra.

e) Tierra aislada.

Este sistema ofrece una tierra libre de ruido eléctrico para equipo electrónico sensible y se usa especialmente en sistemas de conmutación de telefonía, y las salas de control y monitoreo de la red de telecomunicaciones. También se conoce como tierra dedicada, aunque este término causa confusión por el nombre mismo.

El origen de este tipo de configuración se registra desde los años 70's, cuando grandes diseñadores de centrales telefónicas experimentaron los primeros problemas de ruido eléctrico e interferencias de alta frecuencia en sus centrales semi-digitales y en los conductores metálicos que protegían los cables de señales o servían de conductores de tierra.

Por este motivo se diseñó otro conductor de tierra, como conductor aislado, diferente del conductor de seguridad, con la exclusiva función de proporcionar una tierra libre de ruido, separada de la tierra contaminada o tierra "sucia" del sitio de telecomunicaciones.

f) Tierra de referencia de señal.

Es el sistema de referencia cero para todos los equipos de señales digitales.

Este es un sistema desarrollado por los fabricantes de equipos de transmisión con el objeto de proporcionar una tierra sin contaminación, separada de la tierra del equipo, pero ambas se encuentran interconectadas en la barra de tierra de piso.

### **2.3.- Conexión efectiva a tierra.**

Para lograr una efectiva conexión a tierra es preciso considerar los principales puntos para obtener una puesta efectiva a tierra, lo que se describe a continuación y se muestra en la Figura 1.

La trayectoria a tierra requiere la instalación de tres elementos:

- a) Los circuitos.
- b) El equipo.
- c) Las cubiertas conductoras de equipos.

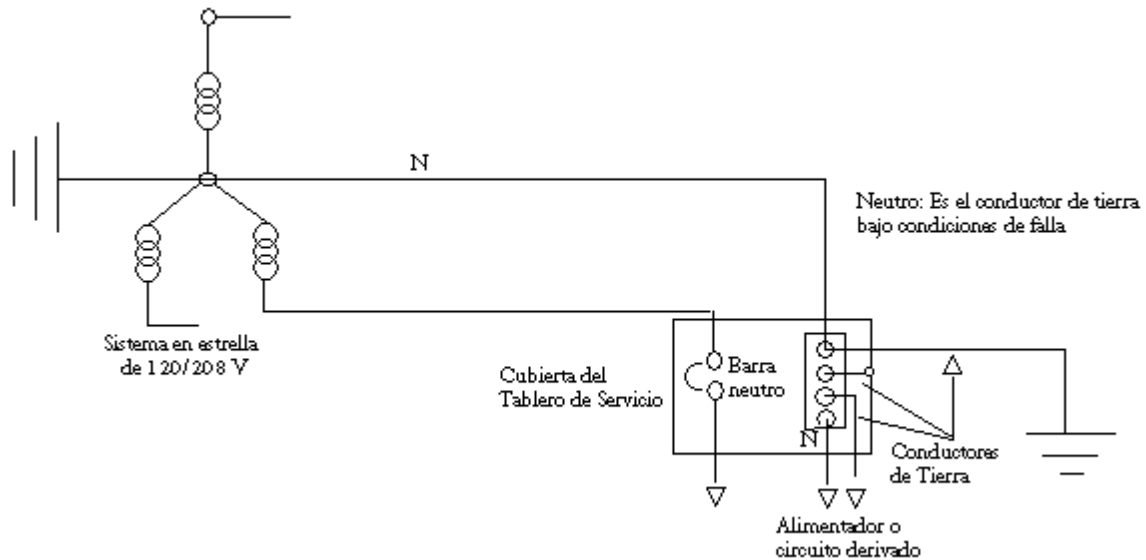


Figura 1. Conductor a Tierra.

Es importante mantener una tierra efectiva para las tres diferentes instalaciones de un sitio de telecomunicaciones: circuitos, equipo y cubiertas metálicas.

La trayectoria a tierra se integra en el circuito eléctrico cuando éste se instala. Todas las conexiones deben ser permanentes y continuas, y es de gran importancia que los conductores tengan el calibre adecuado para soportar la corriente de falla, por lo que la trayectoria deberá de ser:

- Conectada a tierra intencionalmente.
- Permanente.
- Continua
- Segura; el calibre de los conductores debe ser adecuado para que conduzcan sin riesgos cualquier corriente de falla.
- Una trayectoria de baja impedancia.

Por su parte la impedancia debe de mantenerse a un valor bajo por tres razones:

- Limitar el voltaje a tierra.
- Facilitar la operación de los dispositivos de protección.
- Drenar a tierra las corrientes indeseables que generan ruidos, lo mismo que corrientes estáticas y de fuga.

Respecto a los términos usados en la entrada de servicio o acometida, las Normas hablan de tres conductores de tierra y los identifica por su ubicación y función en el sistema de tierra, resultando los conductores los más importantes, que son:

- El puente principal de unión.
- El conductor del electrodo de tierra.
- El conductor de tierra del equipo o tierra de seguridad.

Los cuales se muestran y desglosan en la Figura 2.

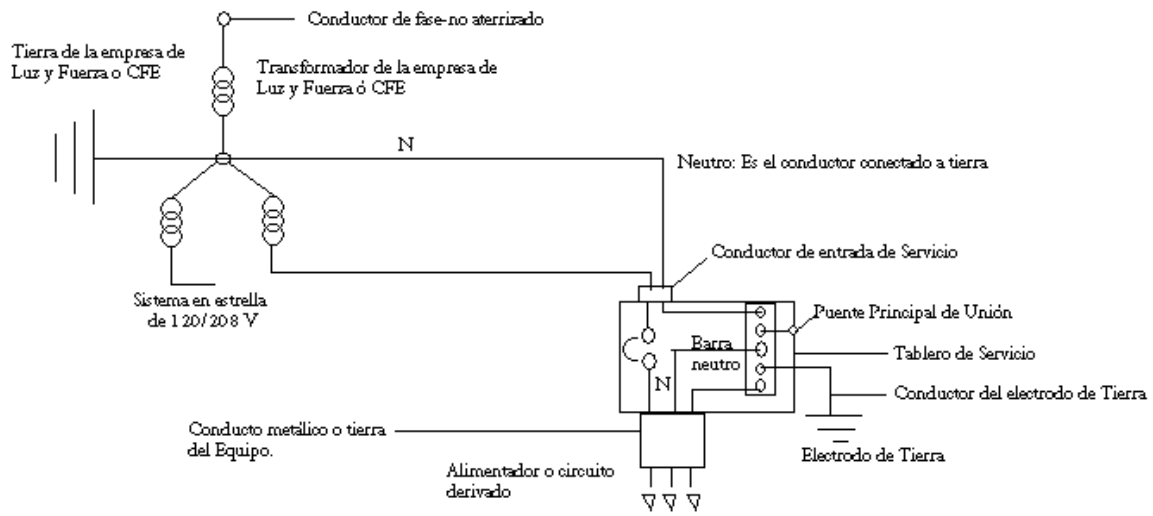


Figura 2.- Identificación de términos usados en la acometida.

## **Capítulo 3**

### **ELEMENTOS APLICABLES PARA LA ACOMETIDA DE TIERRA**

### **3.1.- Elementos de la Conexión a Tierra.**

La conexión a tierra, como ya se comentó es un término que se malinterpreta, debido a que no se definen adecuadamente los conceptos básicos y los conceptos actuales de aplicación para los sistemas de telecomunicaciones.

Se puede destacar que las prácticas de conexión a tierra que ofrecen excelente desempeño en bajas frecuencias de alimentación a 60 Hz, no son las más adecuadas, hoy en día, para controlar correctamente las altas frecuencias presentes en los modernos sistemas de telecomunicaciones. Adicionalmente es necesario mencionar que con la llegada de la fibra óptica, las frecuencias de datos fluctúan prácticamente entre la corriente continua y la radiación electromagnética de la luz visible, que fácilmente se ve afectada por una mala conexión a tierra.

Cabe señalar que el objetivo principal de un sistema de conexión a tierra, es el control de corrientes indeseables, corrientes de falla, corrientes que generan las descargas electrostáticas, corrientes de ruido de alta frecuencia y corrientes de fuga.

Así, suele suceder que un conductor que usualmente provee una trayectoria de resistencia muy baja a las frecuencias de alimentación de C.A., se convierte en uno de alta impedancia ante frecuencias más altas, cuando la mayor parte de la corriente se desplaza a través de la superficie del conductor. Si se trabaja con radiofrecuencias este conductor se convierte en una antena que transmite y recibe las radiofrecuencias presentes en los equipos de transmisión de datos, que operan en las frecuencias de reloj de 10 a 30 Mhz.

Por otro lado, las corrientes de ruido sin control pueden causar el mal funcionamiento de los equipos, una degradación gradual y la destrucción de los componentes electrónicos, lo mismo que la pérdida de memoria en los equipos de conmutación ó transmisión.

Por lo tanto, un sistema de tierra para telecomunicaciones debe ser capaz de controlar y salvaguardar la integridad del sistema y de los operadores del mismo.

### **3.2.- Elementos del Electrodo de Tierra.**

De los electrodos de Tierra que se van a mencionar, se debe de considerar que en caso de existir más de uno en la estructura de un sitio de telecomunicaciones, éstos deberán unirse conjuntamente para formar el sistema de electrodos de tierra, el cual puede consistir en:

- Tubería metálica de agua, instalada bajo tierra, con continuidad eléctrica.

En caso de que un medidor u otro herraje comprometan la continuidad se puede hacer eléctricamente continua uniendo las secciones de la tubería con un puente de unión; de este modo, se efectúa la conexión al conductor del electrodo de tierra. En la Figura 3 se ilustra la conexión a tierra por medio de una tubería metálica.



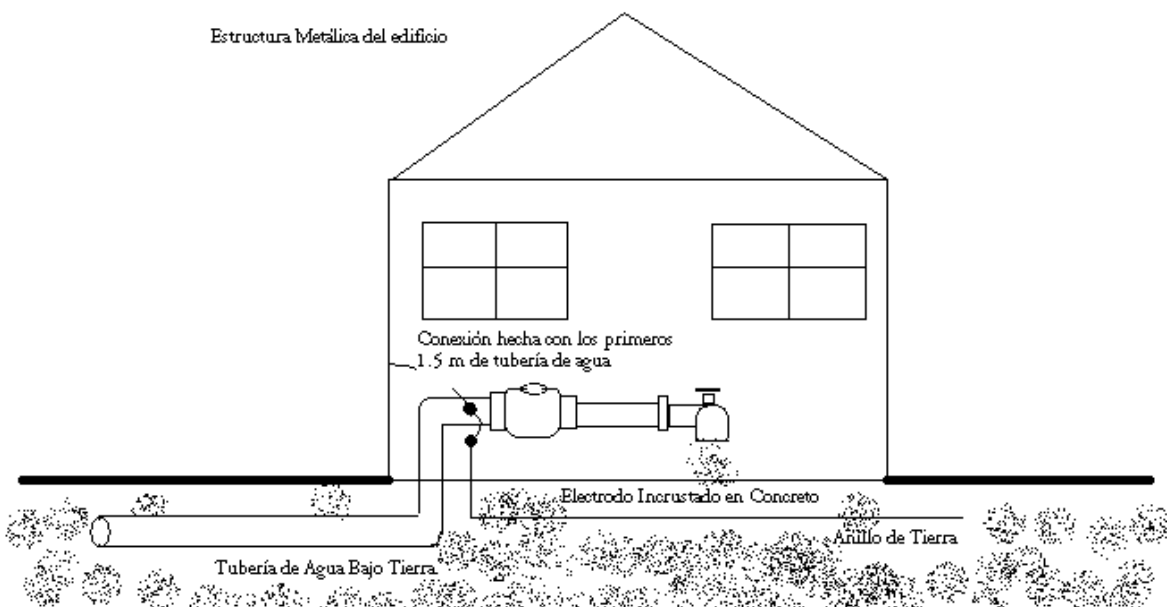


Figura 3.- Tubería metálica de agua como electrodo de Tierra.

- Estructura metálica del edificio.

La estructura o armazón metálica del edificio puede utilizarse como electrodo de tierra cuando se conecta a tierra en forma efectiva. Comúnmente si la estructura metálica del edificio tiene un contacto directo con la tierra en un suelo homogéneo, se considera conectado a tierra en forma efectiva, pero hay que tomar en cuenta en muchos casos, especialmente para evitar los efectos de los cambios de clima, los cimientos del edificio se encuentran sobre capas de arena y materiales plásticos usados como barreras de vapor, por lo tanto, ya que la arena y los plásticos son materiales no conductores, la estructura del edificio no estaría conectada a tierra en una forma efectiva. Si este es el caso se deberá primero medir la resistencia del electrodo. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de este caso.

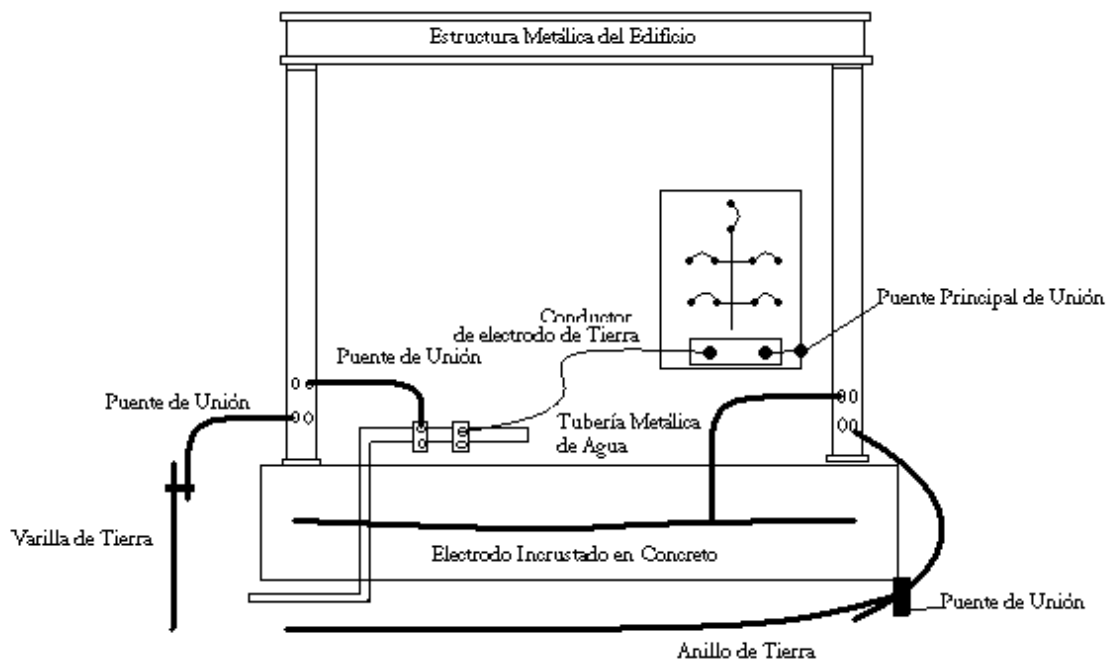


Figura 4.- Estructura metálica del edificio como electrodo de tierra.

- Un electrodo ahogado en concreto.

Esta forma del electrodo consiste en varillas máximas de 6 mts de longitud ó elementos de cobre con recubrimientos químicos en contacto directo con la tierra y cubiertos sobre la misma plancha de concreto del firme del piso colocado, ubicándose generalmente dentro de los cimientos o base del sitio de telecomunicaciones. Este sistema se conoce como tierra Ufer, en honor de Herb Ufer quien demostró que varillas de 5.8 cm inundada sobre concreto podían alcanzar resistencias iguales o menores a 5 ohms. En la Figura 5 se muestra esta forma de tierra.

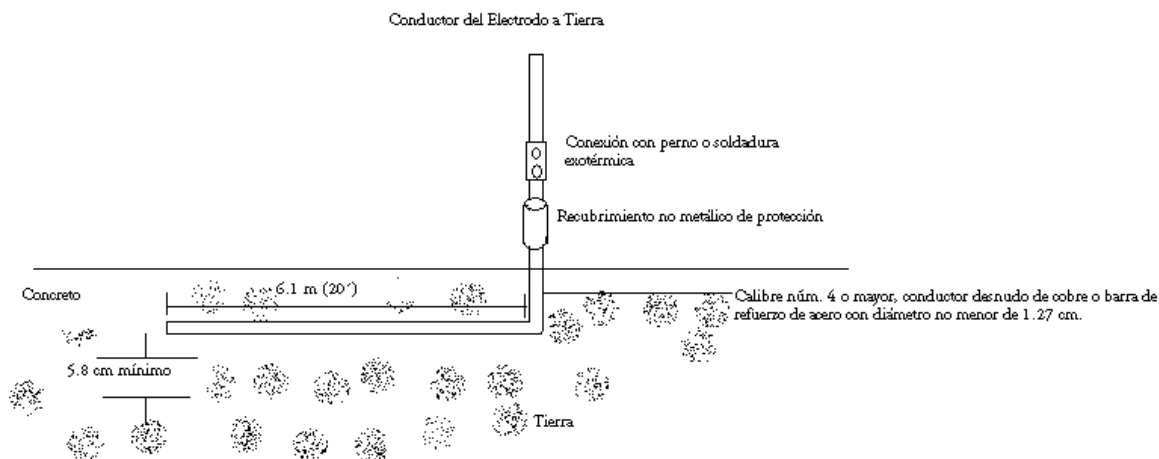


Figura 5.- Electrodo inundado en concreto.

- Anillo de tierra.

Un anillo de tierra es un cable de cobre desnudo colocado alrededor del sitio de telecomunicaciones con una longitud mínima de 6.1 mts y de tipo de cableado con calibre AWG número 2 ó mayor que el mayor de lo cableados que confirman la vertical del sitio. Ver Figura 6.

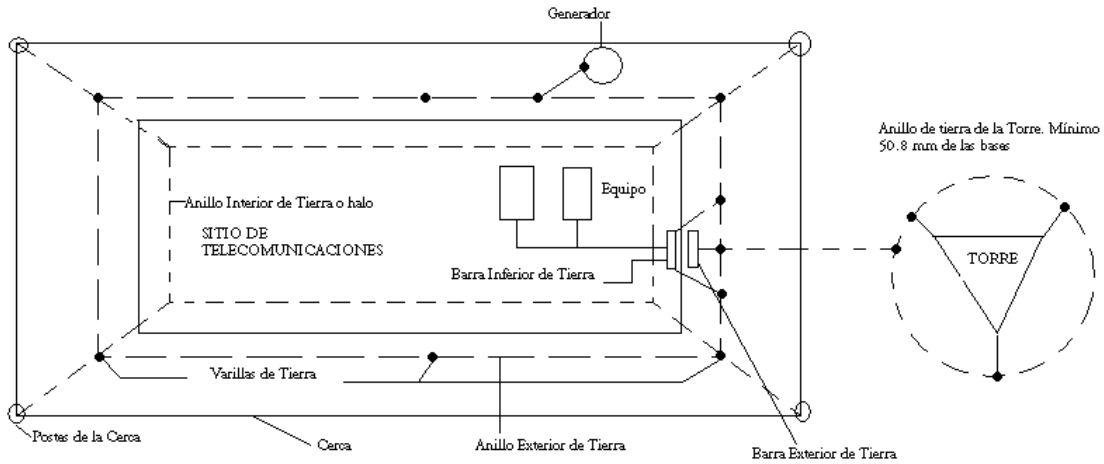


Figura 6.- Anillo de Tierra.

- Electrodo de tubos y varillas.

Ambos equipos deben de tener longitudes no menores de 1.8 mts de largo y una longitud de contacto mínimo con la tierra de 2.4 mts por debajo de la línea de congelamiento, ambos dispositivos deberá de ser un material de cobre desnudo. Ver Figura 7.

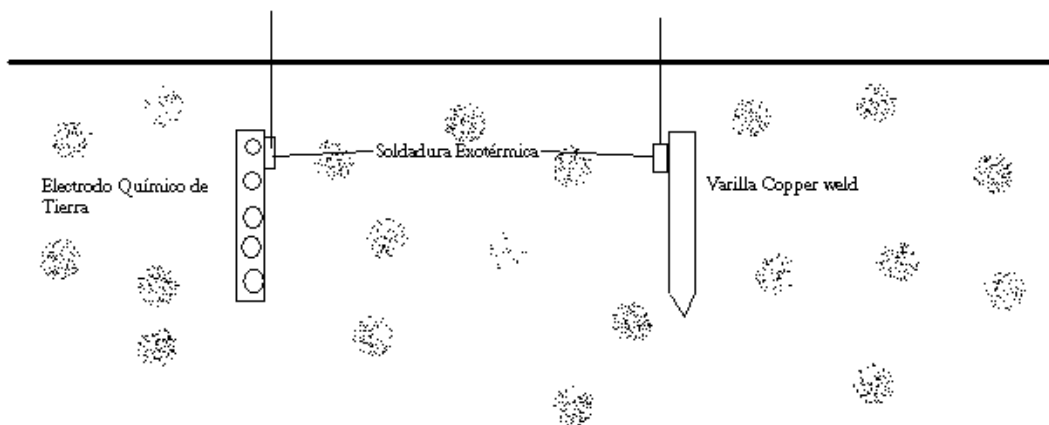


Figura 7.- Varillas de Tierra.

### 3.2.1.- Función del Electrodo de Tierra.

Los sistemas con electrodos de tierra pueden operar con uno o más electrodos en conjunto, los cuales dependerán de la resistividad del terreno y de la resistencia de la malla de tierras que se requiera según la cantidad y tipo de equipos de telecomunicaciones.

En este sistema las funciones de los electrodos de tierra son:

- a) Mantener un buen contacto con la tierra de manera que toda la instalación de cableado de tierra que no conduzcan corriente, se conecte y tomen contacto en firme al sistema de tierra, manteniendo un potencial cero.
- b) Generar trayectorias de descarga de energía en caso de una entrada de un rayo o sobre voltaje transitorio, permitiendo disipar en el menor tiempo posible la energía generada a tierra.
- c) Drenar las corrientes de fuga a tierra, lo mismo que las descargas electrostáticas, las cuales pueden generarse o acumularse en las cubiertas metálicas de los sistemas.

Es importante como parte del diseño de una instalación, analizar el tipo de suelo, desde el punto de vista de puesta a tierra. La conductividad de la tierra varía con la composición de ésta, por lo tanto un suelo arenoso no tiene tanta conductividad como un suelo con materia orgánica, considerando que un suelo, entre más alto es el contenido de humedad, mayor será su conductividad.

### 3.2.2.- Resistencia a Tierra del Electrodo de Tierra.

A fin de asegurar una correcta puesta a tierra, el electrodo de tierra debe medirse antes de instalar cualquier sistema de telecomunicaciones, para ello es necesario utilizar equipos de medición, que operan bajo el método del 62% o caída de potencial.

En la Figura 8 la varilla 1 representa el electrodo de tierra sometido a prueba, la diferencia de potencial se mide entre las varillas 1 y 2, y el flujo de corriente entre la 1 y la 3. Cuando la varilla 2 se separa 62% de la distancia entre el electrodo bajo prueba y la varilla 3 se obtiene un alto grado de precisión en la medición de resistencia de suelo (Ley de Ohm).

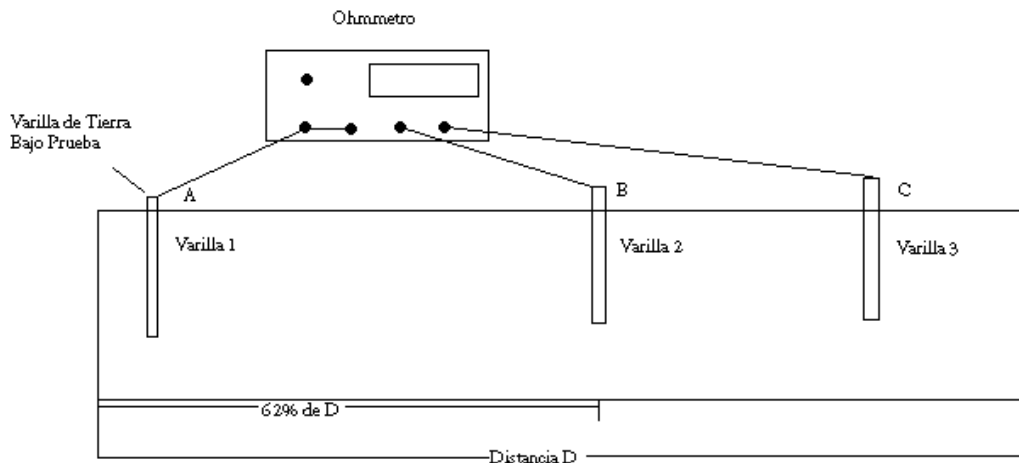


Figura 8.- Medición de resistencia de suelo por el método del 62% o “caída de potencial”.

### 3.3.- Calibre de los conductores y cableados de tierra.

Los tamaños mínimos permisibles se basan en dos criterios:

- 1.- Tamaño del conductor de la acometida de mayor calibre.
- 2.- Tipo de Electrodo de Tierra.

Con el objeto de determinar el calibre del conductor adecuado para la aplicación, en la Tabla 2 se muestran los calibres de los conductores en función del material de fabricación (cobre o aluminio), área circular, así como la aplicación adecuada para cada calibre tomando en cuenta adicionalmente el caso de tener que utilizar más de un cable conectado en paralelo.

### 3.4.- Efectos de la resistividad del suelo.

La resistencia de una malla de tierra depende no solamente de los tipos de electrodos instalados, su forma o diseño, sino también de la resistividad del suelo. En teoría, la resistencia del suelo puede obtenerse de la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia} = (\text{resistividad} \times \text{longitud}) / \text{área} \quad \text{Ec. 1}$$

La resistividad del suelo determina cuál será la resistencia de un sistema de tierra y a que profundidad se puede sugerir su instalación. Hay que recordar que la resistividad del suelo varía con las estaciones del año y también influye la temperatura del ambiente, el contenido de humedad, la presencia de minerales y varias sales disueltas, así como la composición del suelo.

**Sistema de alimentación de corriente alterna.**

Área del conductor de mayor calibre o calibre equivalente para conductores en paralelo				Calibre del conductor del electrodo de tierra			
Cobre		Al o Al recubierto		Cobre		Al o Al recubierto	
Métrico mm <sup>2</sup>	Inglés AWG	Métrico mm <sup>2</sup>	Inglés AWG	Métrico mm <sup>2</sup>	Inglés AWG	Métrico mm <sup>2</sup>	Inglés AWG
Hasta 32.62	2 o menor	Hasta 53.48	1/0 o menor	8.367	8	13.30	6
Más de 32.62 Hasta 53.48	1 o 1/0	Más de 53.48 Hasta 85.01	2/0 o 3/0	13.3	6	21.15	4
Más de 53.48 Hasta 85.01	2/0 o 3/0	Más de 85.01 Hasta 126.7	4/0 o 250	21.15	4	33.62	2
Más de 85.01 Hasta 177.3	Mayor de 3 Hasta 350	Más de 126.7 Hasta 253.4	Mayor de 250-500	33.62	2	53.48	1/0
Más de 177.3 Hasta 304	Mayor de 350 Hasta 600	Más de 253.4 Hasta 456	Mayor de 500-900	53.48	1/0	85.01	3/0
Más de 304 Hasta 557.4	Mayor de 600 Hasta 1000	Más de 456 hasta 886.5	Mayor de 900-1750	67.43	2/0	107.2	4/0
Más de 557	Mayor de 1100	Más de 886.5	Mayor de 1750	85.01	3/0	126.7	250

Tabla 1.- Selección del calibre del conductor del electrodo de Tierra.

Debido a que la resistividad del suelo se relaciona directamente con la humedad y la temperatura, la resistencia de cualquier sistema de conexión a tierra varía a lo largo del año. La tierra, en estado completamente seco, puede de hecho convertirse en un buen aislante sino se encuentran electrólitos presentes.

La Tabla 2 muestra el cambio significativo en tierra compuesta de arcilla arenosa con un contenido de 15% de humedad y con variaciones de temperatura entre 20° C y -15° C.

Temperatura		Resistividad
°C	°F	Ohms-cm
20	68	7 200
10	50	9 900
0	32 (agua)	13 800
0	32 (hielo)	30 000
-5	23	79 000
-15	14	130 000

Tabla 2.- Variación de la resistividad de la arcilla arenosa.

Como se puede observar, la resistividad cambia de 7,200 a 130,000 ohms-cm en estos parámetros de temperatura. Debido a que la temperatura y el contenido de humedad son más estables a grandes distancias debajo de la superficie de la tierra, es deseable enterrar una barra a una distancia considerable.

En consecuencia en algunos lugares, la resistividad de la tierra puede ser tan alta que una resistencia baja de suelo sólo puede lograrse por medio de sistemas de conexión a tierra bastante elaborados o incrementando periódicamente el contenido de electrolitos del suelo, por lo que resulta recomendable verificar la resistividad del terreno donde se instalará el sistema de tierra.

## **Capítulo 4**

### **ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS PARA LA PUESTA A TIERRA DE UN CIRCUITO**



A efectos de poder tener todos los elementos correspondientes para aplicar nuestra propuesta del diseño de sistemas de tierras para sitios de telecomunicaciones, a continuación se propone en términos generales los principios teóricos de la puesta a tierra de un circuito.

#### 4.1.- Funciones para poner a tierra los circuitos y sistemas de alimentación.

Los sistemas y circuitos deben conectarse a tierra, con el objeto de limitar el voltaje generado por:

1. rayos;
2. sobre voltajes;
3. contacto no intencional con líneas de mayor voltaje y
4. para estabilizar el voltaje durante las operaciones normales.

- Conductor conectado a tierra.

Cuando se tratan sistemas de alimentación y circuitos el término *conductor conectado a tierra* se usa muy a menudo para referirse al conductor neutro. Dicho término juega un papel muy importante en un sistema de conexión a tierra no sólo para la seguridad del sistema sino también para el buen funcionamiento de los equipos electrónicos, por lo tanto, la función del conductor conectado a tierra necesita ser analizado antes de tratar sobre sistemas de conexión a tierra., por lo tanto, para aclarar el concepto usaremos como ejemplo un sistema monofásico, y consideraremos la importancia de la conexión a tierra ya que no es un accidente o un error el hecho de que se conecte a tierra cuando se realiza la instalación completa de diferentes sistemas, sino que es sinónimo de seguridad a personas y a la misma infraestructura.

- Terminología de voltaje.

Dos términos muy importantes al ocuparse de los sistemas puestos a tierra son:

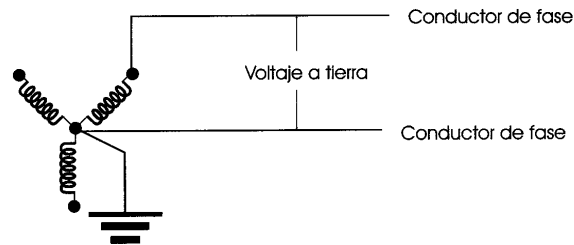
1. Voltaje a Tierra.
2. Neutro.

La Figura 9 muestra la función del voltaje a tierra. Existen dos aspectos muy importantes de esta definición:

1. Para circuitos puestos a tierra, es el voltaje entre un conductor de fase y el punto neutro o conductor del circuito puesto a tierra.
2. Para un circuito no puesto a tierra este es el mayor voltaje entre un conductor y otro conductor del circuito.

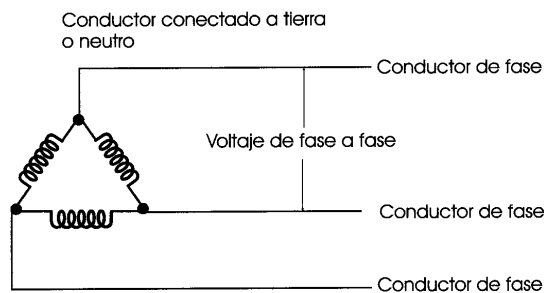
Cuando el sistema de alimentación se conecta a tierra, existe un punto neutro y el conductor de circuito conectado a este punto se llama conductor neutro, con pocas excepciones, el conductor conectado a tierra es el neutro.

El neutro es el conductor que transporta la corriente que no se canceló.



**Sistema conectado a tierra**

Voltaje de fase a neutro:  
es el voltaje de fase a tierra



**Sistema no conectado a tierra**

Voltaje de fase a fase es:  
el voltaje de fase a tierra

Figura 9.- La función del voltaje a tierra en sistemas conectados y no conectados.

**4.2. Sistemas de alimentación de corriente directa.**

La Figura 10 ilustra un sistema de alimentación de corriente directa de dos hilos, que tienen un conductor conectado a tierra.

Cuando la fuente de alimentación está ubicada fuera del edificio, el conductor del electrodo de tierra se instala en la fuente.

En la Figura 11 podemos observar que se permite que un sistema de C.D. no esté conectado a tierra, cuando esta equipo con detectores de tierra y suministra energía a un equipo industrial en un área limitada.

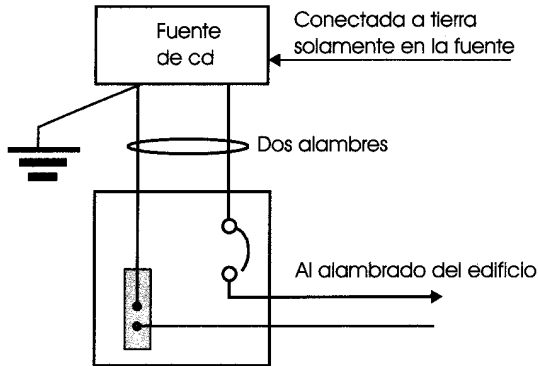


Figura 10.- Conexión a tierra de un sistema de Alimentación de C.D. de dos hilos.

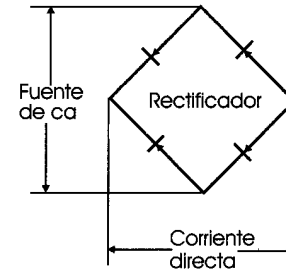
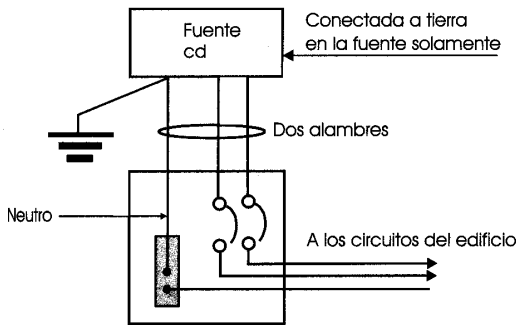


Figura 11.- Sistema de alimentación de C.D. con dos hilos, sin conexión a tierra, cuando la C.D. se obtiene de un rectificador.

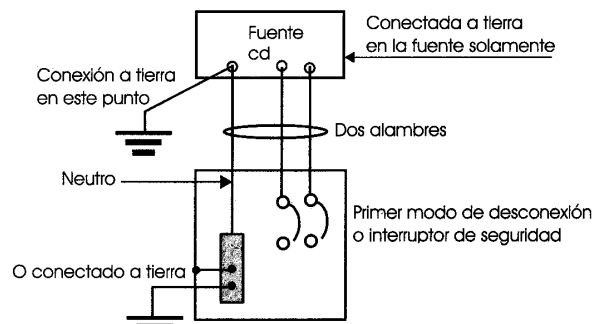
En la Figura 12 podemos acentuar la necesidad que el conductor neutro de un sistema de tres hilos, de C.D., que suministra energía al interior de un edificio esté conectado a tierra. De nueva cuenta el electrodo de tierra se instala en la fuente de suministro solamente cuando se ubica fuera del edificio. El conductor de tierra no se una el segundo conductor del electrodo de tierra en el servicio como ocurre en los sistemas de alimentación de C. A. conectados a tierra.

En la Figura 13 podemos verificar que se permite que el conductor del electrodo de tierra de un sistema de alimentación de corriente directa sea instalado en el generador de C.D., o en el primer medio de desconexión ó en el dispositivo de protección contra sobre corriente, esto se aplica cuando la fuente de corriente directa se encuentra ubicada en el interior del edificio.



DEBE SER CONECTADO A TIERRA

Figura 12.- Requisitos para un sistema de Alimentación de C.D. de tres hilos.



DEBE SER CONECTADO A TIERRA

Figura 13.- Ubicaciones permitidas para la conexión del conductor del electrodo de tierra en un sistema de alimentación de C.D.

#### 4.3 Sistemas de alimentación de corriente alterna.

Los sistema de alimentación que generalmente se utilizan en las estructuras industriales son los sistemas monofásicos y trifásicos. Los primeros incluyen el sistema monofásico de dos hilos y el de tres hilos.

Los sistemas trifásicos típicos son el conectado en estrella y el conectado en delta o triángulo, estos sistemas son de mayor uso industrial.

## **Capítulo 5**

### **DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA**

A efecto de poder tener todos los elementos correspondientes para aplicar nuestra propuesta del diseño de sistemas de tierras para sitios de telecomunicaciones, a continuación se propone, en términos generales, los principios teóricos del diseño general de una malla de puesta a tierra, en donde podremos revisar desde la base de aplicación de una malla de tierras de utilidad general, hasta la teoría aplicable de diseño para mallas de puesta a tierra.

### **5.1.- Bases para el dimensionamiento de una malla de tierra.**

Un sistema adecuado de puesta a tierra debe tener una resistencia de tierra tan baja como sea posible. En realidad es virtualmente imposible mantener los potenciales de tierra dentro de las tolerancias de seguridad cuando las corrientes de falla son muy intensas.

Generalmente un sistema de tierra industrial consiste en una malla, conformada por pequeñas mallas rectangulares o cuadradas, y conductores de tierra instalados en forma horizontal, lo mismo que electrodos de tierra ubicados a distancias pre-determinadas entre sí.

Lo más importante es que por razones de seguridad todas las estructuras metálicas y cubiertas del equipo, incluyendo las rejillas metálicas ubicadas en áreas de trabajo, se deben conectar a la malla de tierra.

Las normas indican que el diseño de una red o malla de tierra debe tener presente los potenciales de paso y de contacto para brindar protección a las personas. Los cálculos de la malla de tierra y sus procedimientos en este capítulo están de acuerdo con la norma IEEE 80.

Previo al diseño es necesario efectuar un análisis general del área y del cubrimiento de la malla. Un diseño preliminar incluirá la longitud y el calibre del conductor que se extiende alrededor del área, además de los conductores en paralelo para brindar acceso a la conexión de los equipos.

Para nuestro caso la norma IEEE 80 supone que a todo diseño le corresponde una malla horizontal en forma de retícula conformada por conductores enterrados la cual debería estar complementada por un conjunto de varillas verticales.

### **5.2.- Procedimientos Generales.**

El procedimiento general incluye los siguientes pasos:

1. Cálculo del área del terreno donde se va a instalar la malla.
2. Cálculo del radio equivalente de esta área.
3. Dibujar un rectángulo sobre esta área.
4. Insertar una malla dentro de este rectángulo.
5. Cálculo de la longitud del conductor requerido que se propone.
6. Eliminar las partes de la malla ideal que se ubiquen fuera del área que se requiere aterrizar.
7. Dibujar esta malla sobre el rectángulo.
8. Medir la longitud real del conductor resultante.
9. Medir la resistividad del terreno.
10. Cálculo de corrientes de cortocircuito.
11. Cálculo del calibre del conductor de puesta a tierra.
12. Cálculo de la resistencia de la malla.
13. Cálculo de la corriente máxima de la malla.
14. Análisis de las tensiones de paso y toque.
15. Si es requerido se deberá de realizar el tratamiento del suelo con químicos para disminuir la impedancia del mismo, para determinar la utilización de suelo artificial.
16. Comprobación de la resistencia de la malla de puesta a tierra respecto al cálculo teórico.

Después de un análisis general de la configuración geométrica y del área que se quiere aterrizar, se mide la resistencia del suelo mediante cualquiera de los métodos antes indicados.

Las prácticas avaladas por el IEEE establecen ciertos parámetros fundamentales para realizar el cálculo de la malla.

Éstos son:

- Valor máximo de la resistencia de puesta a tierra
- Corriente de falla
- Tiempo máximo de duración de la malla en segundos
- Resistividad del terreno

Otros parámetros secundarios incluyen la profundidad de la zanja donde se entierra la malla, la resistividad superficial, el conductor utilizado y su longitud, así como el espaciamiento entre electrodos.

El procedimiento general para calcular la malla de tierra es como sigue:

Después de configurar la malla de una forma general se calcula el área que ocupa y el radio de área circular equivalente a A.

$$r = \sqrt{(A / \pi)} \quad \text{Ec 2}$$

r = radio de área circular equivalente a A.

### 5.3.- Cálculo de corrientes de cortocircuito

La norma ANSI/IEEE 141-1986 del IEEE, presenta unos ejemplos prácticos para realizar este cálculo.

Ejemplo: calcúlese la corriente de cortocircuito para un transformador de 500 KVA, trifásico, con impedancia de un 5% y un voltaje de 220 V en el secundario.

La corriente máxima en el secundario (Isec) será:

$$I_{sec} = (KVA \times 1000) / (KK \sqrt{3} \times E) / \pi \quad \text{Ec 3}$$

$$I_{sec} = (500 \times 1000) / (KK \sqrt{3} \times 220) = (1312A / \pi) \quad \text{Ec 4}$$

En donde:

KVA = potencia del transformador

E = voltaje entre fase y fase

La corriente de cortocircuito simétrica máxima (Iccmáx) será:

$$I_{ccmáx} = (100\% / Z\%) \times (I_{sec} / \pi) \quad \text{Ec 5}$$

$$I_{ccm\acute{a}x} = (100 / 5) \times 1312 = 26\ 240 \text{ amperes simétricos} \quad \text{Ec 6}$$

La corriente de cortocircuito asimétrica será:

$$I_{ccas\acute{i}m} = I_{ccm\acute{a}x} \times F_{as\acute{i}m} \quad \text{Ec 7}$$

F<sub>asím</sub> = Factor de asimetría = 1.25 (factor que depende de la relación X/R en el punto de falla).

$$I_{ccas\acute{i}m} = I_{ccm\acute{a}x} \times 1.25 \quad \text{Ec 8}$$

$$I_{as\acute{i}m} = 26\ 240 \times 1.25 \quad \text{Ec 9}$$

= 32 800 amperes asimétricos

En donde:

KVA = potencia del transformador

E = voltaje entre fase y fase

La corriente de cortocircuito simétrica máxima (I<sub>ccmax</sub>) será:

$$I_{ccm\acute{a}x} = (100\% / Z\%) I_{sec} \quad \text{Ec. 10}$$

$$I_{ccm\acute{a}x} = (100 / 5) \times 1312 = 26\ 240 \text{ amperes simétricos} \quad \text{Ec. 11}$$

La corriente de cortocircuito asimétrica será:

$$I_{ccas\acute{i}m} = I_{ccm\acute{a}x} \times F_{as\acute{i}m} \quad \text{Ec. 12}$$

F<sub>asím</sub> = Factor de asimetría = 1.25 (factor que depende de la relación X / R en el punto de falla.)

$$I_{ccas\acute{i}m} = I_{ccm\acute{a}x} \times 1.25 \quad \text{Ec. 13}$$

$$I_{as\acute{i}m} = 26\ 240 \times 1.25 \quad \text{Ec. 14}$$

= 32 800 amperes asimétricos

#### **5.4.- Cálculo del calibre conductor de puesta a tierra**

5.4.1.- Determinación del calibre y la longitud del conductor de puesta a tierra para controlar el gradiente

El calibre del conductor depende del valor de la corriente de falla, el tiempo de duración de ésta y el material del que esté echo el conductor. El calibre se puede determinar utilizando diferentes métodos:

- a) Utilizando valores tabulados.

En la Tabla 3 se presenta el calibre mínimo de los conductores -en circular mils por ampere (1 mil = 0.0005067 mm<sup>2</sup>)-, en función del tiempo de duración de la falla. En las subestaciones eléctricas usualmente se utiliza, por razones mecánicas, como calibre mínimo el conductor número 4/0 (107.2 mm<sup>2</sup>) de cobre.

Tiempo de duración de la falla (s)	Calibre mínimo del conductor en "circular mils" por ampere					
	Uniones soldadas			Uniones atornilladas		
	Cobre	Acero	Aluminio	Cobre	Acero	Aluminio
30	50	120	91	64	143	123
3	16	38	29	21	46	39
1	9.5	22	17	12	27	23
0.5	6.5	16	12	8.5	19	16

Tabla 3.- Calibre mínimo del conductor de puesta a tierra.

Con objeto de mantener los potenciales de paso y de contacto, en sus valores de seguridad, en el interior del perímetro de la malla, se requiere conocer la longitud mínima del conductor de puesta a tierra.

El siguiente método es una forma práctica aproximada de calcular la corriente máxima de un conductor (de sección transversal en cmils) antes de que sufra daños:

$$I_{\text{máx}} = \text{sección transversal (cmils)} / 42.25 \text{ cmils} \quad \text{Ec. 15}$$

Se ha establecido que un conductor de cobre puede transportar una corriente de 1 ampere por 5 segundos por cada 42.25 cmils de sección transversal sin ser destruido. Ejemplo: un conductor #8 AWG (16 5 10 cmils) puede transportar una corriente máxima de 391 amperes.

$$16 \text{ 5 10 cmils} / 42.25 \text{ cmils} = 391 \text{ amperes} \quad \text{Ec. 16}$$

- b) El cálculo teórico del conductor de puesta a tierra para plantas industriales y subestaciones se puede calcular de la siguiente manera:

$$A = I \sqrt{(33s / (\log((T_m - T_a) / (234 + T_a)) + 1))} \quad \text{Ec. 17}$$

En donde:

A = área del conductor en milésimas circulares (cmils)

I = corriente máxima de falla a tierra en amperes.

s = tiempo durante el cual fluye la corriente de falla

T<sub>m</sub> = temperatura máxima de fusión, en ° C, como se señala en la Tabla 4.

T<sub>a</sub> = temperatura ambiente en ° C.

El factor T<sub>m</sub>, temperatura máxima de fusión, se puede obtener de la Tabla 4.

Los calibres mínimos recomendados se pueden aumentar no sólo para disminuir la impedancia sino también para incrementar la resistencia mecánica del conductor.



Descripción	Temperatura de fusión °C
Alambre de cobre recocido	1083
Alambre de cobre duro	1084
Núcleo de acero con revestimiento de cobre	1084/1300
Alambre de aluminio	657
Aleación de aluminio	660
Alma de acero con recubrimiento de aluminio	660/1300
Alma de acero con cubierta de zinc	419/1300
Acero inoxidable	1400

Tabla 4.- Temperatura máxima de fusión.

En la determinación de la sección transversal o calibre del conductor usado en la malla de tierra intervienen varios factores:

- Estabilidad térmica con relación a las corrientes de falla
- Resistencia mecánica
- Conductividad adecuada
- Valor de la corriente de falla a tierra
- El tiempo de duración de la falla
- El material del conductor

c) El calibre del conductor se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$A(\text{mm}^2) = I \sqrt{((T_c \times \alpha \times \rho \times 10^4) / TCAP) / (\ln(1 + ((T_m - T_a) / (K_o + T_a))))} \quad \text{Ec. 18}$$

En donde:

A = sección transversal del conductor (mm<sup>2</sup>)

I = corriente simétrica de falla

T<sub>m</sub> = temperatura máxima permisible (°C)

T = temperatura de referencia para diferentes materiales (°C)

T<sub>a</sub> = temperatura ambiente (°C)

T<sub>c</sub> = tiempo durante el cual circula la corriente de falla

α<sub>1</sub> = coeficiente de resistencia térmica a 0° C

α<sub>2</sub> = coeficiente de resistencia térmica a la temperatura de referencia T

ρ = resistividad del conductor de la malla de tierra a la temperatura de referencia T

Para un conductor de cobre:  $1/56 \mu\Omega/\text{cm}$

$K =$  coeficiente inverso de la resistencia térmica  $K = 1/\alpha$

$T =$  duración de las corrientes de falla (s). Normalmente  $0.5 \text{ s}$

TCAP = factor de capacidad térmica

Cálculo de  $K_m$ :

$$K_m = \left( \frac{1}{2\pi} \right) \times \ln \left( \frac{D^2}{16 h d} \right) + \left( \frac{1}{\pi} \right) \ln \left( \frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \dots \frac{(2n-3)}{(2(n-1))} \right) \quad \text{Ec. 19}$$

En donde:

$D =$  separación entre conductores de malla (mts)

$d =$  diámetro del conductor (mts)

$h =$  profundidad de la zanja donde se entierra la malla (mts)

$n =$  número de conductores

Cálculo de  $K_i$ :

$$K_i = 0.656 + 0.172n \quad \text{Ec. 20}$$

En donde  $n =$  número de conductores

### 5.5.- Cálculo de la longitud aproximada que se debe enterrar para el conductor.

$$l_g = (K_m \times K_i \rho \times l \sqrt{t}) / (116 + 0.174 \rho_s) \quad \text{Ec. 21}$$

En donde:

$\rho =$  resistividad del terreno ( $\Omega\text{-m}$ )

$\rho_s =$  resistividad superficial del terreno ( $\Omega\text{-m}$ )

La siguiente ecuación permite calcular la longitud aproximada de los conductores de la malla para mantener el potencial dentro de los límites de seguridad.

$$L = (K_m \times K_i \rho \times l \sqrt{t}) / (116 + 0.25 \rho_s) \text{ mts} \quad \text{Ec. 22}$$

En donde:

$$K_m = \left( \frac{1}{2\pi} \right) \ln \left( \frac{D^2}{16 H D} \right) + \left( \frac{1}{\pi} \right) \ln \left( \frac{3}{4} \frac{5}{6} \frac{7}{8} \right) \quad \text{Ec. 23}$$

En donde:

D = separación entre conductores paralelos.

H = profundidad de la malla

D = diámetro equivalente del conductor de la malla

Ki = factor de irregularidad de la conexión.

El factor Ki se obtiene de la siguiente expresión:

$$K_i = 0.65 + 0.172 n \quad \text{Ec. 24}$$

En donde:

n = número de conductores en paralelo de la malla, que se extienden en una dirección.

#### **5.6.- Cálculo de la resistencia de la malla de puesta a tierra.**

La resistencia total del sistema será la suma de la resistencia de los componentes del sistema del electrodo de tierra, el cual puede estar formado de electrodos, varillas, placas y la estructura metálica del edificio, así como de la resistencia de la malla de cobre.

- a) El cálculo de la resistencia a tierra de un conductor enterrado en un suelo uniforme se puede obtener de la siguiente ecuación (Laurent y Nieman):

$$R_g = (\rho / 4) \sqrt{((\pi / A) + (\rho / L))} \quad \text{Ec. 25}$$

En donde:

R<sub>g</sub> = resistencia de la red de tierra, en ohms

ρ = resistividad promedio en Ω-m

A = área ocupada por la malla

L = longitud total del conductor enterrado

- b) Cuando se utilizan placas, el cálculo de la resistencia de éstas (de espesor no menor de 1/4 de pulgada), cuya forma es rectangular, se puede determinar de la siguiente forma:

$$R_{\text{placa}} = 0.8 (\rho_a / L) \quad \text{Ec. 26}$$

En donde:

ρ<sub>a</sub> = resistividad aparente del terreno

L = perímetro de la placa

- c) En el caso de los llamados electrodos artificiales o fabricados, como varillas o tubos, se utiliza la fórmula predeterminada.

$$R_{\text{varilla}} = (\rho / (2 \pi L) [ \ln ((8 L / d) - 1) ] \quad \text{Ec. 27}$$

En donde:

$\rho$  = resistividad del suelo

L = longitud de la varilla

d = diámetro de la varilla

Generalmente se utilizan electrodos de tierra como complemento de la malla, y si la resistividad del terreno es muy elevada se pueden usar placas de cobre, una mayor cantidad de electrodos ó intensificadores químicos.

- d) Acero de refuerzo en concreto o varillas de refuerzo. Las varillas de refuerzo se consideran un electrodo incrustado en concreto o tierra Ufer.

La resistividad de este sistema está determinada por los cimientos, la estructura metálica del edificio, las columnas y otros componentes del electrodo de tierra.

Es necesario considerar no sólo la resistencia del componente en sí, sino también la resistencia del electrodo de tierra que lo rodea o con el que está en contacto.

En estos casos los cimientos que presentan cierta resistencia hacen contacto con el terreno que los rodea y cuya resistencia es completamente diferente.

De acuerdo con Ufer, la resistencia de un electrodo incrustado en concreto es menor que la de una varilla enterrada directamente en el terreno, por lo que la resistencia de este electrodo se obtiene combinando dos resistencias en serie.

La resistencia se determina de la siguiente forma:

$$R_{DM} = f ((\rho_c, \delta_0) + (\rho_s, \delta_i) - (\rho_c, \delta_i)) \quad \text{Ec. 28}$$

En donde:

$R_{DM}$  = resistencia de un electrodo en un medio doble

$\rho_c$ , = resistividad del concreto

$\rho_s$  = resistividad del suelo

$\delta_0$  = área superficial del electrodo

$\delta_i$  = área de la interfaz

Con la fórmula para el cálculo de la resistencia del conductor:

$$R_g = (K (\rho / 4)) \sqrt{[(\pi / A)(\rho / L)]} \quad \text{Ec. 29}$$

En donde A es el área superficial del electrodo.

Se pueden definir las siguientes fórmulas para electrodos verticales y horizontales en medio doble:

$$R_{DMH} = \rho_c [(1 / 4 \delta_o) + 1 / L] + \rho_s [(1 / 4 \delta_i) + 1 / L] - \rho_c [(1 / 4 \delta_i) + 1 / L] \quad \text{Ec. 30}$$

$$R_{DMH} = (\rho / 2\pi L) [ \ln ((8L / d) - 1) ] + [ \rho_s [ \ln ((8 / L) - 1) ] ] - [(\rho_c / 2\pi L) (\ln (8L / D) - 1) ] \quad \text{Ec. 31}$$

Como método práctico, el efecto de varios electrodos de acero de refuerzo en una configuración rectangular se puede determinar mediante la fórmula:

$$M = \text{Resistencia de N electrodos en paralelo} / \text{Resistencia de 1 electrodo} \quad \text{Ec. 32}$$

En donde:

M = multiplicador para obtener la resistencia total de un sistema con base en el valor de resistencia de un electrodo.

En edificaciones donde  $N \leq 10$  y la separación entre los cimientos (electrodos) se recomienda sea de 6 mts, M tendrá un valor de  $2/N$ .

Para un sistema típico de 50 W, que incluye 20 cadenas de alimentación que están interconectadas, la resistencia equivalente aproximada de acuerdo con el análisis anterior es:

$$R_{20 \text{ electrodos}} = (2 \times 50) / 20 = 5 \Omega \quad \text{Ec. 33}$$

### 5.7.- Resistencia Total del Sistema.

La resistencia total de sistema cuando existen diferentes sistemas de electrodos de tierra, como tubería de agua, varillas y acero de refuerzo, se determina como un sistema de resistencia en paralelo:

$$R_T = 1 / [(1/R_{\text{tubería}}) + (1/R_{\text{acero de refuerzo}}) + \dots + 1/R_{\text{malla}}] \quad \text{Ec. 34}$$

### 5.8.- Corriente máxima de la malla.

La corriente máxima de la malla se calcula de acuerdo con:

$$I_G = C_p \times F_{\text{asím}} \times I_g \quad \text{Ec. 35}$$

En donde:

$C_p$  = factor de proyección

$F_{\text{asím}}$  = factor de asimétrica

$I_g$  = corriente simétrica de malla

$$I_g = S_F \times I_{ccm\acute{a}x}$$

Ec. 36

El factor de división de corriente ( $S_F$ ) es la relación que expresa la corriente que debe disipar la malla de tierra y la corriente total que disiparán tanto la conexión a tierra de los transformadores, los cables de guarda y la malla de tierra como el resto de las mallas.

El factor  $C_p$  se puede determinar efectuando un análisis de corrientes de cortocircuito para proyectar la demanda a futuro.

### 5.9.- Análisis de las tensiones de Paso y Toque.

La circulación a tierra de las corrientes de falla produce gradientes de tensión en la superficie del suelo que rodea a los sistemas de tierra, en este sentido al voltaje que se genera entre los dos pies de una persona que camina en el suelo se conoce como voltaje de paso.

Por su parte, el voltaje de toque es el que existe entre la mano y ambos pies de una persona, es decir, la diferencia entre el potencial de tierra (GPR) y el potencial de superficie en el punto donde la persona que está de pie toca con sus manos una estructura puesta a tierra.

El valor tolerable del voltaje de paso es:

$$V_{paso} = (R_k + 2 R_f) I_k \text{ volts}$$

Ec. 37

En donde:

$R_f$  = resistencia a tierra de un pie. Para fines prácticos:  $R_f = 3 \rho$

$\rho$  = resistividad del suelo en  $\Omega\text{-m}$

$R_k$  = resistencia del cuerpo humano. Generalmente se utiliza 1000-1500  $\Omega$

$I_k$  = valor eficaz de la corriente que circula por el cuerpo y se calcula:

$$I_k = 0.116 / \sqrt{T}$$

Ec. 38

En donde:

$T$  = duración de la corriente de falla en segundos, y generalmente tiene un valor inferior a 3 segundos.

Para fallas permanentes:  $I_k = 0.009 \text{ A}$

De lo anterior, para fallas con duración menor a 3 segundos.

$$V_{paso} = (1000 + \rho_s) \times 0.16 / \sqrt{T}$$

Ec. 39

$$V_{paso} = (15 + \rho_s) / \sqrt{T}$$

Ec. 40

Para fallas permanentes:

$$V_{paso} = (1000 + \rho_s) \times 0.009$$

Ec. 41

$$V_{\text{paso}} = 9 + 0.054 \text{ ps volts}$$

Ec. 42

Con el fin de brindar (bajo condiciones de falla) una conexión segura a tierra para el voltaje de paso, el gradiente de potencial expresado en volts/metro sobre la superficie del suelo no debe exceder los valores que se calculan con estas ecuaciones.

Asimismo, el voltaje de contacto tolerable se calcula:

$$V_{\text{contacto}} = (R_k + R_f/2) I_k$$

Ec. 43

Para fallas con duración menor de 3 segundos:

$$V_{\text{contacto}} = (165 + 0.25 \text{ ps}) / \sqrt{T}$$

Ec. 44

Si una persona toca un conductor conectado a tierra a una distancia mucho mayor que las dimensiones del sistema de tierra, el impacto del voltaje puede ser igual a la elevación total del voltaje del sistema de tierras bajo condiciones de falla.

#### **5.10.- Cálculo de la elevación de potencial de tierra.**

La elevación de potencial de tierra se determina así:

$$GPR = I_G \times R_g$$

Ec. 45

En donde:

$R_g$  = resistencia de la red de tierra

$I_G$  = corriente máxima de malla

#### **5.11.- Cálculo de la resistencia de la malla de puesta a tierra.**

La resistencia total del sistema será la suma de la conexión en paralelo de los electrodos formados por el acero de refuerzo de los cimientos y la resistencia de la malla de cobre.

Las ecuaciones para calcular la resistencia a tierra de diferentes electrodos de tierra con diferentes configuraciones que se presentan en la Tabla 5.

#### **5.12.- Resistencia del electrodo formado por el acero de refuerzo de los cimientos.**

El acero de refuerzo se considera un electrodo. Como tal está incrustado en la estructura de concreto, presenta cierta resistencia y lo integran las columnas, tanques de almacenamiento y los cimientos. Todos estos elementos también están incrustados en concreto y en contacto con otro medio que tiene una resistencia diferente: el terreno que rodea la estructura.

Utilizando la siguiente ecuación podemos encontrar la resistencia del acero de refuerzo del concreto.

$$R_{ac} = \rho_c [(1/4) \sqrt{((\pi / \delta_0) K + 1 / L)}]$$

Ec. 46

En donde

$R_{ac}$  = resistencia del acero de refuerzo en  $\Omega$ .

$\rho_c$  = resistividad del medio donde se encuentra incrustado el electrodo.

$\delta_0$  = área superficial que cubre la malla en  $m^2$

$L$  = longitud del electrodo (acero del edificio) en mts.

En diferentes terrenos la resistividad varía, pero como ejemplo práctico utilizaremos los valores de un terreno particular de 200  $\Omega$ -m.

La resistividad del concreto varía entre 30 y 90  $\Omega$ -m; en nuestro caso supondremos 90  $\Omega$  -m.

En nuestro ejemplo utilizaremos valores arbitrarios.

o Área del terreno que debe aterrizar (cimientos) = 20 X 11 = 220  $m^2$

o Área de contacto: 220  $m^2$

En cuanto a la longitud del conductor requerido para la malla, supondremos una densidad aproximada de 8 mm/ $m^2$  del acero de refuerzo:

$$L = 220 \text{ m}^2 \times 8 \text{ m/m}^2 = 1.760 \text{ m}$$

Ec. 47

$$R_{ac} = 200 [(1/4) \sqrt{(\pi/240) + 1/1920}]$$

Ec. 48

$$R_{ac} = 5.82 \Omega$$

Está es la resistencia a tierra del electrodo inundado en concreto.



Tabla 5.- Ecuaciones para el cálculo de las resistencias a tierra.

## **Capítulo 6**

### **DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS)**

Los sobrevoltajes transitorios de alto nivel son causados por las descargas atmosféricas, y en áreas de alta incidencia de rayos, esto provoca una gran cantidad de perturbaciones que dañan los equipos electrónicos, los cuales cuentan con una gran cantidad de semiconductores de alta sensibilidad a las interferencias electromagnéticas.

Las normas que rigen el diseño y especificaciones de estos sistemas de protección, las establece el código de protección frente a descargas atmosféricas, preparado por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, por sus siglas en inglés), la misma organización que elaboró el Código Eléctrico Nacional.

Estas normas vigentes fueron establecidas en 1904. El comité encargado de elaborar este código lo formaron el comité de la NFPA, el Comité de Protección contra Rayos (ASA), la Oficina Nacional de Normas (National Bureau of Standards) y el Instituto Americano de Ingenieros Electricistas (IEEE).

### **6.1.- Sistema de puesta a tierra para protección contra descargas atmosféricas**

Desde que Benjamín Franklin demostró que el rayo es una descarga eléctrica gigante, muchas investigaciones científicas sobre relámpagos, rayos y tormentas se han efectuado y registrado en varios países.

Las sobretensiones se deben al efecto inductivo y conductivo de la descarga sobre las líneas de distribución eléctrica cuando cae un rayo en forma directa o en su entorno cercano, lo mismo que las conmutaciones de energía en las líneas de distribución, las descargas electrostáticas o los impulsos magnéticos nucleares.

Dada la gran variabilidad de la trayectoria y el valor de las descargas eléctricas de los rayos, que pueden alcanzar 200 KA, cualquier dispositivo de protección frente a ellos es prohibitivo. La mayor amenaza de los efectos inducidos y radiados del rayo cubren un espacio considerablemente más amplio que el punto de caída. Los efectos secundarios de un rayo a cierta distancia (1 km a la redonda) del punto de caída también son considerables. En la Tabla 6 se señalan la densidad espectral y la intensidad del campo eléctrico debidas a un rayo de 100 KA medido a 100 mts de distancia del punto de caída.

### **6.2.- Características de las descargas atmosféricas.**

Se estima que en la Tierra se dan simultáneamente 2000 tormentas y cerca de 100 rayos se descargan sobre la superficie terrestre cada segundo. En total representa unas 4000 tormentas diarias y unos 9 millones de descargas atmosféricas cada día.

No es factible, ni rentable proteger un circuito contra la caída de un rayo directo, pero sí es factible la protección de circuitos contra los efectos del 95% de las descargas y contra sus efectos secundarios, que se estiman en voltajes de más de 5 KV y corrientes de 6 KA. La Figura 14 muestra las distintas intensidades de campo a diferentes distancias del punto de caída.

La longitud media de un rayo es de 3 km. y la energía media total por descarga es de  $3 \times 10^9$  J. La duración media de una descarga es de manera aproximada de 30  $\mu$ s. La potencia media por rayo es de unos 1013 W. Cada rayo consta de cuatro descargas, por término medio, separados unos 40 mts. Usualmente los rayos empiezan en la base de la nube, en un punto cuyo campo eléctrico es del orden de los 30,000 V/m. Cada componente del rayo sólo dura décimas de milisegundo.

Frecuencia	Margen de frecuencia	Ancho de banda (dB/MHz)	Rayo DE	IC
10 kHz	1-32 kHz	-30	244	214
100 kHz	32-320 kHz	-11	216	205
1 MHz	0.32-1.7 MHz	9	199	208
3 MHz	1.7-5.8 MHz	19	175	194
10 MHz	5.8-7 MHz	29	155	184
30 MHz	17-58 MHz	39	135	174
100 MHz	58-170 MHz	49	115	164
300 MHz	170-580 MHz	59	95	154
1 GHz	0.58-1.7 GHz	69	75	144
3 GHz	1.7-5.8 GHz	79	55	134
10 GHz	5.8-20 GHz	89	35	124

DE = Densidad espectral dB  $\mu$ V/m/MHz  
IC = Intensidad de campo eléctrico. dB  $\mu$ V/m

Tabla 6.- Densidad e intensidad del campo eléctrico debidas a un rayo.

Una porción de la energía de una descarga atmosférica se disipa en forma acústica, llamada trueno y otra mucho mayor de aproximadamente un 75% se disipa en forma de calor, alcanzando una temperatura en el canal de descarga de 15 000 a 30 000°C y, como consecuencia, la presión de los gases generados puede llegar a unas 100 atmósferas. El trueno es el sonido de la explosión a lo largo de todo el canal de descarga de estos gases.

El efecto más importante del rayo es el efecto inductivo o  $di/dt$  máximo debido a la ley de Lenz:

$$V = -L(di/dt) \quad \text{Ec. 50}$$

Este efecto de sobrevoltaje transitorio tiene lugar en los primeros 2 o 3  $\mu$ s. La impresión de que el destello del rayo dura más de un segundo se debe a los efectos posteriores en la retina del ojo.

Una nube llega a cargarse eléctricamente hasta tal grado, que la gran diferencia de potencial con relación a tierra, produce el salto del arco o rayo. Las nubes y el suelo pueden considerarse como las placas de un gran condensador que se descarga a través del canal del rayo. La impedancia del canal es del orden de los 5 K $\Omega$ . Aunque los rayos pueden tener muchas formas de onda, la curva característica de la corriente de un rayo se muestra en la Figura 15.

La Figura 14 muestra las características de la curva 8/20  $\mu$ s de corriente. El tiempo de ascenso lo define la IEEE, Std 4-1978 como:

$$t_{ascenso} = 1.67 (t_{90} - t_{30})$$

Ec. 51

En donde:

$t_{90}$  y  $t_{30}$  = el tiempo de ascenso entre el 30% y 90% de la amplitud de la onda.

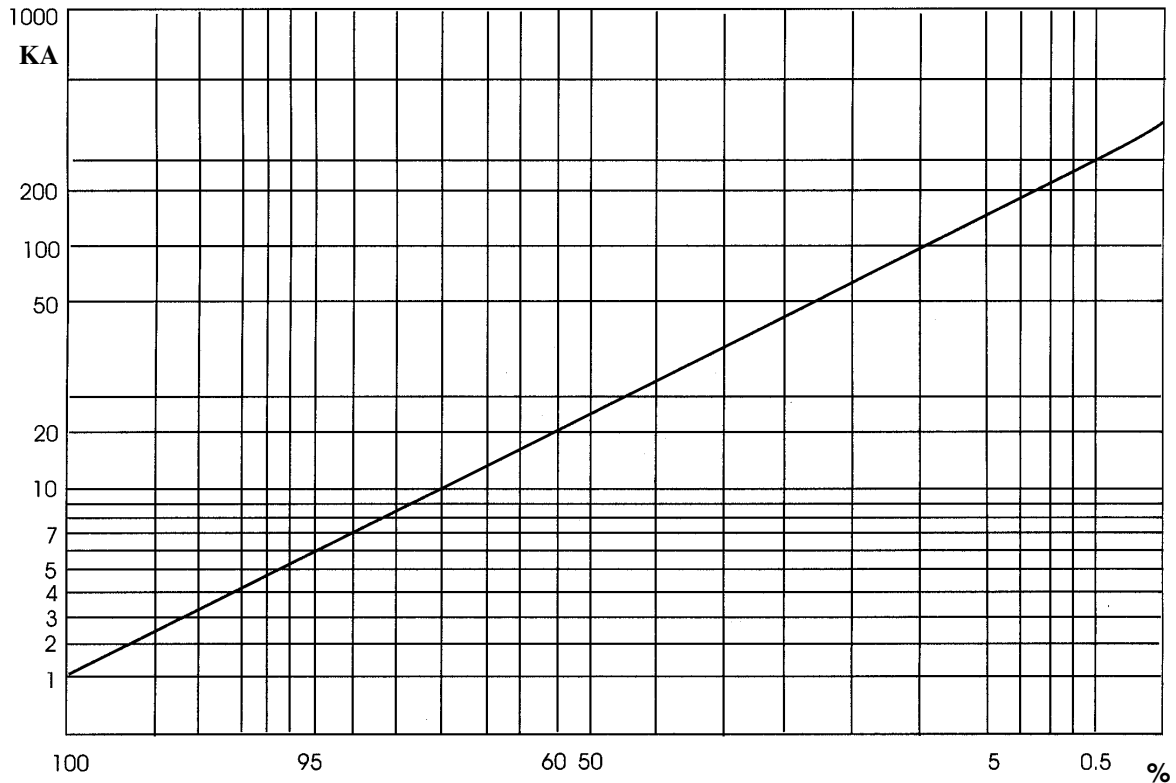


Figura 14.- Distribución de las intensidades de caídas de rayos.

El 95% de los rayos no sobrepasa los 6 KA, mientras que sólo un 5% sobrepasa los 100 KA

La duración se define como el tiempo entre el origen virtual y el 50% del tiempo de decaimiento. El origen virtual es el punto donde una línea recta entre el 30% y el 90% del frente de la onda interseca la línea de voltaje cero. En este caso  $8 \mu s$  es el tiempo de ascenso y  $20 \mu s$  es el tiempo de decaimiento hasta el 50% de la cola de la onda.

Debido a la energía del rayo, resulta tanto el diseño como la instalación de un sistema de protección contra rayos para salvaguardar la integridad del equipo electrónico sensible. La normatividad mexicana, publicada en el Diario Oficial de la Federación, sigue las mismas normas que la estadounidense en cuanto a los dos sistemas de tierra, el sistema de tierra del edificio y el sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Los campos electromagnéticos, sus pulsos y la energía ya sea durante un impacto directo o inducido pueden causar graves daños al equipo electrónico, por lo tanto, las medidas de protección contra los efectos de los rayos son caras, por ello, el costo de la protección debe estar en proporción con los daños que cabe esperar si no se toman tales precauciones.

Muchas organizaciones mundiales registran diariamente la incidencia de rayos en áreas geográficas específicas y en todo el planeta. Los datos obtenidos indican que el salto del arco de un rayo destructivo puede tener un nivel de 30 000 amperes a un voltaje de 30 millones de volts.

Los sobrevoltajes transitorios inducidos por rayos en el sistema de alimentación pueden causar el mal funcionamiento del equipo o introducir datos o mandatos erróneos.

Durante la descarga de un rayo en la proximidad de una instalación pueden ocurrir daños aunque el equipo se encuentre apagado. Cuando éste se desconecta de la fuente de energía, pueden ocurrir daños por medio de la antena o las conexiones en las líneas de datos.

Con la finalidad de asegurar el funcionamiento confiable del equipo electrónico, las computadoras, los equipos médicos computarizados, los enlaces de computadoras (LAN), los sistemas de voz/datos y otros delicados dispositivos electrónicos, se debe proveer protección efectiva contra rayos, especialmente en áreas de alto índice de descarga.

## FORMA DE ONDA DE UN RAYO (IEEE) CORRIENTE CORTOCIRCUITO

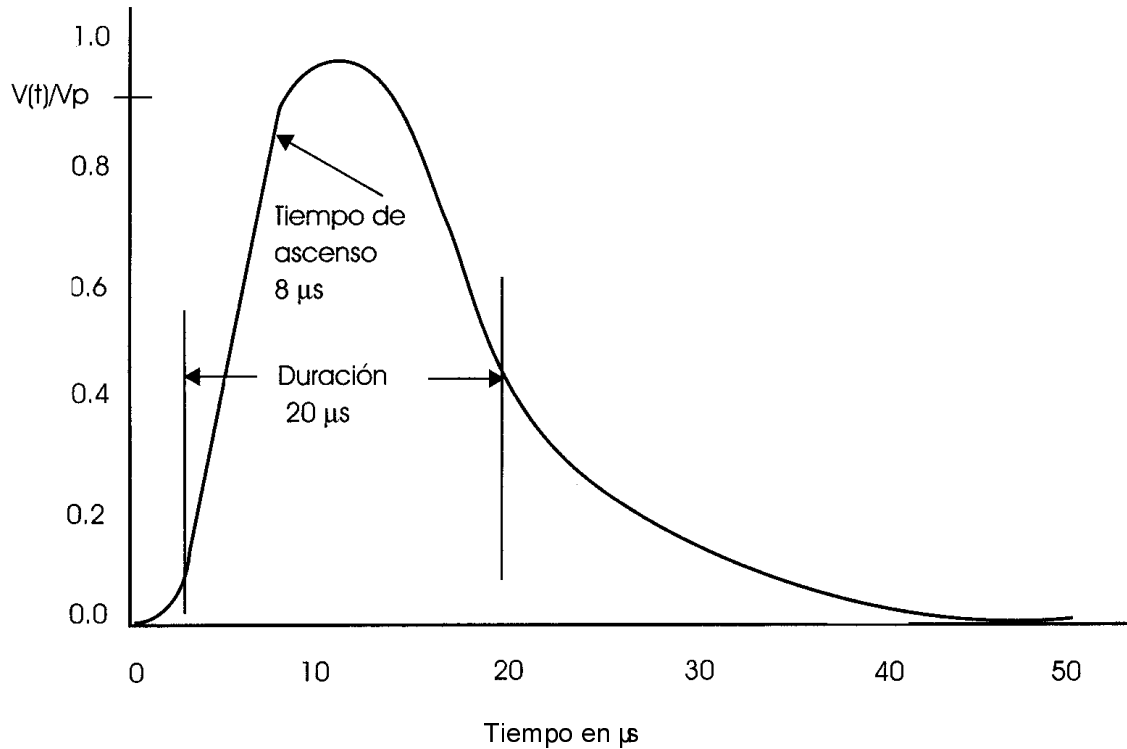


Figura 15.- Curva representativa de una descarga atmosférica 8/20  $\mu s$ .

El mapa isokerónico en la Figura 16 provee información sobre las probabilidades de que ocurran rayos en el Continente americano.

Un buen sistema de protección contra descargas atmosféricas debe drenar la energía del rayo a tierra para evitar que circule por los cables y a través del equipo electrónico sensible. Tanto el equipo como el edificio, o en el caso de un sitio de telecomunicaciones, la torre y los equipos ubicados en ella, deben estar correctamente protegidos.

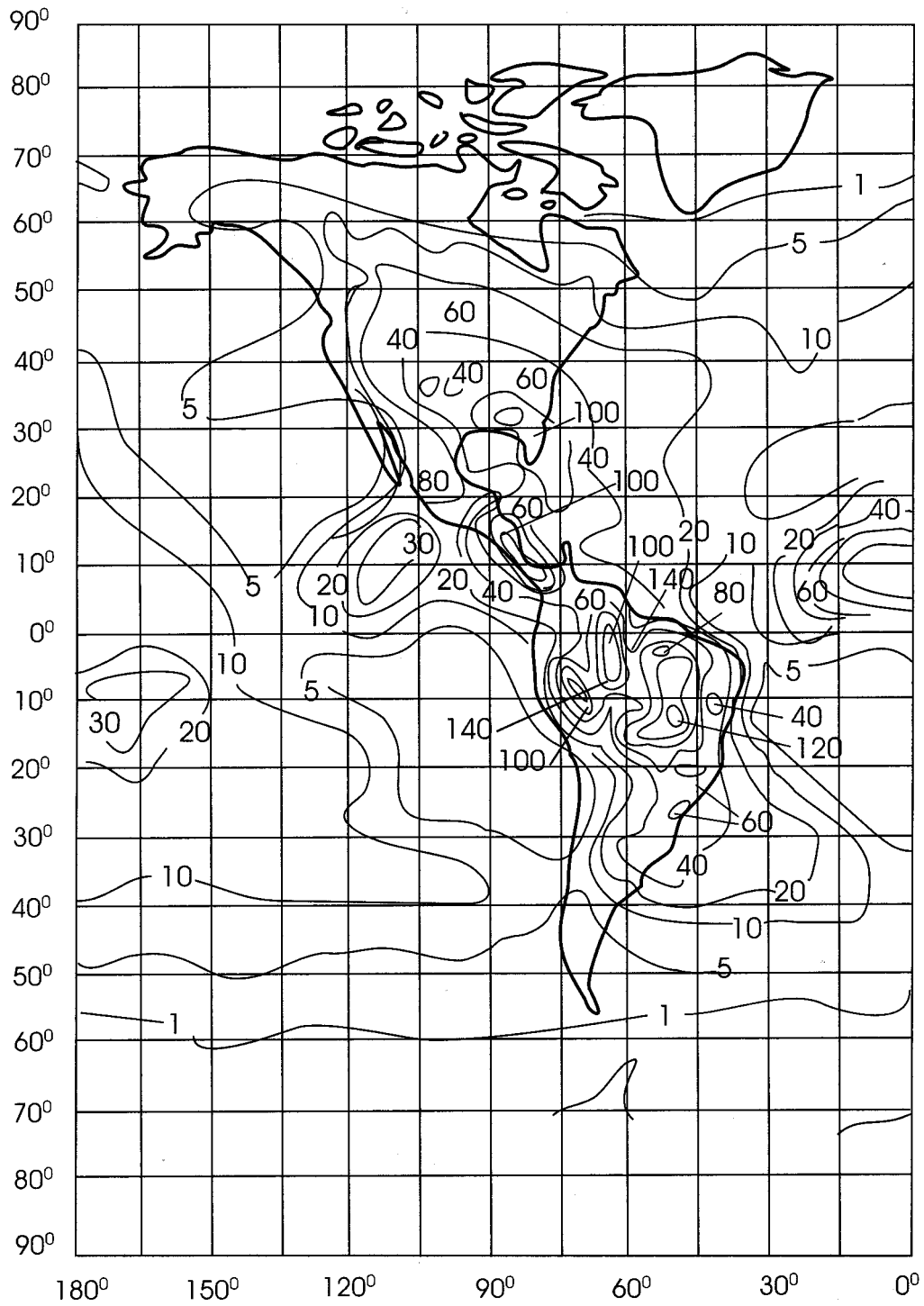


Figura 16.- Mapa isokerónico del continente americano (Número de Rayos / Año)



### **6.3.- Sistemas de protección contra descargas atmosféricas.**

Los sistemas de protección contra rayos consisten en las siguientes partes básicas para proporcionar la baja impedancia requerida:

1. Antena de captación (varillas pararrayos).
2. Un sistema de electrodos de tierras.
3. Un sistema de conductores conectado al sistema de electrodo de tierra.

Estos tres componentes del sistema de protección, al interceptar, conducir y disipar la descarga principal del rayo, no aseguran que no habrá posibles efectos secundarios de la descarga. Por lo tanto, se requieren conductores secundarios para interconectar los objetos metálicos y mantenerlos al mismo potencial a fin de evitar el salto del arco.

También es necesario utilizar dispositivos de protección contra los sobrevoltajes transitorios producidos por los rayos, para la protección de conductores y el equipo conectado a éstos, asimismo, se pueden usar las piezas metálicas de estructuras como parte del sistema de protección, como ocurre en una torre de comunicaciones.

El objetivo principal del sistema es interceptar la descarga inmediatamente encima del objeto o estructura que tienen más probabilidades de estar expuestos al impacto a fin de proporcionar un camino directo a tierra; es decir, el objetivo es dar a la descarga un camino directo a tierra en lugar de que busque dirección propia.

Es importante destacar que una baja resistividad del suelo es deseable pero no esencial. Si comparamos un sistema en suelo de arcilla con baja resistividad y el otro en suelo rocoso, podemos establecer que en los dos hay un buen sistema. Para el primero, un esquema simple proporciona los medios para coleccionar y disipar la energía del rayo. Para el sistema en suelo rocoso el método más práctico es colocar una red de conductores extendidos sobre la roca, alrededor del edificio, y conectados al conductor bajante, ambos sistemas producen los mismos resultados, pues se encuentran sobre suelo conductivo.

Un tema que es importante mencionar es el grave problema de los sobrevoltajes en las líneas de telecomunicaciones, pues las líneas aéreas están expuestas directamente a las influencias de las descargas atmosféricas.

En la actualidad es posible establecer una clasificación de niveles de protección contra los efectos de las descargas atmosféricas, tanto directos como indirectos: el nivel primario lo constituyen las varillas pararrayos, el sistema de interconexión y conductores bajantes, lo mismo que la puesta a tierra; el nivel secundario es el equipo o sistema y el terciario emplea tarjetas de circuito integrado.

Los sistemas de protección contra los rayos más utilizados están clasificados así:

- Sistema de conducción.
- Sistema de atracción.
- Sistema de disipación.

De los tres sistemas, el único aprobado por los tres grupos mencionados es el de conducción, también llamado la barra de Franklin o jaula de Faraday.

Los sistemas de conducción y atracción tratan de atraer la descarga del rayo. Para lograrlo proveen una trayectoria de descarga de baja impedancia a tierra que mantienen lejos la estructura que protegen.

El sistema de conducción usa varillas de pararrayos y el de atracción emplea un isótopo radiactivo o un iniciador iónico para atraer el rayo. El sistema de disipación usa gran cantidad de pequeños puntos metálicos para crear un campo pasivo ionizado con el fin de tratar de descargar continuamente el campo eléctrico creado por la tormenta. El objetivo es mantener este campo en el área del disipador para que no alcance el punto de centelleo, y así prevenir una descarga a la estructura protegida.

#### **6.4.- Diseño e instalación.**

El principio fundamental para la protección de vidas e infraestructura frente a las descargas atmosféricas, es proporcionar los medios por los cuales una descarga pueda entrar a la tierra o salir de ella, sin causar daños o pérdidas. Se recomienda una trayectoria de baja impedancia pues cuando la descarga sigue una impedancia alta, puede producir daños debido al calor y las fuerzas mecánicas generadas.

A la mayoría de los metales, como buenos conductores, no les afectan ni el calor o las fuerzas mecánicas, siempre y cuando tengan suficiente tamaño para transportar las corrientes impuestas sobre ellos, en casi todos los ambientes un metal, como el cobre o aluminio, es un buen conductor libre de los efectos de corrosión.

El método más antiguo y comúnmente usado como protección es el sistema de conducción. Los pararrayos se instalan en la estructura del techo (Figura 17), el cual acepta descargas de rayos en su área inmediata y se emplazan en los puntos altos para formar un sistema interceptor completo.

La Figura 17 ilustra las condiciones a considerar más importantes para implementar un sistema de protección frente a rayos, utilizando el sistema de conducción.

Los parámetros más importantes para un sistema de protección típico son los siguientes:

- 15 metros de espacio máximo entre las varillas pararrayos.
- Se permiten 45 metros como la máxima longitud sin conexión alguna.
- El espacio máximo permitido entre varillas pararrayos, en los bordes del edificio es de 6 mts o 7.6 mts de acuerdo con la altura de las varillas pararrayos.

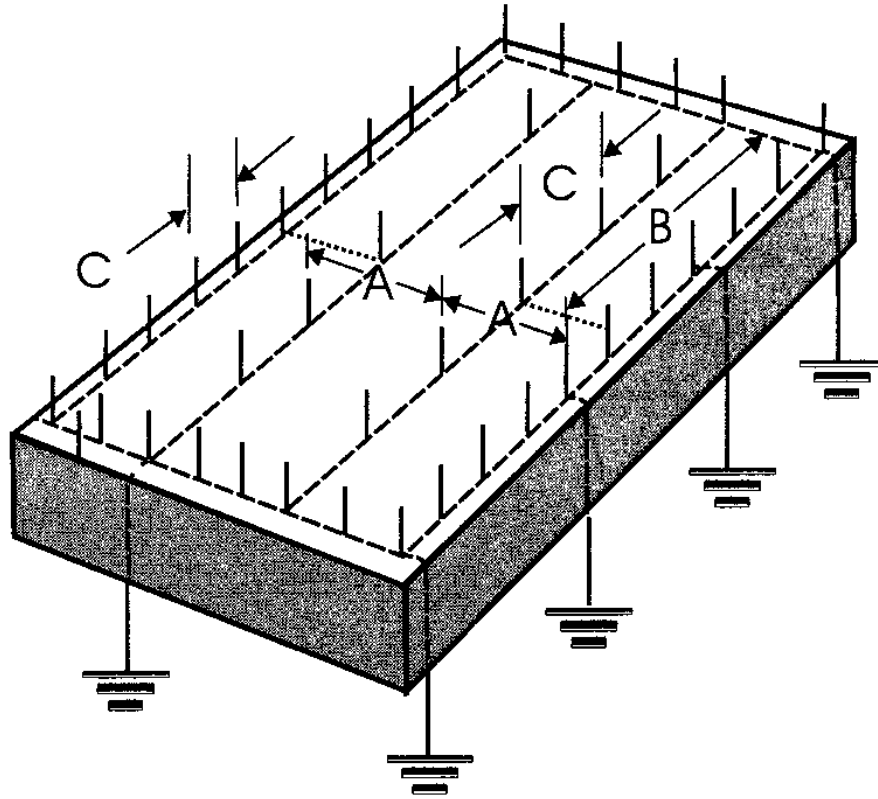


Figura 17.- Varillas pararrayos en un plano superior (techo de un edificio).

#### 6.5.- Altura de las varillas pararrayos.

La punta superior de las antenas de captación o varilla pararrayos, debe tener una altura mínima de 250 mm (10 pulgadas) por encima del objeto o área que se va a proteger. Las varillas deben estar espaciadas a distancias "c" de la Figura 33, no superiores a 6 mts (20 pies) entre sí.

Una antena de captación debe ser colocada a una distancia no superior a 60 cm (24 pulgadas) de las esquinas y otros objetos puntiagudos. Todas las chimeneas, ventiladores, astas de banderas, torres, tanques para agua y otras proyecciones deben estar protegidas con una o más terminales.

Para evitar la corrosión, las terminales de chimeneas y torres de emisión deben estar revestidas de plomo.

Las investigaciones científicas sobre los fenómenos atmosféricos indican que los centelleos destructivos del rayo tienen una distancia igual o superior a 45 mts (150 pies). De esta forma, el contorno de la zona protegida por una de las varillas pararrayos estándar, se ha definido como un área bajo un arco, que tiene un radio máximo de 45 mts (150 pies) y es tangente a la tierra, mientras que toca la punta de una antena. En la Figura 18 esto se muestra, gráficamente lo explicado.

Lo anterior es importante para estructuras que exceden de 45 mts (150 pies) de altura ya que se deben instalar antenas adicionales a niveles intermedios apropiados, lo mismo que a nivel del techo o azotea.

Por ejemplo, en un edificio con techo plano, el área por debajo de la circunferencia del arco tangente a la tierra y al pararrayos de una de las esquinas, es el área de protección, por lo que todas las estructuras dentro de esta zona estarán protegidas. De la misma forma, el área de protección entre dos varillas, es el área ubicada debajo de la circunferencia del arco tangente a las dos varillas.

En el diseño de un sistema se utiliza un plano del edificio y a escala se utiliza el concepto de la esfera rodante, utilizando los 45.75 mts de radio (150 pies), mediante la vista lateral del edificio o estructura, se rueda la esfera sobre el contorno del edificio para determinar la zona de protección.

El techo de edificios altos requiere terminales ubicadas en la mitad del techo y espaciadas entre sí a distancias hasta de 15 mts (50 pies). Todas las estructuras que se extienden sobre la protección de las terminales del techo, como la cabecera de ascensores, grandes unidades de ventilación y otras, deben estar equipadas con sus propias antenas de protección.

Las antenas pararrayos deben conectarse a una rejilla de conductores de interconexión, la cual se conecta a los bajantes o conductores de entrada que se extienden hasta el suelo y se conectan a los electrodos de tierra apropiados para este sistema.

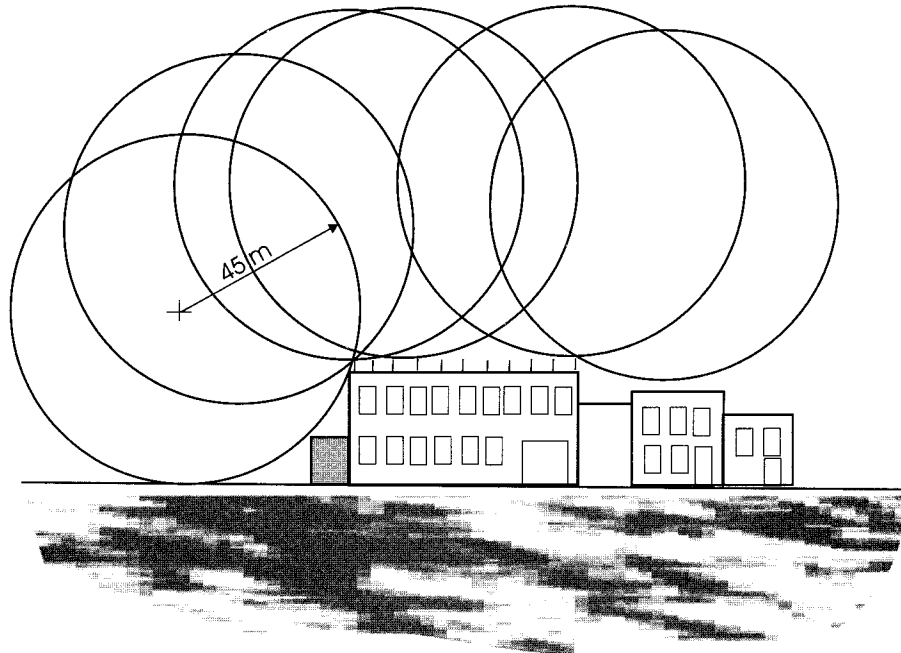


Figura 18.- Esfera rodante-área de protección

Todos los elementos metálicos, conectados a tierra o aislados, que están colocados en el techo, o en las paredes exteriores y cercanas a los conductores de entrada deben estar unidos a los conductores de entrada ante la posibilidad de un centelleo. Éste es un arco causado por la diferencia de potencial entre el conductor de entrada y un elemento metálico. Esta unión elimina la diferencia de potencial y previene daños causados a estos componentes por el flujo de alta corriente.

Los conductores deben conectarse con accesorios no corrosivos para obtener una conexión eléctrica continua sin la necesidad de aplicar soldadura. Es preciso utilizar sujetadores no metálicos para prevenir el efecto de obstrucción eléctrica o choque.

Las terminales aéreas o antenas de un edificio industrial o comercial típico requieren dos trayectorias a tierra. Los elementos primarios metálicos del techo, que están fuera de la zona de protección de las antenas, deben unirse al sistema ubicado en él, por medio de dos trayectorias de conductores a tierra.

Los elementos secundarios metálicos son aquellos que no pueden recibir la descarga directamente, pueden unirse al sistema de conductores con un conductor secundario de calibre pequeño, los conductores de perímetro deben formar un lazo cerrado en el techo con los conductores de entrada o bajantes, espaciados a distancias inferiores a 30 mts (100 pies) alrededor del perímetro.

## **6.6.- Impedancia a tierra.**

La resistencia del suelo varía en diferentes regiones de acuerdo con su composición. En áreas donde la tierra es de arcilla húmeda o arenosa, es necesario tomar las medidas necesarias para establecer una baja resistencia a tierra.

### **6.6.1.- Suelo arenoso o pedregoso.**

En un suelo arenoso o pedregoso, se deben enterrar dos o más varillas de tierra, en un espacio entre varillas no menores de 3 mts (10 pies). Estas varillas se encajan verticalmente a una profundidad mínima de 3 mts (10 pies), las varillas deben ser de cobre o de acero revestido de cobre, o de acero inoxidable, de 2.4 mts (8 pies) de longitud y 5.8 cm (2 pulgadas) de diámetro. Generalmente este sistema de electrodos de tierra provee baja resistencia para la protección estructural, del personal y del sistema eléctrico.

Si al hacer la medición de resistencia de suelo no se obtiene el valor deseado, se deben añadir más varillas hasta que se logre el valor deseado. En suelos de mayor resistencia será necesario utilizar otros esquemas de electrodo de tierra, tales como anillo de tierra, o radiales en caso de suelo rocoso.

### **6.6.2.- Suelo rocoso.**

En áreas donde la roca se encuentra cerca de la superficie del suelo es necesario excavar y extender conductores en forma de radiales desde el edificio, estas zanjas no deben ser menores de 3.7 mts (12 pies) de longitud y de 30 cm (1 pie) a 60 cm (2 pies) de profundidad.

En suelo pedregoso y arenoso esta zanja no debe ser menor de 7.5 mts (24 pies) de longitud y 60 cm (2 pies) de profundidad. Si estos métodos no funcionan y la roca es la superficie del suelo, se permite extender el cable sobre la roca, pero éste debe unirse a una placa de cobre, de 0.8 mm (0.032 pulgadas) de espesor mínimo y con un área de superficie de 0.18 m<sup>2</sup> (2 pies cuadrados).

Los electrodos encajados en concreto sólo deben utilizarse en nuevas construcciones. Estos electrodos deben ubicarse cerca de los cimientos del edificio y estar encajados en 50.8 mm (2 pulgadas) de concreto.

Asimismo, debe tener las siguientes características:

- Ser de cobre desnudo
- Debe tener una longitud mínima de 6.1 mts (20 pies)
- Puede estar constituido de una o más barras de refuerzo con una longitud mínima de 6.1 mts (20 pies) y 12.7 mm (0.5 pulgadas) de diámetro, unidas conjuntamente por medio de soldadura o una sobre otra para formar 20 diámetros uniéndolas con alambre.

#### 6.6.3.- Otras protecciones.

Las modernas protecciones estructurales usan el sistema de blindaje conocido como jaula de Faraday, el cual facilita la supresión de sobrevoltajes transitorios. A menudo se instalan supresores de picos o sobrevoltajes transitorios separados, además de los sistemas de protección para las descargas atmosféricas directas de rayos, para proteger a los equipos electrónicos sensibles contra sobretensiones. Tal protección debe considerarse como parte integral del sistema de protección contra rayos.

La protección contra sobretensiones debe instalarse en la entrada de servicio de la planta (acometida) y en los alimentadores de los edificios. Si es necesaria protección adicional puede aplicarse a equipos específicos, por ejemplo motores grandes, equipo de procesamiento de datos, terminales y computadoras de control de proceso y el equipo médico que funcione a base de microprocesadores.

#### **6.7.- Especificaciones para un sistema de protección contra rayos.**

Para el diseño de un sistema de protección contra rayos, se consideran dos tipos de sistemas, los cuales dependen de la altura de la estructura o edificio. Así, se consideran los materiales de clase I, para edificios que no exceden 23 mts (75 pies) y los de clase II, para edificios que exceden 23 mts (75 pies).

Una estructura ordinaria (residencial, comercial, industrial) que no exceda 23 mts (75 pies) de altura debe protegerse con materiales de clase I según se señalan en las siguientes tablas. Estructuras ordinarias que exceden los 23 mts se protegen con materiales de clase II. Si parte de la estructura excede los 23 m, los materiales de clase II se aplican sólo a la extensión de la estructura.

Deben usarse materiales resistentes a la corrosión o protegidos en forma adecuada contra ella. No se aceptan mezclas de materiales que electrolíticamente pueden acelerar la corrosión. Los materiales aceptados incluyen el cobre y aleaciones de cobre y aluminio. Los conductores serán de grado eléctrico, así en la Tabla 7 se señalan los requisitos mínimos establecidos para protección contra rayos para materiales de clase I, los requisitos mínimos de materiales, tipos de conductores y ubicación de componentes del sistema.

Por su parte en la Tabla 8 se enuncian los requisitos mínimos establecidos para protección contra rayos para materiales de clase II, tipos de conductores y ubicación de componentes del sistema.

6.7.1.- Altura de la varilla pararrayos o antena de captación.

La punta de la antena de captación o antena pararrayos no debe ser menor que 254 mm (10 pulgadas) por encima del objeto o área que se quiere proteger, una varilla pararrayos que exceda los 600 mm (24 pulgadas) de altura debe soportarse en un punto no menor de la mitad de la varilla, tal como se muestra en las Figuras 19, 20 y 21.

Tipo de conductor	Cobre			Aluminio	
	Estándar	Estándar	Métrico	Estándar	Métrico
Antena pararrayos, sólido	Diámetro	3/8"	9.5 mm <sup>2</sup>	1/2"	12.7 mm <sup>2</sup>
Antena pararrayos, tubular	Diámetro	5/8"	15.9 mm <sup>2</sup>	5/8"	15.9 mm <sup>2</sup>
Conductor de bajada	Multifilar	AWG #2	29 mm <sup>2</sup>	98.6 Kcm	50 mm <sup>2</sup>
Conductor de unión	Multifilar	AWG #6	13.3 mm <sup>2</sup>	AWG #4	21.15 mm <sup>2</sup>

Tabla 7.- Requisitos mínimos para materiales pararrayos de clase I

Tipo de conductor	Cobre			Aluminio	
	Estándar	Estándar	Métrico	Estándar	Métrico
Antena pararrayos, sólido	Diámetro	1/2"	12.7 mm <sup>2</sup>	5/8"	15.9 mm <sup>2</sup>
Conductor de bajada	Multifilar	AWG #15		AWG #13	
Conductor de unión	Multifilar	AWG #17		AWG #14	
Conductor de unión	Sólido	1/2"	12.7 mm <sup>2</sup>	1/2"	12.7 mm <sup>2</sup>

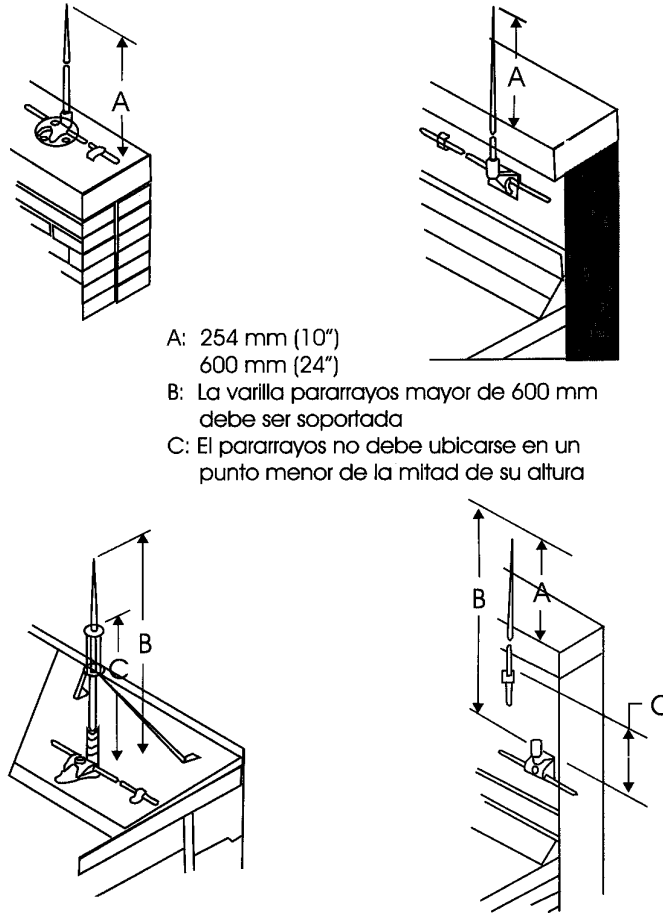
Tabla 8.- Requisitos mínimos para materiales pararrayos de clase II

6.7.2.- Conductores bajantes.

Dos es el número mínimo de conductores bajantes para cualquier estructura. En el caso de una torre de comunicaciones se utiliza un conductor bajante, generalmente del número 2, trenzado, desnudo, y se utiliza la torre como el segundo conductor bajante, aunque no se recomienda este método, debido a la corrosión o daño a la estructura metálica que pueda sufrir por las constantes pasos de corriente sobre la misma, adicionalmente se deberán de asegurar las antenas y sus guías de onda de manera que se aterricen independientes de la torre, si se utiliza la torre como bajante de descargas, ya que en caso de encontrarse las antenas aseguradas en plano integrado a la torre, al momento de sufrir un paso de corrientes inmediato, la guía de onda conectada y la misma antena llevaran parte de la descarga al centro de control y transmisión de los equipos provocando daños inminentes a los sistemas.

Los conductores bajantes en concreto reforzado o sobre la superficie de la estructura metálica del edificio deben conectarse en la parte superior e inferior de la estructura.

En caso de estructuras o miembros verticales de gran altura se harán conexiones adicionales a intervalos que no excedan los 60 mts (200 pies).



- A: 254 mm (10")  
600 mm (24")
- B: La varilla pararrayos mayor de 600 mm debe ser soportada
- C: El pararrayos no debe ubicarse en un punto menor de la mitad de su altura

Figura 19.- Especificación para la instalación de varillas pararrayos.



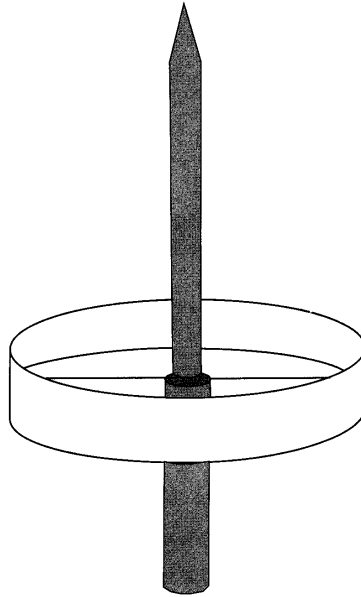


Figura 20.- Varilla pararrayos tipo dipolo.

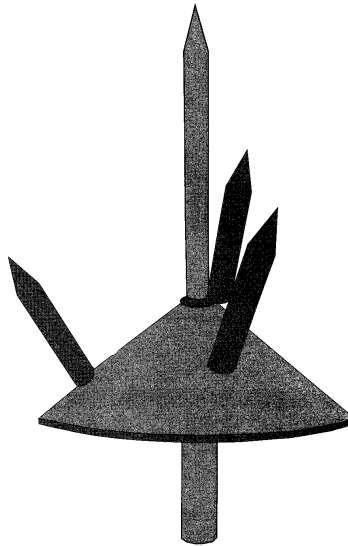


Figura 21.- Varilla pararrayos tipo ionizante.

#### 6.7.3.- Curvatura de los conductores

Para ofrecer una baja impedancia el ángulo de curvatura de los conductores utilizados en el sistema de protección contra rayos no debe ser menor de  $90^\circ$ , y debe tener un radio de curvatura no menor de 203 mm (8 pulgadas) tal como se señalan en la Figura 22.

El radio de curvatura no debe ser menor de 203 mm (8")

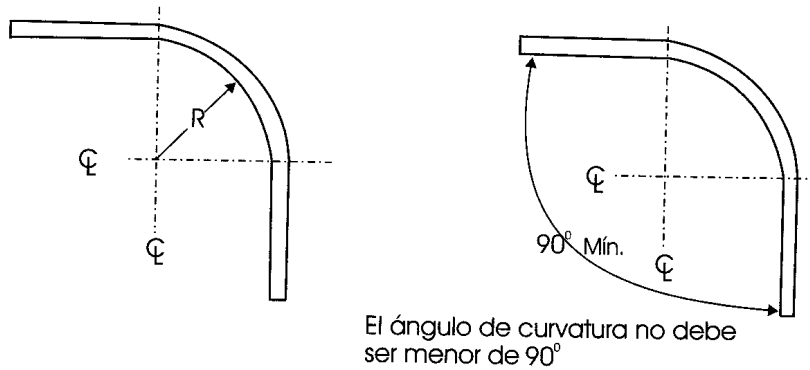


Figura 22.- Curvatura y ángulo de los conductores.

#### 6.7.4.- Varillas de tierra

Los electrodos de tierra no deben ser menores de 12.7 mm (0.5 pulgadas) de diámetro y 2.4 mts (8 pies) de longitud y deben ser de cobre sólido o acero revestido de cobre, acero galvanizado o acero inoxidable. Todos los sistemas de electrodos deben interconectarse al sistema de tierra del edificio y al sistema de protección contra descargas atmosféricas.

En sitios donde exista un terreno arenoso o pedregoso se utilizan dos o más varillas de tierra, espaciadas a distancias no menores de 3 mts (10 pies) y enterradas verticalmente a una profundidad no menor de 3 mts (10 pies) por debajo de la superficie del suelo (Figura 23).

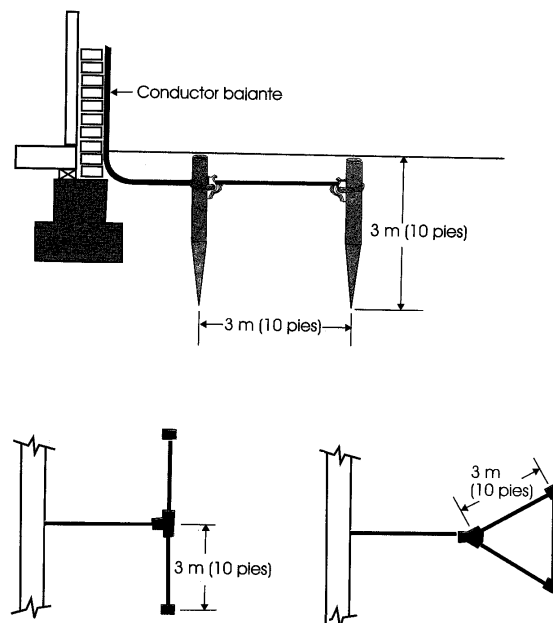


Figura 23.- Esquema de conexiones a tierra de un sistema de protección contra rayos en suelo arenoso.

## **Capítulo 7**

### **METODOLOGÍA PARA LA PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS EN UN SITIO DE TELECOMUNICACIONES**

El objetivo de este tema central es proporcionar la información que permita determinar y configurar lo que es un sistema de tierras para sitios y sistemas de telecomunicaciones, además se buscará distinguir entre conexión a tierra de baja y alta frecuencia. protección para el personal y el equipo contra descargas atmosféricas, perturbaciones de línea, actividades de conmutación de los sistemas de alimentación y fallas

### **7.1- Aplicaciones separadas de puesta a tierra de sitios de telecomunicaciones.**

Antes de tratar a fondo los sistemas de conexión a tierra para sitios de telecomunicaciones es importante definir los términos empleados y los componentes del sistema de tierra para sitios de telecomunicaciones.

#### **7.1.1.- Soldadura Exotérmica.**

En este proceso se utiliza una soldadura de arco y una mezcla de polvo de metal con moldes especiales de grafito. El polvo reacciona para producir cobre fundido, el cual fluye alrededor de los metales soldándolos y derritiéndolos ligeramente. El resultado es una unión permanente, de alta calidad, robusta y con propiedades básicas de baja resistencia. Ver Figura 24.

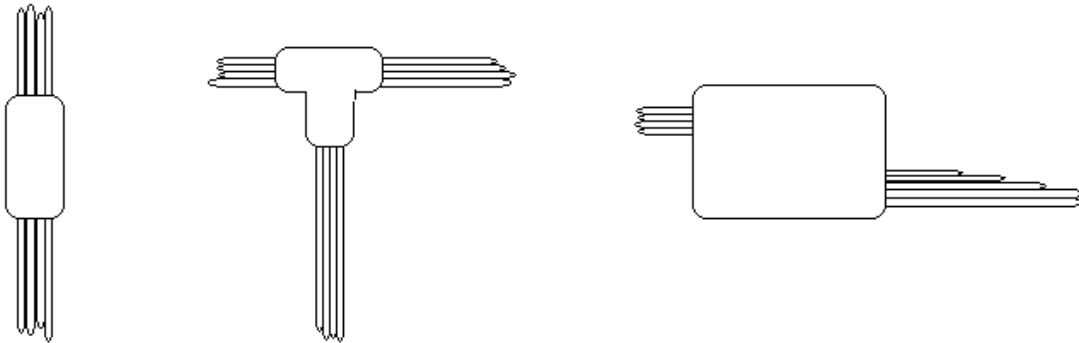


Figura 24.- Tipos de soldadura exotérmica.

#### **7.1.2.- Barra externa de tierra.**

La barra externa de tierra, es una barra de cobre, con orificios taladrados para montar las terminales. Puede estar equipada con una cinta de cobre de 5.8 cm de longitud y de 1.3 mm de espesor, que opera como conexión a esta barra la cual proporciona un punto de baja resistencia para aterrizar las terminales de los accesorios de conexión a tierra de las líneas de transmisión en el punto de entrada en el cuarto del equipo. Se ubica directamente debajo de la ventana de entrada de la guía de onda en la parte exterior del sitio de telecomunicaciones. Ver Figura 25.

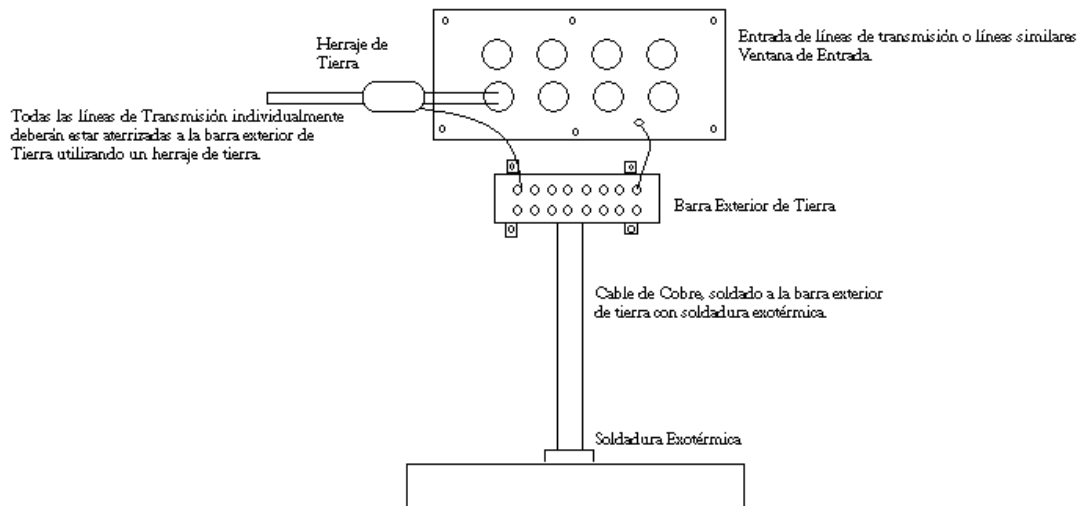


Figura 25.- Barra exterior de tierra unida al anillo exterior de tierra.

### 7.1.3.- Campo de tierra del sitio de telecomunicaciones (sala de conmutación).

El campo de tierra de la oficina central puede ser cualquier sistema o arreglo de electrodos químicos inertes los cuales formaran el sistema de electrodos de puesta a tierra del sitio, la resistencia a tierra de este campo debe ser igual o menor de 5 ohms como norma internacional.

Sin embargo para algunas regiones y áreas específicas se recomienda una resistencia máxima a tierra de 3 ohms, caso concreto el de México, esto debido a que las regiones geográficas de nuestro país muestran diferentes características a lo largo de las estaciones del año, teniendo por ende diferentes características de terreno de acuerdo a la estación de año así como la ubicación geográfica.

Como cualquier área de ingeniería aplicada, el sistema de tierras de un sitio de telecomunicaciones debe planificarse, diseñarse e instalarse correctamente. Antes de llevar a cabo la instalación deberá ser necesario aplicar ciertos factores importantes durante el diseño del sistema como es: resistividad de la tierra, área de tierra disponible y profundidad de tierra antes de encontrar rocas, piedras o arena, el anillo del sistema de tierras se deberá instalar al menos 1 m. de la superficie del suelo, lo más cercano al sitio.

Todas las conexiones que se realizan y que están asociadas con el campo de tierra deben soldarse con soldadura exotérmica.

El conductor que se extiende desde el campo de tierra hasta la barra principal de tierra debe ser continuo. Si en el caso extremo se requiere empalmar el cable, esto deberá realizarse con soldadura exotérmica. Los conectores de metal deben contar con abrazaderas de presión.

Las torres de radio y los sistemas de protección contra rayos, deben conectarse a tierra a campos de tierra separados y dedicados, conectados posteriormente al sistema de tierra de la estructura.

Debe existir una unión fuera de la oficina de conmutación de telecomunicaciones para los campos dedicados al campo de tierra. Los extremos de los conductores que están unidos al conductor del campo de tierra deben estar dirigidos hacia éste, para reducir la posibilidad de conducción de corrientes hacia la barra principal a tierra.

#### 7.1.4.- Barra de Tierra Principal.

La barra de tierra principal (BTP), Figura 26, es el centro de recepción del sistema de tierra del sitio de telecomunicaciones. Es el punto de conexión común para los protectores contra sobrevoltajes transitorios (P) y los absorbedores de carga (A), lo mismo que para las tierras de los equipos de ambas áreas, las no aisladas (N), y las aisladas (I).

La BTP deberá de ser de cobre y estar aislada de su soporte; sus dimensiones mínimas recomendadas son 457 mm de largo por 78 mm de ancho y 6.35 mm de espesor. Esta barra se instala por lo general en la pared del sitio, donde puede proporcionar la trayectoria o ruta más directa del conductor de campo de tierra de la oficina central. Todas las terminales a la barra BTP deben conectarse al conductor por medio de conectores de doble ojillo, cañón largo, zapata a presión.

La configuración de la unión a la barra BTP que muestra la Figura 26 facilita la concentración y disipación de altas sobrecorrientes que se generan fuera del alambrado de la planta, equipo de radio, alarmas, central de conmutación, por medio de la sección (P) y (A) de la barra. Ésta mantiene el mismo potencial de voltaje a través de sus secciones (N) y (I). La secuencia de la conexión es muy importante para la efectividad de la protección total y no debe alterarse.

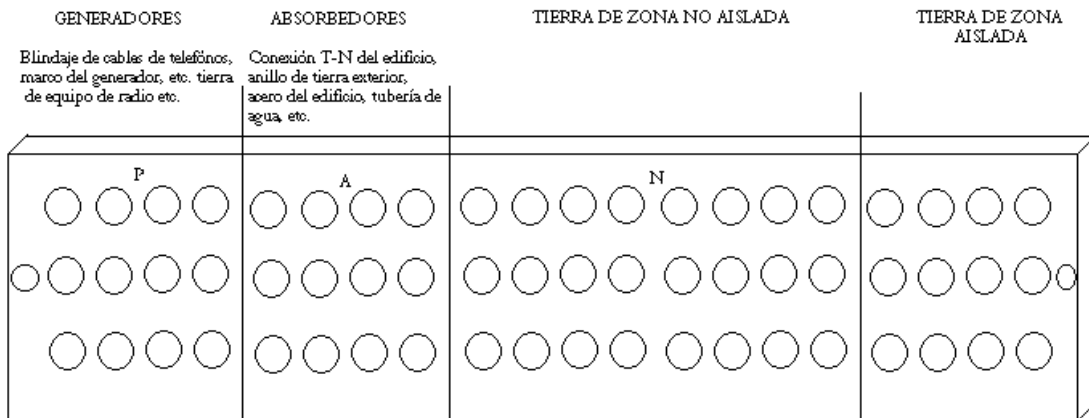


Figura 26.- Barra de tierra principal

Las antenas de radio y microondas, los blindajes o mallas de cables, los pares trenzados de cables y los conductores de alimentación son ejemplos de productores de sobrevoltajes transitorios. Los absorbedores de este tipo de sobrevoltajes son los elementos de un sistema de tierra de una oficina central que proveen una trayectoria de baja impedancia a tierra. Ejemplos de este tipo son: el campo de tierra de la oficina central, la tubería metálica para agua, la tierra de la línea de alimentación de C.A. y la estructura de acero del edificio.

El campo de tierra del módulo de conmutación y las tuberías metálicas de agua se consideran absorbedores primarios de sobrevoltajes transitorios debido a su trayectoria de baja impedancia a tierra.

La resistencia del conductor que parte desde la barra BTP hasta el campo de tierra de la central de conmutación no debe rebasar los 0.005 ohms.

En la Figura 27 se ilustra los detalles de montaje de una barra principal de tierra.

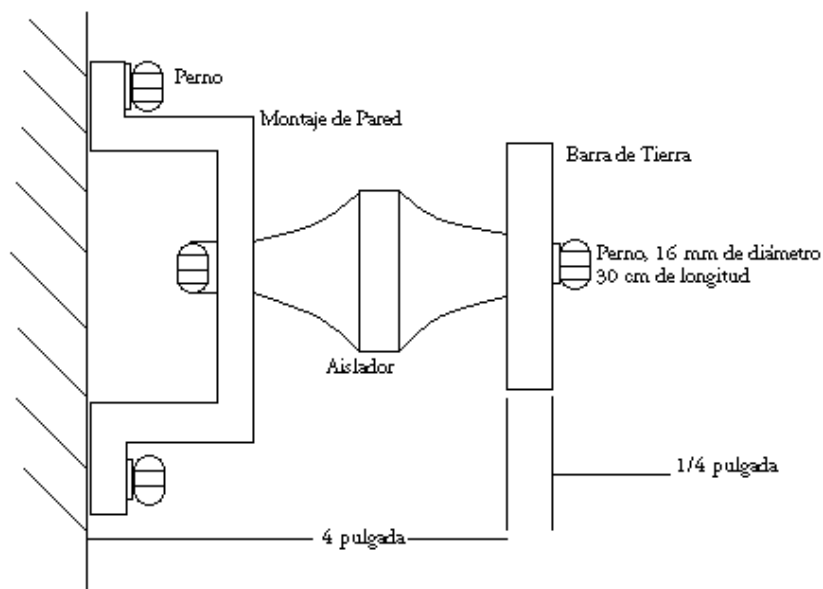


Figura 27.- Montaje de la barra principal de tierra.

La tierra de la línea de alimentación de C.A. y la estructura de acero del edificio se consideran como absorbedores secundarios de sobrevoltajes transitorios, ya que son susceptibles a una elevación considerable del potencial de tierra cuando surgen las perturbaciones eléctricas. En este caso, la tierra de la línea de alimentación de C.A. puede invertir su papel y convertirse en un productor de sobrevoltajes transitorios. La resistencia del conductor que va desde la barra BTP hasta la tierra de línea de alimentación de C.A. debe ser menor a 0.005 ohms y se utiliza un conductor de calibre AWG 2/0 o superior.

En la Figura 28 se muestra el esquema de un sistema puesto a tierra de un sitio de telecomunicaciones

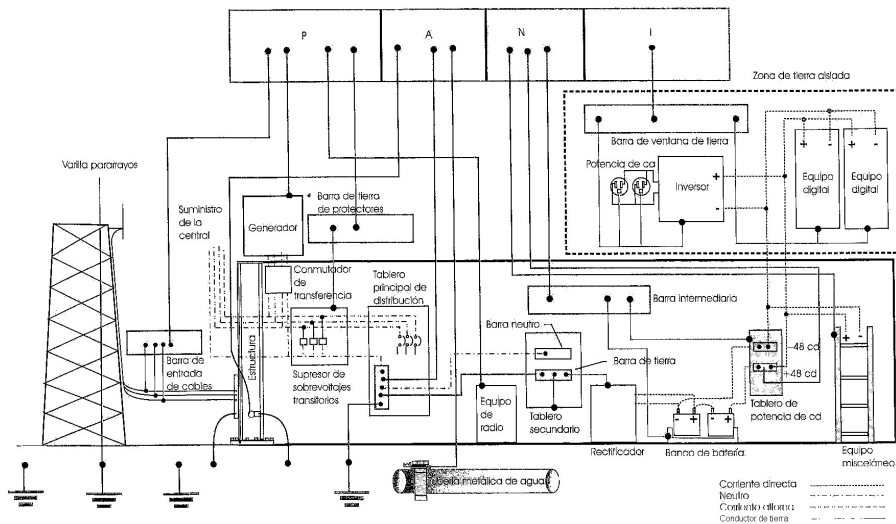


Figura 28.- Esquema de un sistema de puesta a tierra de un sitio de telecomunicaciones.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones transitorios absorben la energía cuando éstos se presentan y los conducen con rapidez a tierra.

Los siguientes dispositivos se conectan directamente a la barra principal de tierra:

- El anillo exterior de tierra que cuenta con un cable AWG calibre número 2 o una barra de cobre de 5.8 cm.
- La tubería metálica para agua.
- La estructura metálica del edificio.
- El sistema de electrodo de tierra.
- Tierra de la línea de alimentación de C.A. acometida de la central de conmutación digital.

En la Figura 29 se ilustra la puesta a tierra de un sitio satelital.

Estos mismos conceptos se aplican a cualquier sitio de comunicaciones.



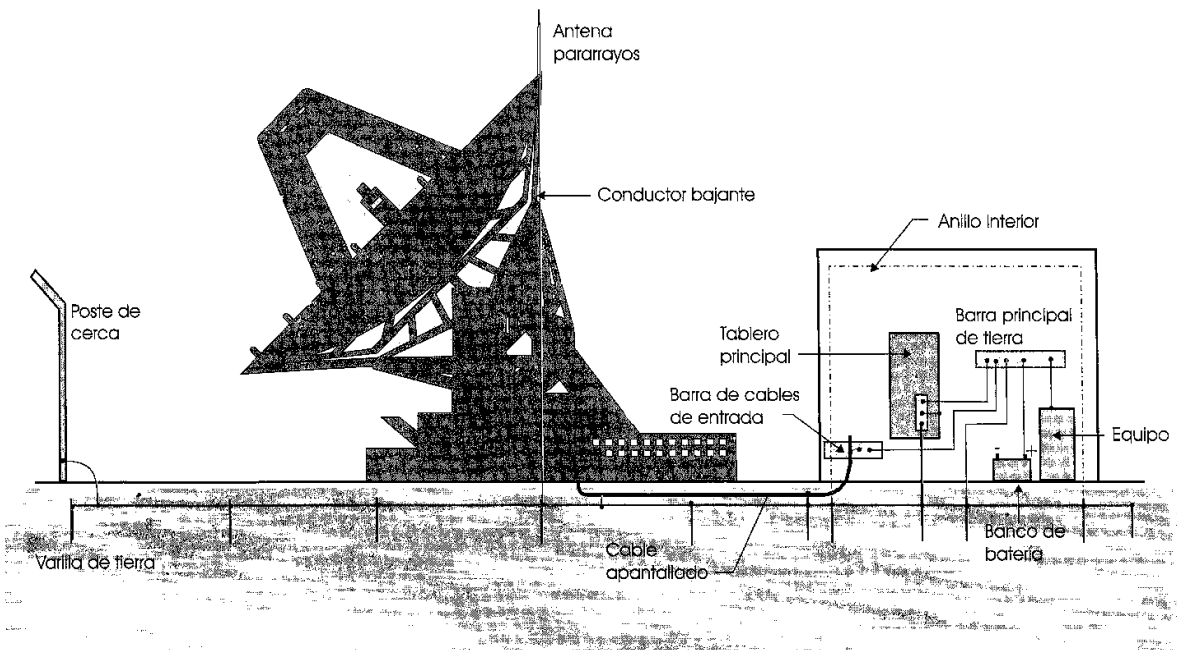


Figura 29.- Puesta a tierra de un sitio satelital.

Los siguientes componentes generan sobrevoltajes transitorios:

- las torres de radio de microondas,
- los blindajes de cables telefónicos,
- los pares de cables de teléfono y
- los protectores de sobrevoltajes transitorios que están instalados en el bastidor principal de distribución
- así como las líneas de alimentación.

Por lo tanto cualquier objeto que proporcione una trayectoria conductora a las descargas atmosféricas o a los sobrevoltajes transitorios debe conectarse a la porción (P) de la barra BTP, así la sección "P" de éste es el punto de conexión es para los generadores de sobrevoltaje como:

- 1.- Tierras de los equipos de microondas y radio: gabinetes y cubiertas.
- 2.- Barra de tierra para cables de entrada.
- 3.- Barra de tierra del bastidor principal de distribución.
- 4.- Marco de tierra del generador.
- 5.- Ventana de entrada de la guía de ondas.
- 6.- Multiacoplador receptor.
- 7.- Terminales del protector de teléfonos.
- 8.- Chasis del generador de emergencia.

Por su parte la sección (N) de la barra BTP es el punto común de referencia a tierra para todo el equipo a tierra no aislado, así las conexiones hechas a la sección (N) previenen diferencias de voltaje entre los gabinetes metálicos del equipo y los ubicados fuera de la zona ZTA. Todas las estructuras del equipo, el hierro de la barra del bastidor de distribución, gabinetes para cables, gabinetes para batería y otras superficies de metales expuestos que podrían energizarse, están unidos a la barra BTP en este punto.

La sección (N) también es el punto de referencia de tierra para la planta de alimentación de C.D. de la oficina central de las compañías telefónicas (+48 volts de retorno).

Las conexiones típicas a la sección "N" de la barra principal de tierra son:

- 1.- Bastidores de diversos equipos
- 2.- Objetos metálicos.
- 3.- Barra colectora del retorno de la batería (+).
- 4.- Gabinetes de baterías.
- 5.- Bastidores del cuarto de alimentación, los cuales no están aterrizados con cables verdes.

Finalmente La sección (I) de la barra BTP es el punto principal de conexión para las tierras ZTA. Esta conexión típicamente tiene la menor variación de voltaje de las secciones de la barra; por consiguiente, las conexiones de la barra VT se realizan en esta sección.

#### 7.1.5.- Zona de tierra aislada (ZTA)

La zona de tierra aislada es el área donde todo el equipo y sus componentes de hierro están aislados de las otras tierras y de sus conexiones a tierra, excepto una conexión única a la barra de ventana a tierra (VT)

Todo equipo ubicado en la zona ZTA flota a un potencial igual al de la barra VT debido a que se utiliza el concepto de un solo punto de tierra. Cuando todas las cargas del equipo electrónico operan al mismo potencial es imposible que ocurra un voltaje dañino, incluso se eliminan los sobrevoltajes.

El gabinete de cualquier equipo instalado en la zona ZTA debe conectarse a tierra mediante una conexión a la barra de ventana a tierra. Esta barra se ubica en la zona ZTA y tal como la barra BTP, es de cobre y está aislada de sus soportes.

Así mismo, debe conectarse a la barra BTP por medio de un conductor de calibre AWG número 2/0 o mayor siguiendo la ruta más directa. La resistencia total de está conexión no debe exceder los 0.005 ohms.

En la Figura 30 muestra la típica conexión a tierra de los equipos dentro de la zona de tierra aislada.

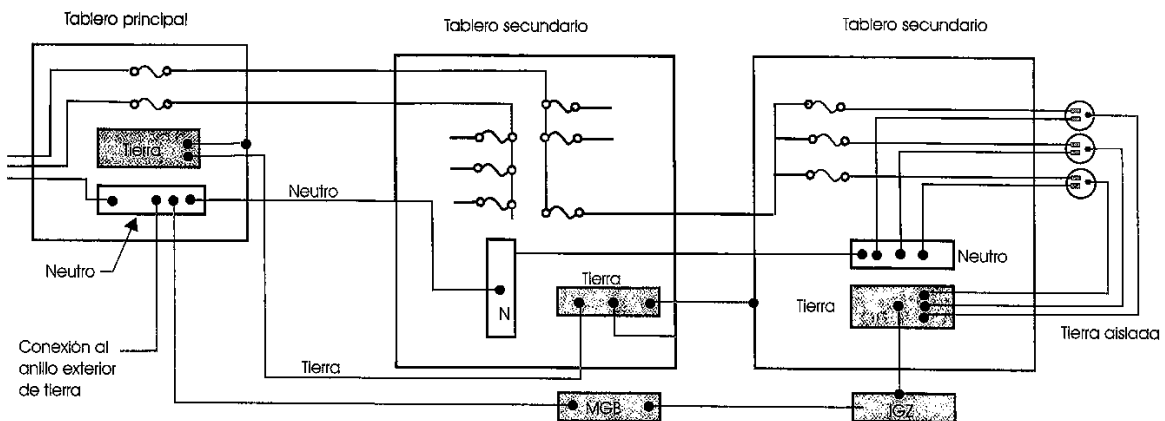


Figura 30.- Receptáculo de Tierra Aislada.

El equipo que se conecta a la zona ZTA es:

- a) Conmutador o Central Digital
- b) Equipo de transmisión equipado de fibras ópticas.
- c) Multiplexores, equipo digital.
- d) Inversores que proporcionan energía de C.A. dentro de la zona ZTA.
- e) Conductos de cables ubicados dentro de esta zona.
- f) Equipo de telefonía.

Los inversores (convertidores de C.D. a C.A.) se usan para proporcionar energía de C.A. en el interior de la zona de tierra aislada. Así mismo, deben instalarse dentro de la zona ZTA y es preciso que su salida se conecte a tierra.

El uso de inversores para la alimentación de C.A. en la zona de tierra aislada tiene ciertas ventajas sobre la línea comercial de alimentación:

- a) La salida del inversor se conectará a tierra.  

Esto eliminará los potenciales capaces de causar daños que pudieran existir entre el equipo periférico y el de conmutación digital, cuando el primero recibe energía comercial de C.A..
- b) La integridad de la zona de tierra aislada se mantiene mientras se cumple con los requerimientos de cada normatividad indicados.
- c) La zona de tierra aislada se separa totalmente de la línea de alimentación comercial y de la tierra de ésta, la cual puede convertirse en un generador de sobrevoltajes transitorios durante tormentas eléctricas.
- d) El equipo periférico ubicado en la zona de tierra aislada se alimenta con la energía que proviene de una fuente ininterrumpible de energía (UPS).

Los inversores solo deberán recibir suministro de la batería del sitio. La conexión del inversor como sistema de respaldo para la alimentación comercial requiere conectar en un cable verde que incluye la línea de alimentación de C.A. al chasis del inversor. Esta conexión destruirá el objetivo primario de la instalación de un inversor dedicado, pues violaría la zona de tierra aislada al incluir un conductor fuera de esta zona.

Existen varias opciones para diseñar la instalación de un inversor. Las decisiones de ingeniería deben basarse en los requisitos de carga y en la necesidad de contar con un inversor de respaldo.

A continuación se presentan las recomendaciones de instalación:

- a) En un sitio de telecomunicaciones pequeño las necesidades de alimentación de C.A. dentro de la ZTA no serán muchas. Bastará con utilizar un inversor de 500 Va montado en un gabinete metálico y no se requerirá un inversor de respaldo.
- b) En un sitio de telecomunicaciones mediano, donde la carga del inversor puede exceder los 500 VA, se deberá instalar un segundo inversor de 500 VA para repartir la carga.

En caso de que falle uno de los inversores, habrá un segundo disponible dentro de la zona para alimentar al equipo crítico.

- c) En un sitio de telecomunicaciones grande que manejan un tráfico elevado de datos, voz e imágenes, es conveniente instalar una fuente de poder del inversor redundante dentro de la zona ZTA.

En estos casos es posible instalar dos inversores de alta capacidad, cada uno capaz de suministrar la carga total de C.A. dentro de la zona; el primero se emplea como primario y el segundo funciona como respaldo. Esta configuración exige que el primer inversor esté equipado con un circuito de conmutación.

En caso de que la línea de alimentación de C.A. del inversor se instale en un ducto y cajas metálicas, se deben utilizar receptáculos de color naranja para mantener integrada la zona ZTA.

Los equipos que requieren la energía de los inversores, los cuales están o serán conectados al equipo de comunicación y transmisión que están ubicados en la zona ZTA y que este conectado a tierra fuera de ésta.

Los dispositivos que requieren energía de C.A., los cuales están o serán conectados al equipo de comunicación y transmisión que está ubicado en la zona ZTA, deben recibir el suministro a través de receptáculos que estarán alimentados por inversores.

Es preferible que la zona ZTA se ubique en una sala separada que permita brindar una separación mínima de 1.8 mts del equipo ubicado en el área fuera de la zona ZTA.

Es importante cumplir los criterios para lograr el control de las descargas electrostáticas en la zona ZTA y así impedir que tierras incidentales o extrañas entren en contacto con el equipo dentro de esta zona ZTA, excepto a través de la barra VT.

Con el fin de mantener la integridad de la zona ZTA, todo el equipo ubicado en ella debe estar eléctricamente aislado del piso, paredes y cielo raso por medio de bujes aislantes. Esto incluye el uso de gabinetes para centrales de conmutación digitales con soportes a piso no conductores, gabinetes para relevadores, pernos de anclaje, gabinetes de cables y todos los puntos de contacto con los gabinetes de cables fuera de la zona ZTA.

Algunos equipos de transmisión pueden tener retornos de batería que están conectados de manera interna en sus gabinetes.

Equipos de este tipo deben estar eléctricamente aislados del gabinete donde estén montados, mediante tornillos y accesorios de montaje no conductores.

Es necesario utilizar inversores que proporcionen alimentación de C.A. en el interior de la zona ZTA; éstos deben instalarse físicamente dentro de la zona ZTA y su salida debe conectarse a tierra en la barra VT. Esto eliminará voltajes dañinos, los cuales pueden presentarse entre el equipo periférico que recibe suministro de una línea comercial de alimentación de C.A. y el equipo digital de comunicación.

La integridad de la zona ZTA se garantiza observando la normatividad vigente en cada región y para cada empresa y utilizando receptáculos con tierra aislada (TA) de color naranja.

Si se instalan tomacorrientes que están alimentados por inversores en la zona ZTA es necesario usar cajas no conductoras para ellos. También hay que verificar que el conductor metálico esté aislado del equipo ZTA.

#### 7.1.6.- Zona de tierra no aislada.

Usualmente el equipo ubicado fuera de los límites de la zona ZTA incluye ciertos circuitos electrónicos, el transportador analógico, la fuente de energía y el bastidor principal de distribución.

Los gabinetes montados fuera de la zona ZTA deben aislarse de todas las tierras, excepto de la conexión de regreso a la sección (N) de la barra BTTP. Este aislamiento permitirá asegurarse de que el equipo no esté en la trayectoria de los sobrevoltajes transitorios que pueden desarrollarse debido a la aparición de fallas incidentales o desconocidas en las conexiones a tierra.

#### 7.1.7.- Bastidor principal de distribución

Es preciso adoptar medidas especiales en el punto del bastidor de distribución con el fin de controlar los sobrevoltajes transitorios y así brindar protección al personal. Por tanto, la barra del Bastidor de Distribución debe quedar fuera de la zona ZTA.

El conductor que conecta la barra del bastidor de distribución a la sección P de la barra BTP, ofrece una trayectoria directa de baja impedancia mediante la cual se descargan los sobrevoltajes transitorios del protector. Los componentes de hierro, sin embargo, deben conectarse a la sección (N) de la barra BTP para proteger al personal. Es necesario que en cada 10.5 cm de longitud horizontal del armazón haya una conexión a tierra. Es recomendable que una barra intermedia a tierra sirva como punto de conexión para los múltiples conductores a tierra de los accesorios de conexión de la barra del bastidor de distribución.

Los componentes de conexión a tierra de todos los elementos de ensamble de protección de la barra del bastidor de distribución deben estar aislados del hierro de ésta, lo que evitará que las corrientes del protector de sobrevoltaje transitorio, fluyan a través del equipo del sitio de telecomunicaciones por medio de los conductores de cables u otra conexión incidental al hierro de la barra del bastidor de distribución

#### 7.1.8.- Cables de entrada.

La barra de tierra del cable de entrada (BTCE) es de cobre, está aislada de su soporte y sirve como punto común de conexión a tierra para el lado de campo de todos los blindajes de los cables de entrada.

La barra BTCE se instala de manera que el conductor de tierra individual AWG, calibre número 6 de cada blindaje del cable de entrada, sea tan corto y directo como sea posible, preferiblemente cercano a los conductores de entrada. Tanto esta barra como la del bastidor de distribución de tierra deben conectarse a la sección (P) de la barra BTP.

Todos los blindajes metálicos de cable que entren a la central de conmutación contarán con un aislamiento de cuando menos 78 mm (tres pulgadas). El objetivo es dirigir los sobrevoltajes transitorios eléctricos que pudieran estar presentes en el blindaje del cable exterior de la planta hacia la barra BTCE, evitando que así se dirijan a la barra de tierra del bastidor de distribución.

Con este fin se instala un cable de unión a la barra BTCE. El cable se aísla de los gabinetes de soporte en todos los puntos de contacto para preservar el concepto de "un solo punto de contacto", y así evitar cortocircuitos por fallas en el aislamiento.

Cada uno de los pares de cables de la línea telefónica (esto incluye circuitos de teléfono para canales celulares de voz, circuito de datos, módems de línea conmutada, líneas de alarma y otras redes de comunicación o líneas privadas) que entren o salgan del sitio estarán equipados con protectores de tubo de gas o protectores híbridos.

Todas las secciones de bandejas portacables estarán unidas utilizando un alambre AWG calibre número 6.

Con el fin de establecer una buena conexión la pintura que está alrededor de los bordes de las bandejas debe removerse y se debe usar el accesorio de montaje apropiado.

## **7.2- Punto único de conexión a tierra en un sistema de telecomunicaciones.**

El método recomendado para realizar una puesta a tierra efectiva en un sitio de telecomunicaciones es la utilización del concepto de "punto único de conexión a tierra" que se ha convertido en el estándar de la industria de telecomunicaciones para poner a tierra su equipo digital.

Durante los disturbios eléctricos los potenciales pueden variar en diferentes puntos del sistema. Si el equipo de conmutación u otro equipo sensible se conecta en varios puntos a lo largo del sistema de tierra es probable que se presenten diferencias de potencial entre los equipos. Cuando estos voltajes producen un flujo de corriente en los cables de señales y a través de los circuitos digitales sensibles pueden ocurrir daños. La unión de todo el equipo del sitio en un solo punto minimizará estos potenciales peligrosos.

La conexión de punto único de conexión a tierra se logra conectando todos los elementos de tierra en un punto común, el cual se conoce como barra principal de tierra (BTTP).

Es importante tener presente que, siempre, los procedimientos de diseño y operación deben coincidir con los requerimientos y normas vigentes de cada lugar.

Se debe especificar adecuadamente los alcances y los requisitos que debe cubrir la protección del personal y del equipo, que se está energizado mediante rectificadores, bancos de baterías, inversores y de generadores de C.D..

Las centrales telefónicas, los sistemas remotos digitales de comunicación y las instalaciones celulares son parte de esta categoría.

Los sistemas de conexión a tierra de un solo punto minimizan los efectos de perturbaciones eléctricas, que de lo contrario podrían causar daños a los equipos digitales de comunicación.

Todos los sitios de telecomunicaciones y el equipo electrónico siempre están relacionados con la tierra por medio del acoplamiento capacitivo, contactos accidentales o conexiones intencionales.

Por lo tanto, la conexión a tierra debe considerarse como un sistema total, con varios subsistemas que forman el sistema de puesta a tierra del lugar.

El sistema a tierra de un sitio de telecomunicaciones consta de varios subsistemas interiores y exteriores como ya lo hemos mencionado. Estos consisten en ciertos componentes básicos, configurados para lograr los objetivos del sistema de tierra y adaptados a las características de cada instalación.

Aunque las configuraciones exactas varían de sitio en sitio, los componentes de un sistema a tierra generalmente son los mismos y siempre se aplican los principios generales de instalación.

En seguida desarrollaremos los criterios principales para el correcto diseño de un sistema de tierra de un sitio de telecomunicaciones.

### 7.3- Subsistema exterior de tierra.

En sitios con antenas de radio, el objetivo de la conexión a tierra es proporcionar una trayectoria con la impedancia más baja posible, desde las antenas y la torre, a tierra. La tierra de la torre consistirá en un anillo de cobre que se debe encontrar preferentemente enterrado alrededor de la base. La tierra externa del edificio o sitio consiste en un anillo de cobre alrededor del sitio o edificio. El anillo exterior de tierra proporciona la conexión primaria a tierra. Los dos anillos, el de la torre y el del edificio o sitio se conectarán entre sí y se complementan con los electrodos de tierra de acuerdo al diseño de tierras realizado.

Todos los blindajes de las líneas de transmisión de RF y equipo de entrada se conectan a tierra como se muestra en la Figura 31.

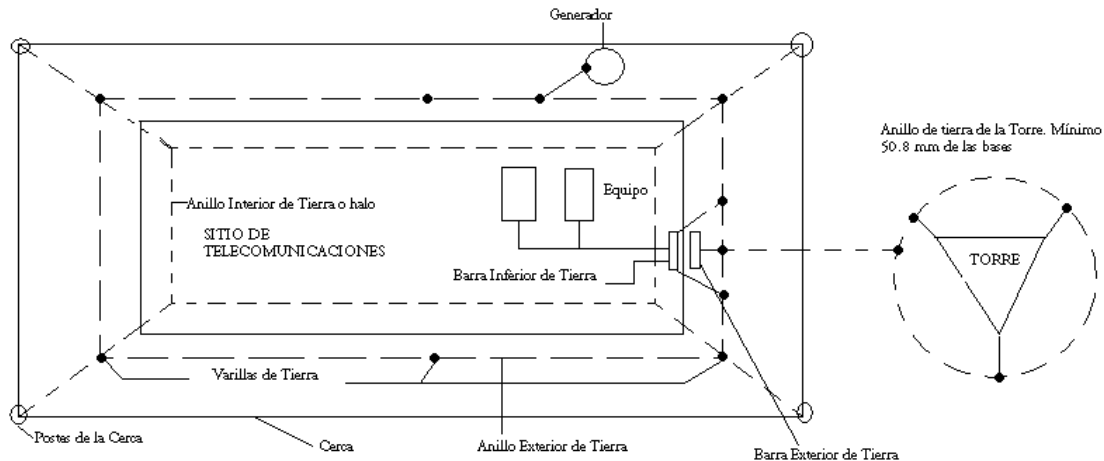


Figura 31.- Anillos de tierra (exterior e interior).

### 7.4- Subsistema de tierra interior.

El sistema de tierra interno se deberá de considerar como premisa una trayectoria de baja impedancia a tierra y la cual deberá lograr una mínima diferencia de potencial entre las estructuras conductoras del mismo sitio, mientras elimina o minimiza cualquier flujo de sobrecorrientes a través del equipo.

Las conexiones internas se efectúan a una barra de cobre, llamada barra de tierra principal (BTP), que es el punto donde se ofrece una baja resistencia para todas las tierras internas.

Todo el equipo de RF se conecta directamente a esta barra y a su vez ésta se conecta al anillo externo de tierra, a la conexión de tierra de la línea de alimentación de C.A. y a otras tierras, como la estructura metálica del edificio.

Otras barras auxiliares se conectan a la barra principal de tierra y sirven para conectar a tierra cierto grupo de equipo o compartimientos dentro del edificio. Esta configuración de compartimientos aísla los equipos de sobrevoltajes transitorios mientras se minimizan las diferenciales de potencial entre los equipos dentro del grupo.

Las cubiertas de los equipos y los gabinetes deben estar aislados de las trayectorias y los gabinetes deben estar aislados de las trayectorias de tierra no planeadas para evitar flujos de corriente de tierra. Esto se logra al colocar los gabinetes o los equipo sobre un material aislante para mantenerlos separados del piso, que generalmente es concreto.

### **7.5- Protección contra sobre voltajes transitorios.**

Todos los conductores que entran al edificio y alimentan cargas críticas, deben protegerse contra sobrevoltajes transitorios. Esta protección en contra de sobre voltajes y elementos transitorios eléctricos son conocidos como supresores de transientes, y son diseños de conductores para permitir un dren a tierra en un tiempo muy corto. Este tipo de protección puede proteger conductores de líneas de alimentación, telecomunicaciones y líneas de alumbrado de la torre. Los dispositivos de protección disipan los sobrevoltajes transitorios que circulan en estos conductores.

La línea comercial de C.A. debe estar equipada con un supresor de sobrevoltajes transitorios preferentemente deriva a que a través de la acometida comercial de C.A. es donde se presentan la mayor cantidad de eventos transitorios y de variaciones de voltaje. Estos equipos protectores fijan el voltaje a ciertos límites preestablecidos o desvían las corrientes a tierra y por ello mantienen el voltaje a un nivel aceptable.

Los sobrevoltajes transitorios son perturbaciones que afectan y destruyen equipos y tarjetas de circuito impreso en los equipos de telecomunicaciones. También se conocen como picos o sobrevoltajes de corta duración que viajan sobre la onda senoidal. De acuerdo con un estudio de la firma IBM, estos sobrevoltajes son las perturbaciones más comunes (88.5%) de todos los problemas relacionados con la calidad del suministro de energía eléctrica.

Es importante establecer la diferencia entre un pararrayos y un supresor de sobrevoltajes transitorios. El primero está diseñado para proteger contra voltajes altos que generan las descargas atmosféricas; se utiliza en las centrales eléctricas y las compañías telefónicas. En las centrales protege los transformadores de distribución.

Los supresores se diseñan para fijar el voltaje muy cerca del voltaje nominal del circuito, y para mayor efectividad se instalan en el tablero principal de servicio que está en la acometida del edificio.

Aunque los rayos suelen causar el daño más visible no es la causa predominante de los sobrevoltajes transitorios. Las causas locales más usuales de éstos son:

- La conmutación de Cargas.
- Los Conmutadores y Centrales Digitales
- Los sistemas de aire acondicionado
- Los Balastos de Lámparas fluorescentes.
- Cargas inductivas adicionales, etc.



## 7.6.- Sistema de puesta a tierra de un sitio de telecomunicaciones.

El sistema de puesta a tierra del sitio de telecomunicaciones forma una trayectoria directa de baja impedancia entre la tierra y todos los equipos de alimentación y comunicaciones, y proporciona una referencia a tierra para el sitio. El sistema de tierra lo componen tres subsistemas básicos:

- Sistema de electrodos de tierra.
- Sistemas de protección contra descargas atmosféricas.
- Sistema de referencia de señal.

### 7.6.1.- El sistema de electrodos de tierra

Este sistema se instala en cada sitio de comunicaciones a fin de proporcionar una trayectoria de baja resistencia para conducir la energía de los rayos y evitar que ocurran diferencias peligrosas de voltaje. Asimismo, debe ser capaz de disipar a tierra la energía de los rayos sin degradarse e interconectar todos los electrodos de tierra y objetos metálicos del sitio. Por lo tanto, antes de éste debe efectuarse un reconocimiento del área y realizar una medida de resistencia volumétrica del terreno y del sistema de electrodos de tierra, una vez instalado e interconectado entre electrodos previo a interconectar a la BTP. Estas acciones deben efectuarse durante la época de sequía y de lluvia y como mínimo una vez al año.

Este reconocimiento o auditoria del sitio debe incluir medidas y estudio de:

- Resistividad de la tierra.
- Resistencia a tierra usando el método de caída de potencial o del 62%.
- Cualquier elemento natural que tenga un impacto sobre la resistividad del suelo, como formaciones rocosas, presencia de asfalto o concreto.

El sistema que se está tratando también se conoce como anillo exterior de tierra y está formado por electrodos de tierra y un conductor de tierra interconectados.

#### 7.6.1.1.- Unión.

El sistema de electrodo de tierra del sitio de telecomunicaciones deberá unirse:

- En un punto único.
- A todos los subsistemas de tierra, los cuales incluyen el sistema de protección contra descargas atmosféricas, la referencia de señal y los sistemas de protección contra fallas.
- A la tubería metálica bajo tierra, a los tanques u otras masas u objetos metálicos enterrados.

Todas las conexiones bajo tierra deben soldarse mediante procesos exotérmicos o equivalentes.

Las excepciones son las abrazaderas con pernos, que se recomiendan para realizar:

- Conexiones entre los sistemas de tierra de la torre y los del edificio.
- Conexiones entre el anillo exterior de tierra y otro sistema de tierra análogo.

El propósito de estas conexiones mecánicas es facilitar las pruebas y el mantenimiento de los sistemas de tierra. Ya que estas conexiones se pueden remover y reconectar fácilmente, cada componente mayor del sistema de tierra puede someterse a pruebas por separado para determinar la impedancia de los componentes del sistema.

### 7.6.1.2.- Estructuras de soporte.

El sistema de electrodos de tierra deberá conectarse a todas las estructuras de soporte. Si una torre se ubica cerca de otra estructura o edificio, la distancia entre ambas estructuras determina el número de electrodos de tierra que se requiere en el sistema.

### 7.6.1.3.- Resistencia a tierra.

La resistencia a tierra entre el electrodo correspondiente y el terreno no debe exceder los 5 ohms.

En los sitios donde la configuración básica de los electrodos excede los 5 ohms, será preciso considerar reconfigurar el sistema así como el cálculo básico de medición e instalar una gama más de electrodos.

En la Figura 32 se muestra la medición de resistencia del suelo, realizada con un megger de cuatro terminales puenteados dos de ellas para efectuar la medida del 62% o método de caída de potencial.

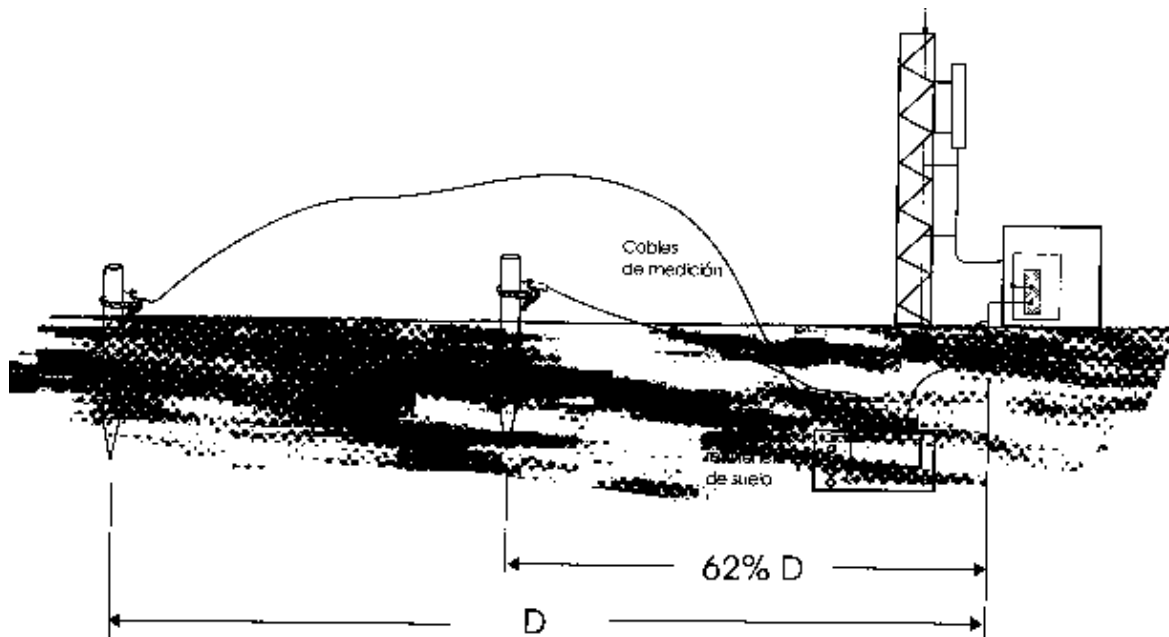


Figura 32.- Medición de Resistencia utilizando un megger.

### 7.6.2.- Sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Este sistema debe colocarse en los edificios y estructuras, este tipo de protección debe extenderse a los elementos eléctricos y electrónicos que forma parte de un sitio de comunicaciones. Los componentes básicos del sistema consisten en:

- Dispositivos de protección contra sobrevoltajes transitorios.
- Conductores bajantes.
- Otros elementos que se interconecten.

#### 7.6.2.1.- Dispositivos de Protección contra sobrevoltajes transitorios.

Durante la instalación completa del sitio, se recomienda llevar a cabo la instalación de protecciones contra transitorios en los siguientes subsistemas:

- Líneas aéreas de alimentación y en los conductores de acometida del sitio de telecomunicaciones.
- Circuitos de alumbrado en torres.
- Líneas telefónicas y blindaje de los cables de teléfono, componentes que deben conectarse al sistema de electrodos a tierra.

#### 7.6.2.2.- Conductores bajantes.

Es indispensable que las bajadas de tierra de los pararrayos estén formadas por conductores de cobre o conductores revestidos con este metal. Estos elementos interconectan todas las terminales aéreas o varillas pararrayos y forman dos trayectorias hacia el sistema del electrodo a tierra.

La cantidad de antenas pararrayos su ubicación depende del tamaño y altura de la estructura que se va a proteger. En estructuras que rebasen los 18 mts es requerido que se instalen bajantes adicionales por cada 18 mts de altura adicional.

Las conexiones de los conductores bajantes deben hacerse de la siguiente forma:

- Los conductores bajantes deben unirse al sistema de electrodos en tierra del sitio.
- En torres metálicas donde se utilizan los elementos de la estructura como conductor bajante, las patas de las torres deberán tener como mínimo un conductor bajante unido a la base y al sistema de electrodo de tierra (sistema poco recomendado, derivado del deterioro que puede sufrir la estructura metálica así como sus uniones al conducir altas cantidades de energía y un tiempo corto).
- Los conductores bajantes que conecten cables al sistema de electrodo de tierra deben contar con protección contra daños mecánicos.
- Los cables de conexión que se extienden a través de cimientos o zanjas se deben instalar en conductos no metálicos.

Las guías de onda metálicas que se colocan en las antenas de radio estarán conectadas a tierra como mínimo en tres puntos:

- a) En la antena.
- b) En la base de la torre, en la transición de vertical a horizontal.
- c) En el puerto de entrada de la guía de onda.

El puerto de entrada de la guía de onda se conecta al sistema de electrodo de tierra usando cintas de cobre o un conductor sólido de cobre.

Las estructuras metálicas de soporte para las guías de onda deben ser eléctricamente continuas y deben conectarse al sistema del electrodo de tierra en la primera y última columna de la estructura de soporte como mínimo.

### 7.6.3.- Sistema de referencia de señal.

Es importante que en cada sitio de telecomunicaciones se integre este sistema de referencia de señal que minimice las interferencias entre los equipos. Los circuitos de señales se conectan a tierra para controlar el ruido y las cargas estáticas, a fin de establecer una referencia común para las señales entre la fuente y la carga.

#### 7.6.3.1.- Redes de baja frecuencia.

La central telefónica son de los sitios de baja frecuencia, generalmente operan a frecuencias entre 200 y 300 kHz. Una red de este tipo aísla las señales de baja frecuencia de otras redes, incluyendo las tierras de las estructuras, la tierra de seguridad, la del rayo y de potencia. También previene el desarrollo de corrientes parásitas, generalmente de 60 Hz, que pueden provocar caídas de potencial entre los puntos del sistema de tierra.

Adicionalmente, deben conectarse al sistema de electrodos en un solo punto de interconexión y debe estar diseñado para minimizar la longitud de la trayectoria del conductor.

Durante las perturbaciones eléctricas, las alteraciones de voltaje variarán mucho en diferentes puntos del sistema de tierra de la oficina central. Si los gabinetes energizados con voltajes de C.D. están unidos en varios puntos a lo largo del sistema. Podría generarse diferencias de potencial entre los equipos interconectados.

Tal vez ocurran daños si estos potenciales provocan un flujo de corriente sobre el cableado de señal y finalmente a través del circuito digital sensible. La conexión a tierra de todo el equipo de la oficina central en un solo punto minimizará el daño que provocaría la diferencia de potencial.

Un solo punto de conexión a tierra en la oficina central se logra conectando todos los elementos correspondientes a una BTP.

La zona de tierra aislada (ZTA) contiene el equipo digital sensible aislado de todas las tierras externas, excepto de una conexión única que se hace a una barra de cobre llamada barra de la ventana de tierra (VT).

#### 7.6.3.2.- Instalación del conductor de conexión a tierra.

Los conductores de conexión a tierra se aislarán y seguirán la trayectoria más corta para minimizar la inductancia que impedirá los sobrevoltajes transitorios, cualquier doblez del cable debe realizarse en forma gradual.

Las conexiones a las barras BTP y VT requieren el uso de accesorios de montaje con dos pernos que tengan una conexión de compresión o de soldadura exotérmica tal como se muestra en la Figura 33.

Es recomendable aplicar grasa anticorrosiva. Las etiquetas o las identificaciones permanentes deben colocarse sobre los conductores de tierra para identificar su origen. Los conductores de tierra conectados a las barras BTP y VT se identificarán en ambos extremos.

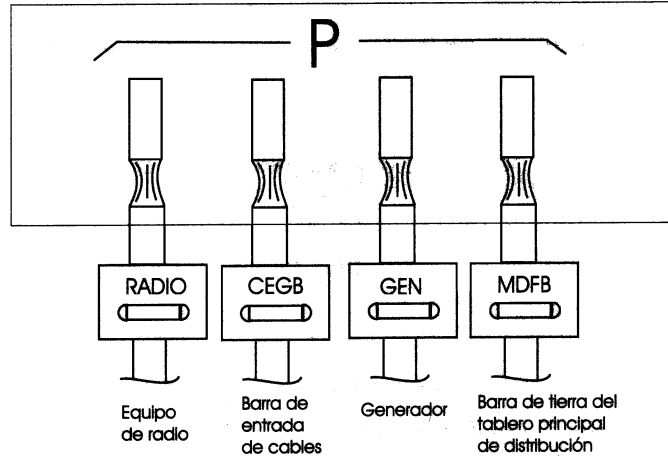


Figura 33.- Conexiones a la barra principal de tierra.

### 7.6.3.3- Anillo interior de tierra en redes de alta frecuencia.

Las instalaciones, que son de redes de alta frecuencia (p. e. radiobases), requieren un plano de tierra equipotencial que entre más extenso sea minimizará con mayor efectividad las diferencias de potencial entre los equipos que están interconectados a alta frecuencia.

En una instalación típica, el anillo interior de tierra o halo, proporciona este plano equipotencial. Al aplicar este concepto se protege el sitio contra los pulsos electromagnéticos de alta frecuencia y los que producen las descargas atmosféricas, podemos observar la Figura 34 la estructura del anillo interior de tierra de una red de alta frecuencia.

La forma correcta de instalar el anillo en una instalación de telecomunicaciones es usarlo como un blindaje de Faraday. Si se conecta en los cuatro rincones de la estructura, el anillo exterior de tierra funcionará como un plano de tierra invertido para bloquear la radiofrecuencia y los campos inducidos a los circuitos por las descargas atmosféricas. Se deberá de tomar en cuenta que solamente el metal inactivo debe conectarse al anillo.

Los equipos no deben conectarse al anillo interior. Los conductores desarrollan dentro de la estructura de metal voltajes en distancia relativamente cortas como resultado de los campos electromagnéticos.

Si los conductores de tierra del equipo se unen al anillo alrededor del cuarto, se perderá el control de las corrientes que buscan la tierra y podrían desarrollarse diferencias de potencial entre gabinetes lo que causaría daños o disrupciones.

La prevención de estos problemas requiere que todas las tierras de los equipos se conecten directamente a la barra principal de tierra y mantener así el sistema de único punto de conexión a tierra. La barra principal de tierra se conecta al anillo exterior y puede conectarse en más de un punto. Es importante notar que el anillo nos conecta a la barra principal de tierra.

Otro sistema que logra el mismo objetivo y que protege a los equipos contra las interferencias y campos electromagnéticos consiste en conectar el anillo a la barra principal de tierra, aunque no existen las conexiones previas del anillo de tierra en las cuatro esquinas. Este sistema también proporciona una puesta a tierra con un punto único de conexión a tierra.

Figura 34.- Anillo interior de tierra.

Se logrará minimizar la diferencia de potencial entre los puntos de la red de referencia de señal de alta frecuencia, es importante mantener la resistencia de C.D. entre dos puntos de un gabinete del equipo a un valor inferior a 1 mohm (0.001 ohms).

## **7.7.- Sistemas exteriores de puesta a tierra.**

### **7.7.1.- Cercas metálicas y escalerillas exteriores de metal.**

Las cercas metálicas requieren ponerse a tierra para prevenir peligros que implican los choques eléctricos causados por rayos u otras fuentes eléctricas, requiriéndose que todas las cercas instaladas de los puntos de retención de la torre se conectan a tierra mediante una varilla a tierra.

Las escalerillas de metal se conectan a tierra en todos los postes de soporte. En caso que no existe un poste, el cable de conexión a tierra de la escalerilla se conecta a tierra antes del puerto de entrada. Si existe una barra exterior de tierra el conductor de la escalerilla se conecta a ella, que generalmente se ubica en el lado opuesto a la barra principal de tierra instalada en la pared interior de la estructura. Estas dos barras no deben interconectarse, esta conexión a tierra también conviene hacerla en los cables de sujeción de la torre.

### **7.7.2.- Conexión a tierra para torres de antena.**

Los rayos se descargan en las torres con más frecuencia que en otro lugar. Usualmente las torres son más altas que otros elementos que las rodean y poseen cierta cantidad de resistencia e inductancia por metro. La resistencia de las uniones en la torre es bastante baja.

En la Figura 35 se muestra el concepto de la esfera rodante para la protección de torres, sus equipos sensibles y la caseta de comunicaciones. La esfera se desplaza hacia la torre y el área por debajo del punto tangente a la varilla pararrayos y el punto tangente a la superficie de la tierra (área sombreada) es el área que protege el sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Cuando la torre rebasa los 45.75 mts de radio de la esfera, no existe protección y se requiere otro esquema adicional para la protección de las antenas y del equipo que está instalado en la parte superior de la torre (ver Figura 36.).

La protección del equipo y de las antenas instaladas en el costado de la torre requiere utilizar otros esquemas. En este caso se instalan varillas de forma horizontal en el costado de la torre. El área de protección es el área definida por los puntos tangentes a estas varillas, usando la esfera de 45.75 mts de radio.

Es importante tener presente que: se ha determinado que aproximadamente un 70% de la energía de un rayo se disipa a tierra por medio de la torre debido a su baja impedancia, comparada con la del conductor bajante, que disipa cerca del 30% de esta energía.

Por ello, todas las conexiones a tierra del equipo ubicado en las torres deben conectarse a tierra mediante la torre y no al conductor bajante. Usualmente se utiliza un travesaño conectado a la torre, de acero o cobre para efectuar estas uniones de tierra de los equipos montados sobre la torre.

Lo importante es la inductancia de la torre, que depende de su configuración geométrica. La relación alto anchura y su altura determinan el nivel de inductancia total de una torre; es decir, una torre de 45 mts tendrá una inductancia de aproximadamente 40 microhenrys.

Un cable coaxial de 13 mm de diámetro que baja 135 pies desde la punta de la torre de 45 mts tendrá una inductancia cercana a los 72 microhenrys. Si el blindaje del cable coaxial se une a la parte superior de la torre y a 4.5 mts del suelo la inductancia total aproximada de la torre será de 27 microhenrys.

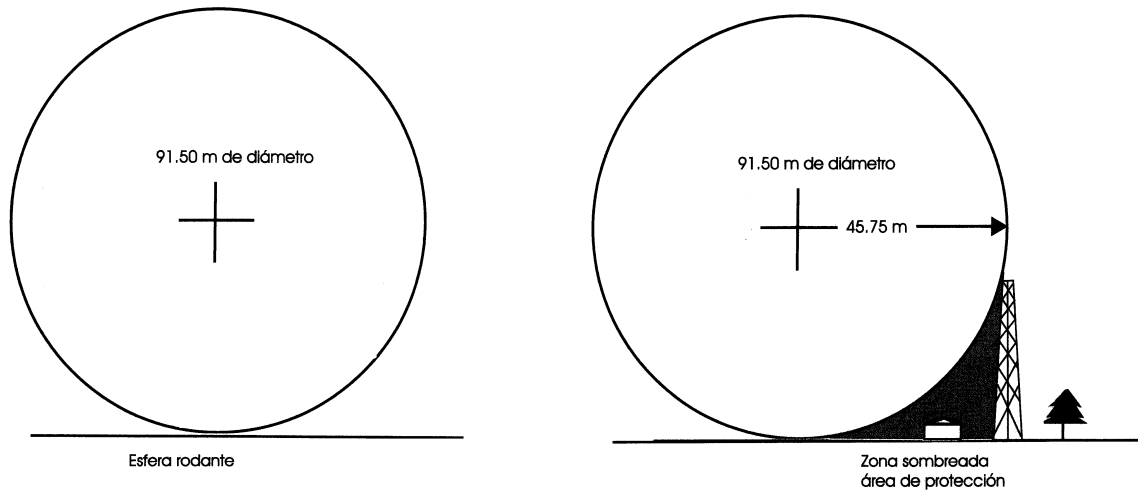


Figura 35.- protección contra rayos de la esfera rodante para de un sitio de telecomunicaciones.

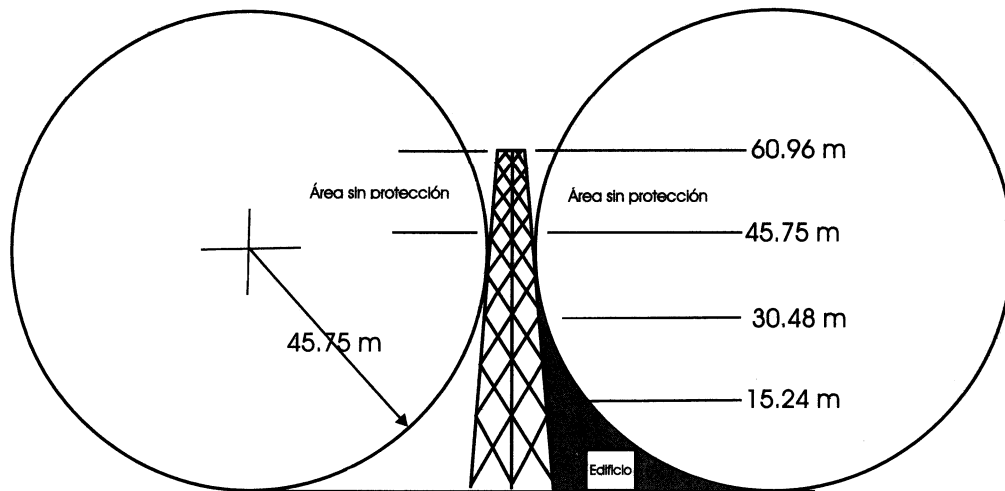


Figura 36.- Por encima de los 45.75 mts la torre no cuenta con protección contra rayos.

Estos valores se utilizan para calcular el sobrevoltaje transitorio desde la parte superior de la torre a tierra durante las descargas atmosféricas, y de acuerdo con la ley de Lenz, un factor importante es la inductancia que provoca un pulso transitorio de tensión:

$$E = -L \frac{di}{dt} \tag{Ec. 49}$$

En donde:

E= sobrevoltaje transitorio

L= Inductancia

di/dt= cambio en el flujo de corriente por segundo.

La fuerza electromotriz o "E" se genera siempre que ocurre un cambio en el flujo magnético que circula por un circuito.



El signo menos indica que el sentido de la fuerza electromotriz o sobrevoltaje transitorio, en nuestro caso, es tal que tiende a oponerse al cambio de flujo que lo produce. En caso de que haya un cambio en el sistema magnético, éste responde con una reacción que tiende a oponerse a dicho cambio.

Por ello es importante que haya una protección que desvíe la energía del impacto de un rayo al sistema de tierra. Un impacto directo o cercano puede hacer que oscile una antena, porque se trata de un circuito sintonizado.

Sin embargo, una antena conectada a tierra puede soportar el impacto. La forma de onda resonante tendrá todas las resonancias presentes en la antena, lo que indica que tanto la resonancia en frecuencia como las demás frecuencias bajarán por la línea de transmisión hasta el equipo.

Una antena que no haya sido conectada a tierra sufrirá el salto de una chispa o arco eléctrico entre el conductor central del cable coaxial y el blindaje exterior, lo que creará una serie de componentes de alta frecuencia que circularán por la línea de transmisión hasta el equipo.

Esto provoca la diferencia de propagación entre el blindaje del cable coaxial y el conductor central, además de la tensión adicional de oscilación. Por lo tanto, debe usarse un protector para eliminar, atenuar o impedir que esta energía llegue hasta el equipo.

También es importante considerar, en cuanto a la protección contra la radiofrecuencia, el efecto pelicular (skin). Este efecto es un fenómeno físico que se relaciona con la profundidad de penetración de una señal de radiofrecuencia o RF, en un conductor, esto de acuerdo con la frecuencia de la señal.

Dicho efecto está presente en el cable coaxial que mantiene la señal de RF en un conductor central y las interferencias que se acoplan al cable en el blindaje exterior. Esto disminuye a medida que la frecuencia baja y que la penetración mezcla la energía de interferencia en el blindaje exterior del cable coaxial con la señal interna del conductor central.

En el caso de los rayos, las frecuencias fluctúan entre C.D. y aproximadamente 1 MHz; se trata de un intervalo que afecta al cable coaxial y se llama impedancia de transmisión. Mientras más grueso sea el material del blindaje, menor es el efecto de las corrientes de baja frecuencia.

En el caso del cable coaxial, el conductor central posee mayor inductancia  $k$ , así que los pulsos toman más tiempo en propagarse en este conductor que en el blindaje del cable. Por lo tanto, es necesario compensar esta diferencia de tensión con un protector contra sobrevoltajes transitorios, para evitar que afecte al equipo.

Las torres de comunicaciones deben unirse al anillo exterior de tierra y la pata de la torre debe conectarse con el anillo de tierra al menos en un punto.

Algunos fabricantes de torres no permiten soldaduras exotérmicas en la pata de la torre, pero ofrecen métodos para hacer la conexión. La Figura 37 muestra una conexión de la pata de la torre.

Las torres deben ponerse a tierra con la tierra Ufer como se muestra en la Figura 37 o con un electrodo a tierra adyacente en cada pata de la torre y estos electrodos deben estar conectados entre sí. Estas varillas y su conexión con alambre AWG número 2 de cobre deben formar un anillo de tierra que se instala a un mínimo de 60 cm de los cimientos o bases de la torre.

Un alambre AWG número 2 de cobre sólido o trenzado debe conectarse a cada electrodo (adyacente a la pata de la torre).

La tierra de los cables de retención se instala como lo ilustra la Figura 38. Las abrazaderas de tierra que conectan el cable AWG número 2 deben de ser de acero inoxidable o bronce. Es preciso evitar curvas cerradas para minimizar la impedancia del conductor.

Los cables de sujeción se tienen que conectar a tierra entre 60 y 90 cm por encima del punto de retención. La conexión de este conductor vertical se hace en la varilla de tierra. Todos los electrodos de este tipo deben estar interconectados.

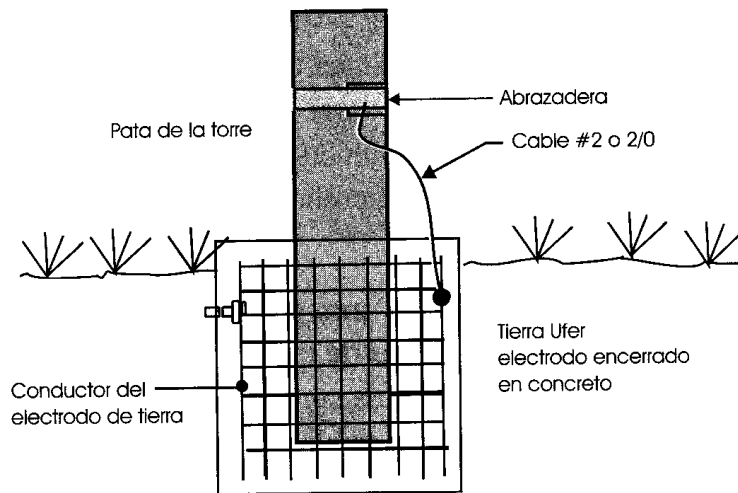


Figura 37. Conexión de tierra en la pata de la torre.

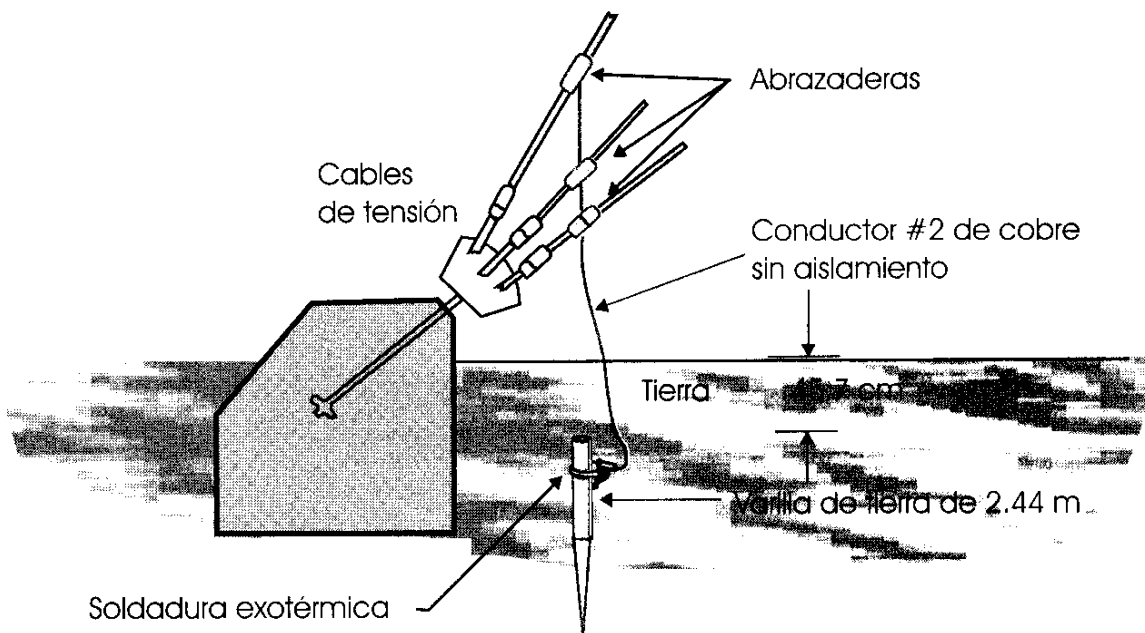


Figura 38. Conexión a tierra de los cables tensores de sujeción

### 7.7.3.- Antenas montadas en el techo de edificios

Los edificios presentan una situación difícil para la conexión a tierra. Todas las bases y estructuras que soportan antenas requieren conectarse a tierra interna y externamente, cuando sea posible, al sistema de tierra del edificio como se indica en la Figura 29.

Si no existe un conductor de tierra en la parte superior del edificio y se extiende, es factible un conductor trenzado AWG número 2 desde la parte superior a la parte inferior del edificio. Este conductor se conecta a la varilla de tierra del edificio. Si ésta no puede localizarse, la conexión se hace al electrodo existente o a la tubería metálica de agua. Si no es posible contar con una tierra externa, la terminal de tierra de la línea de transmisión se conecta a la tierra interna del edificio después de que entra en éste.

Una conexión apropiada de tierra puede ser el punto donde la acometida principal se conecta a tierra. Este punto puede ser una barra común del tablero principal de distribución o un conductor metálico cuando se ha determinado que posee continuidad eléctrica desde el punto de tierra de la acometida hasta el punto donde se desea hacer la conexión a tierra.

La estructura metálica del edificio también puede utilizarse como punto de tierra, esto si toda la estructura metálica del edificio fue unida con pernos o soldadura. Esto puede verificarse haciendo una inspección o consultando al ingeniero que diseñó la estructura del edificio antes de realizar esta conexión. En áreas donde existe una gran incidencia de terremotos o temblores, el acero del edificio puede descansar sobre soportes de caucho.

La Figura 39 muestra la conexión de tierra correcta de un sitio de comunicaciones ubicado en un edificio, en una zona urbana.

### 7.7.4.- Líneas de transmisión y preamplificadores

El objetivo de conectar a tierra las líneas de transmisión tanto en la parte superior como en la inferior de la torre tiene como fin prevenir la formación de un arco eléctrico o chispa durante tormentas eléctricas, debido a la diferencia de potencial que se genera.

El objetivo de conectar las líneas de transmisión a una barra colectora (que a su vez se conecta a tierra) en la parte inferior de la caída vertical y antes de que entre al edificio, es conducir la energía del rayo a tierra.

Las líneas de transmisión ubicadas en la parte inferior deben ponerse a tierra a una altura que no exceda 180 cm (6 pies) por encima de la transición horizontal del cable.

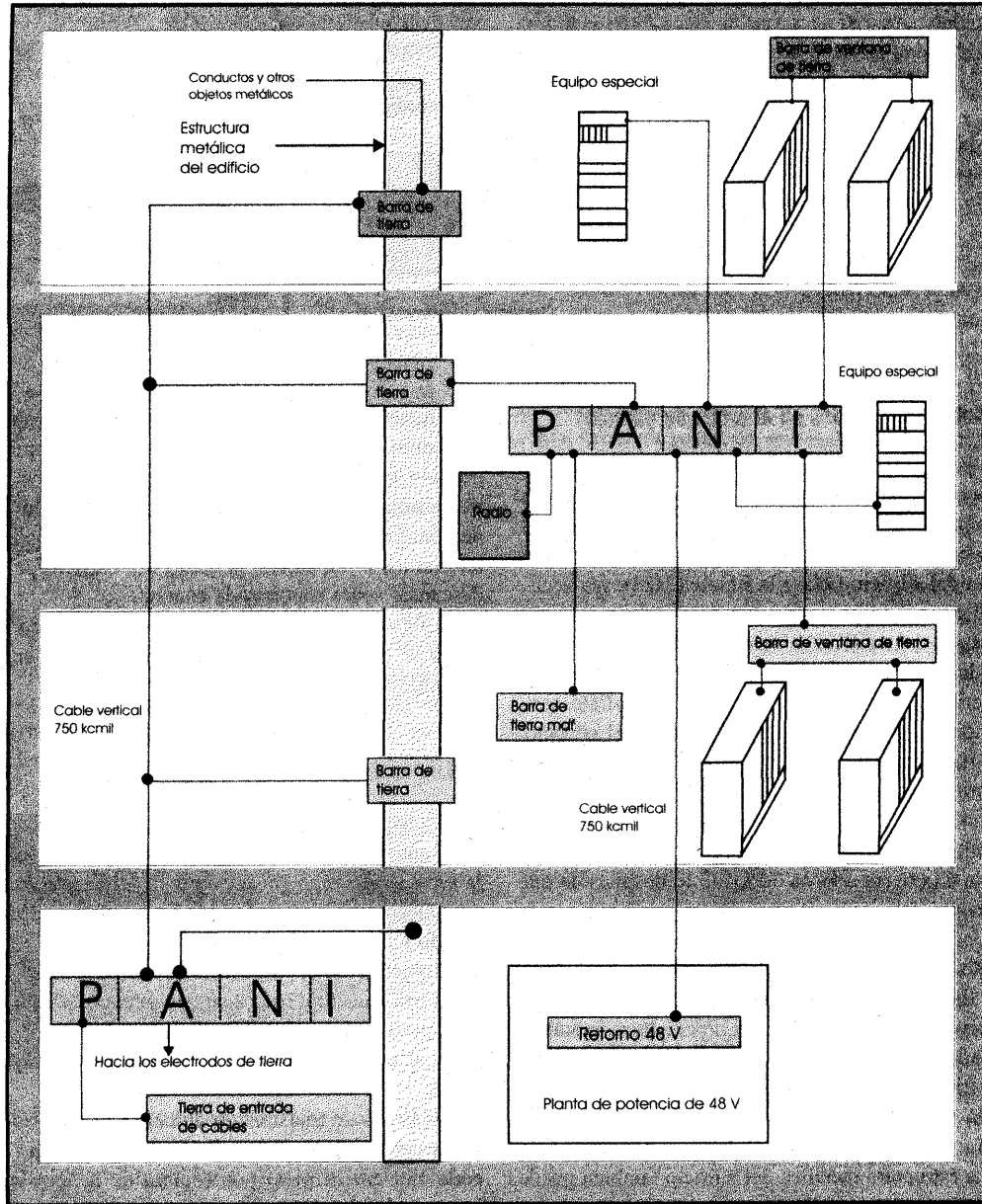


Figura 39.- Conexión a tierra para un sitio de telecomunicaciones, en un edificio de varios pisos.

El conductor exterior de líneas de transmisión que emplean cables coaxiales, debe aterrarse de la siguiente manera:

- Las caídas verticales de 60 mts o menores requieren emplear un accesorio de montaje para su instalación a tierra, el cual se debe instalar en la parte superior, en la mitad, en la parte inferior y en el sitio de entrada del edificio.
- Las caídas verticales superiores a 60 mts requieren un "accesorio de montaje de puesta a tierra" instalado en la parte superior, cada 60 mts hacia la tierra hasta que la distancia sea menor de 40 m.

- Los "accesorios de montaje de conexión a tierra" que se instalan antes de que entren los cables al edificio deben conectarse a tierra mediante una barra de cobre, de 6.35 mm de espesor y 26 mm de anchura como mínimo. La barra exterior se conecta al anillo exterior de tierra por medio de conductor sólido o trenzado de cobre calibre AWG número 2. La conexión a la barra lo mismo que al anillo de tierra debe hacerse por medio de un proceso exotérmico.
- Los "accesorios de montaje de conexión a tierra" que se conectan a la torre deben conectarse a la barra colectora de cobre de la torre o a los pernos de la estructura de ésta, excepto los que se ubican en la parte inferior de la torre antes de la transición horizontal. Si se conecta a un perno de la torre, la unión debe permitir una caída vertical. No se aceptan conexiones horizontales. Cualquier pintura debe removerse antes de realizar la unión entre las partes y éstas deben tratarse con un compuesto antioxidante.

## **Capítulo 8**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UN CASO PRÁCTICO DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS (RAYOS) EN UN SITIO DE TELECOMUNICACIONES.**

## APLICACIÓN PARA EL SITIO EL PIÑÓN EN CHIHUAHUA, CHIH.

### 8.1.- Introducción.

La presente aplicación se realizó para el reacondicionamiento en el sitio de telecomunicaciones de una empresa (Ver Figura 40) el cual mantenía un alto índice de problemas derivado del deficiente sistema de tierras instalado así como de una incorrecta integración de los requerimientos del sistema de tierras con respecto a los requerimientos de aterrizaje de cada uno de los equipos instalados, adicionalmente de colocar en riesgo al personal operativo del lugar debido a una posible fuga de corriente mal derivada a tierra.

En el sitio “El Piñón”, se encuentra equipos de conmutación, transmisión vía microondas, así como servicios de datos y vídeo de empresas cercanas al lugar, en el mismo sitio podemos observar que debido al afán de incrementar los servicios y prestaciones de transporte de información a los usuarios, se ha omitido los puntos más importantes para asegurar la calidad de la información.

En este como en muchos casos de los sistemas de telecomunicaciones se omite el análisis detallado del requerimiento de aterrizaje, así como la protección contra descargas externas al mismo sitio, lo anterior es causa evidente del no tomar en consideración como elemento prioritario la protección de los equipos y los costos de reparación, sustitución o mantenimiento que esto genera, dada la necesidad urgente de colocar a operar y transmitir datos dentro de los sitios y así incrementar la capacidad de procesamiento del sitio para prestar mayores servicios a los usuarios de los sistemas.

El acelerado crecimiento de las telecomunicaciones así como las necesidades de prestar día a día mayores servicios de comunicación ha llevado a las empresas prestadoras de servicios de telecomunicaciones a instalar mas equipos de transmisión, conmutación, etc., sin embargo, cada equipo instalado conlleva a un análisis integral del sitio donde se está incrementando esta capacidad, es así que a fin de permitir lograr un servicio de calidad, se requieren observar todas las variables y condiciones de instalación donde se encuentra ubicados los equipos. Provocando con esto el tener un servicio de calidad a los usuarios final.

De lo anterior no se puede afirmar que los usuarios del sitio están obteniendo más y mejores servicios. Las compañías de telecomunicaciones con el afán de incrementar su mercado se olvidan de los detalles más importantes para la prestación de un servicio de calidad

El reacondicionamiento consistió en hacer un análisis detallado de un correcto aterrizaje así como una correcta protección contra descargas para incrementar su capacidad operativa y la seguridad del personal.



Figura 40.- Repetidor el Piñón, Chih.

## 8.2.- Identificación del problema.

Los problemas que presenta el sitio de telecomunicaciones “El Piñón” son:

- Cortes constantes de enlaces E1's instalados en el Sitio.
- Reinicios cortos de la central de conmutación.
- Reinicios largos con pérdidas de comunicaciones de voz, datos y vídeo.
- Pérdida de datos debido a una Tasa de Error fuera de Norma Telmex.
- Daños en tarjetas de circuitos de conmutación de central
- Daño constante en Multiplexores y Radios de Transmisión.
- Daño a equipos de rectificación de C. A. a C. D. sin causa aparente del daño.
- Arranque constante de máquina de emergencia sin existir cortes de compañía suministradora.
- Daño constante de Multiplexor instalado sobre torre de transmisión.

Esta problemática presentada en el sitio, se debe a un deficiente o nulo análisis del sitio, además se detectaron las siguientes desviaciones:

- a) Barra de neutro a tierra en acometida principal, no existente. Esta conexión permite eliminar las fugas de corriente del sistema a través del neutro por la acometida a tierra del sistema, evitando se descargue el neutro sobre cualquier punto de baja impedancia, provocando con esto un posible daño en tarjetas o equipo este punto de unión es único.
- b) Sistema de Tierras con varillas copperweld unidas con zapatas mecánicas, instaladas hace más de 10 años. Se extrajo una de estas varillas, encontrándose corroída así mismo como la conexión con el cable que une a la malla de forma mecánica, lo anterior fuera de esperarse debido a que las varillas copperweld tienen una duración aproximada es de 5 años en lugares con alta humedad y cantidad de sales minerales.



- c) La resistencia del sistema de tierras, 104 Ohms / m, nos indica que el sistema se encuentra ya fuera de la norma permitida por la empresa y por las condiciones solicitadas internacionalmente.
- d) No existe placa de remate, los equipos son conectados a tierra sobre una cola de cable de tierras existente sobre el piso. Este es tal vez uno de los puntos críticos de causas de falla del sistema ya que permite que cualquier fuga de corriente se drene hacia los demás equipos más sensibles provocando fallas u operaciones erróneas.
- e) No existe pararrayos, por lo que la protección en caso de descargas atmosféricas es directo sobre la torre que soporta los equipos de transmisión, provocando que sobre las guías de onda penetren las descargas hacia el sitio de equipo de telecomunicaciones.
- f) Torre no aterrizada, la torre no se encuentra aterrizada por lo que la evidencia de entrada de corriente por descarga al sitio de telecomunicaciones es más probable aún.

En la Figura 41 se muestra algunos de los equipos que se consideran sensibles a los disturbios eléctricos derivados de una falta de un correcto sistema de tierras, adicionalmente se tenían fallas constantes en la comunicación.

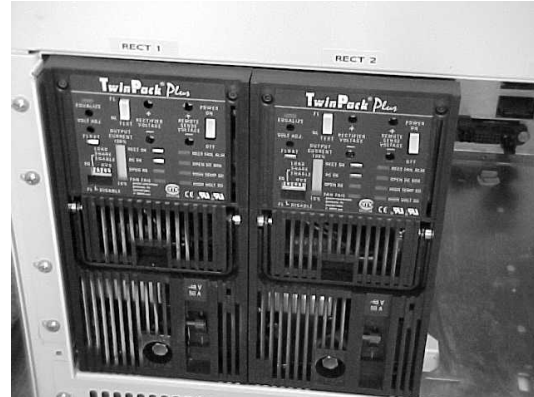
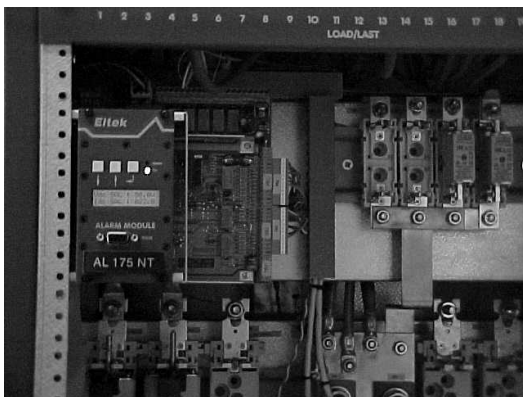
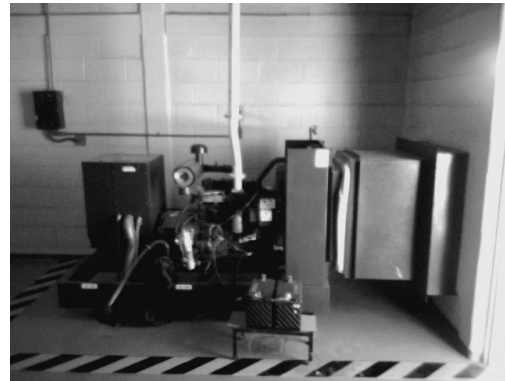
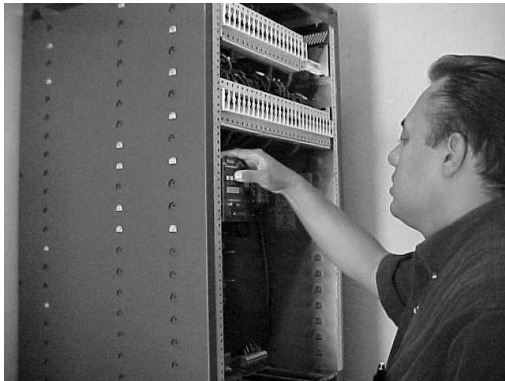


Figura 41. Equipos y sistemas que se ven afectados por fallas en sistemas de tierras.

### 8.3.- Análisis de Requerimientos.

Los requerimientos del sitio de telecomunicaciones a fin de asegurar y eliminar la problemática observada por parte del personal operativo es:

- Resistividad de la tierra física requerida: 25 Ohms mínimo
- Diferencia de voltaje entre neutro y tierra en el contenedor: 1 Volt.
- Conexión de Equipo a barra de tierras principal bajo criterios de separación de plano aislado y plano integrado.
- Instalación de pararrayos con criterios de acuerdo al lugar geográfico.
- Diseño Sistema de tierras de acuerdo al criterio geográfico y características del lugar.

#### 8.3.1.- Ubicación Geográfica

El Sitio se encuentra instalado en el estado de Chihuahua en la zona de la sierra rumbo a la ciudad de Casas Grandes, Chih. este sitio opera en una región semi-desértica con temperaturas máximas en verano de hasta 60° C máx., y con temperatura mínimas en invierno de hasta -20° C mín, por lo que se deberá de tomar en cuenta al momento de diseñar el sistema de tierras se deberá tomar en cuenta estos parámetros de temperatura.

La región comprende una zona de alta humedad temporal por lo que se considera que en las fechas de Septiembre a Marzo la región se encuentra con una humedad constante (85%) y los meses críticos por falta de húmeda de Abril a Agosto en los cuales, debido a las altas temperaturas se tiene una húmeda relativa de 3% aproximadamente.

#### 8.3.2.- Tipo de Terreno

El terreno en el cual se encuentra instalado el sitio de telecomunicaciones, es pedregoso y arcilloso, por lo que el sistema de tierras deberá de contener agregados pulverizados de materia orgánica a fin de permitir una superficie de contacto total de los materiales (electrodos) con el terreno físico donde serán instalados los equipos. Ver Figura 42.



Figura 42. Tipo de Terreno donde se encuentra el sitio de telecomunicaciones.

### 8.3.3.- Mediciones de Terreno

Las mediciones de resistividad del terreno fueron realizadas con un equipo Megger, el cual arroja la resistividad del terreno, un parámetro necesario para determinar y dimensionar la malla de tierra a instalar, así como el equipo (electrodos) requeridos para tal fin. Ver Figura 43.



Figura 43. Mediciones de resistencia del terreno.

### 8.3.4.- Densidad de Descargas

El sitio El Piñón se encuentra en una zona serrana y por lo tanto elevada en altitud del estado de Chihuahua, el cual de acuerdo al mapa de isokerónico, la densidad en la región por descargas atmosféricas es de 80 descargas cada 100 metros cuadrados promedio al año.

## 8.4. Diseño de la Malla

Resistencia solicitada: < 25 Ohms

Resistencia esperada con un solo electrodo de tierra = 10.55 Ohms

### MEMORIA DE CÁLCULO PARA SISTEMAS DE TIERRAS EN SITIO DE TELECOMUNICACIONES

#### Ubicación:

Chihuahua

#### Sitio:

El Piñón

#### Empresa propietaria:

Telmex

#### Tipo de Electrodo seleccionados:

Electrodos Químico de cobre con material químico incrustado.

#### Resistividad del terreno:

403 Ohms/mt

### Comportamiento esperado del electrodo a instalar:

Longitud del electrodo 1.5 mts.

Diámetros del electrodo 03. mts.

Factor de elementos químicos 1

Resistencia esperada por cada electrodo.

Relectrodos=  $(\rho/2L) * \ln (2.943 L/ d)$

Relectrodos= 11.5 Ohms

Valor de medición una vez instalado (Medido con Megger)

11.5 Ohms

#### 8.4.1 Selección de la Malla.

El criterio de selección recomendado como óptimo para alcanzar una resistencia final mínima de 25 ohms se ha hecho bajo las consideraciones:

- Teniendo el conocimiento general de los valores de resistividad típicos de los suelos.
- Una vez establecido el rango y clasificación de la resistividad del terreno, se procede a hacer la recomendación del tipo de equipo que por la respuesta efectiva en campo y propiedades físicas de cada uno se obtiene.
- En el caso de las varillas se ha descartado finalmente su utilización ya que además de ser muy susceptibles a sufrir daños por efectos de corrosión, la respuesta efectiva que presenta es muy pobre y esto conlleva a la utilización de una gran cantidad de materiales, equipo, mano de obra, espacio o área disponible y altos costos de obra civil.
- Para la correcta selección del elemento a emplear habrá que valorar el espacio disponible y por supuesto el valor de resistividad que se tiene.

VALORES DE RESISTIVIDAD	CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE ELECTRODOS PARA 25 OHMS	OBSERVACIONES
20-120	BAJA	1	Se requiere perforar
121-400	MEDIA	4	Se requiere perforar
401-1000	ALTA	6	Se requiere perforar
1001 O MAYOR	EXTRA ALTA	16	Se requiere perforar

Tabla 9.- Tabla de selección de electrodos de puesta a tierra (25 ohms)



Figura 44.- Instalación de Sistema de Tierras con electrodos.

### 8.5. Protección contra descargas (rayos).

Derivado de la cantidad de descargas por metro cuadrado registrado en el sitio, se tiene una selección de un pararrayos tipo dipolo a fin de proteger el sitio de acuerdo a criterio de la esfera rodante, el cual será instalado en la parte superior de la torre.

#### 8.5.1.- Tipo de Pararrayos

Se deberá de utilizar un pararrayos tipo dipolo, cubriendo los requisitos de materiales de acuerdo a la Tabla 8 del capítulo 7, en lo que respecta al material este deberá de ser de aluminio considerando la altura y peso del pararrayos, lo cual nos va a permitir una estructura de pararrayos muy ligera evitando probables daños a la torre.

#### 8.5.2.- Conexión de Pararrayos.

La Torre de pararrayos presenta una altura de 30 mts, por lo que se deberá de colocar un cable bajante de calibre 2/0 de cobre desnudo, desde la punta del pararrayos hasta el electrodo dedicado a tierra. (Ver Figura 45)



Figura 45.- Conexión Pararrayos a Electrodo de Tierra.

### 8.5.3.- Aterrizaje de Pararrayos

El pararrayos deberá estar conectado a un electrodo, considerado en el inciso anterior, este electrodo deberá encontrarse conectado a la malla de tierra instalada y diseñada específicamente para el sitio de telecomunicaciones. (Ver Figura 46)



Figura 46.- Conexión a Tierra del Cable bajante del pararrayos.

### 8.6.- Resultados Obtenidos

Se realizaron las siguientes adecuaciones al sitio “El Piñón”, con lo que se obtuvieron resultados satisfactorios en lo que se refiere a calidad y desempeño del sitio, eliminándose la problemática presentada, y descrita al inicio del capítulo.

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos una vez realizados los reacondicionamientos del sitio de telecomunicaciones.

Resistencia del Terreno: 403 Ohms / mt

Resistividad Obtenida: 5 Ohms

Electrodo utilizado: Electrodo químicos con relleno químico.

Cantidad de Electrodo instalados: 4 Electrodo en malla.

Motivo: De acuerdo a la zona geográfica, así como a las condiciones climáticas del sitio, se determino que la elección del electrodo, deberá de ser un electrodo químico. Los motivos son:

- El electrodo químico cuenta con un recubrimiento de material químico inerte que disminuye la corrosión del cobre debido a la humedad.
- Adicionalmente, en las épocas de baja humedad el material con el que se encuentra recubierto el electrodo por sus propiedades, mantiene la suficiente humedad y penetración al terreno para lograr las propiedades del sistema de tierra.
- El material de recubrimiento del electrodo además de estar compactado al cobre de los mismos electrodos con la humedad y el agua este se desvanece superficialmente, permitiendo un relleno uniforme con el terreno, el cual al ser rocoso permite lograr una superficie de contacto al terreno por parte de los electrodos.
- El electrodo contiene una mayor cantidad de cobre lo cual sustituye a la instalación de varillas copperweld, las cuales en un terreno rocoso se dificulta sustancialmente su instalación, por lo que instalar un electrodo químico permite tener un costo-beneficio considerable.

Tipo de pararrayos: Dipolo de Aluminio, en la punta de la torre, con bajante cable 2 / 0 AWG, unido al pararrayos con métodos exotérmicos.

Cable Bajante: 2 / 0 AWG Cobre forrado, instalado desde la base del pararrayos al electrodo al pie de la torre.

Cableado de Tierra de la Torre: Cableado cobre desnudo con placas de remate cada 15 mts, asegurando 4 antenas y 2 equipos multiplexores instalados en sobre la torre.

En la Tabla 10 podemos observar un resumen de la situación anterior al rediseño del sistema de tierras en el repetidos y de la situación actual una vez realizado el análisis y propuesto e implementado el actual sistema de tierras.

Descripción de Problemas	Sitio sin sistema de tierras	Operación	Sitio con nuevo diseño de tierras	Operación
Cortes constantes de enlaces E1's instalados en el Sitio.	Se desvanecía la señal al pasar por el repetidor.	INCORRECTA	La señal se mantiene dentro de los parámetros mínimos requeridos sin tener pérdida de tramas	CORRECTA
Reinicios cortos de la central de conmutación.	Central con reinicio de procesador principal sin causa aparente	INCORRECTA	Procesador 212 de central sin reinicios cortos.	CORRECTA
Reinicios largos con pérdidas de comunicaciones de voz, datos y vídeo	Reinicio total del procesador 212 de la central en horarios críticos sin causa aparente	INCORRECTA	Procesador 212 estable en horarios críticos de incremento de información	CORRECTA

Continuación...

Pérdida de datos debido a una Tasa de Error fuera de Norma Telmex.	Tasa de error fuera de parámetros mínimos de operación	INCORRECTA	Tasa de error dentro de parámetros requeridos	CORRECTA
Descripción de Problemas	Sitio sin sistema de tierras	Operación	Sitio con nuevo diseño de tierras	Operación
Daños en tarjetas de circuitos de conmutación de central	Se daña 1 tarjeta de clientes cada mes mínimo	INCORRECTA	Se eliminaron problemas de fallas en tarjetas	CORRECTA
Daño constante en Multiplexores y Radios de Transmisión	Multiplexores y Radios con daños en área de potencia	INCORRECTA	Multiplexores y Radios no han presentados fallas.	CORRECTA
Daño a equipos de rectificación de C. A. a C.D. sin causa aparente del daño	Falla de Equipos y módulos de rectificación, en la etapa final de rectificación.	INCORRECTA	Se presentan fallas derivado de la mala calidad de la energía, sin embargo los rectificadores ya no presentan fallas en la última etapa de rectificación.	CORRECTA
Arranque constante de máquina de emergencia sin existir cortes de compañía suministradora	El módulo de señal de arranque opera constantemente provocando un arranque completo de la máquina de emergencia, deteriorando su vida útil. Se tiene detectado un promedio de 2 arranques por semana sin existir corte de energía.	INCORRECTA	Se eliminan los arranques falsos de la máquina de emergencia, sin embargo, permanecen arranques de máquina de emergencia cuando existen microcortes de energía comercial, este es un nuevo punto que se deberá determinar su solución.	CORRECTA
Daño constante de Multiplexor instalado sobre torre de transmisión	Equipos del proveedor Ericsson montado a un costado de la antena de recepción de microondas presentan daños en la tarjeta de datos área de rectificación sin causa aparente	INCORRECTA	Se eliminaron los daños a la tarjeta contenida en el equipo de Ericsson.	CORRECTA



Continuación...

Protección contra descargas (rayos)	No se cuenta con pararrayos	INCORRECTA	Se instala pararrayos con bajante independiente de torres además de colocar bajantes sobre la torre.	CORRECTA
Bajante de descargas sobre torre de comunicaciones	No se cuenta con sistema de tierras para la torre	INCORRECTA	Se instalan bajantes y placas de tierra cada 15 mts sobre la torre	CORRECTA

Tabla 10.- Resultados obtenidos del rediseño del sistema de tierras.

## **Capítulo 9**

### **CONCLUSIONES**

Actualmente todos los sitios de telecomunicaciones, así como las empresas que las operan se han preocupado por tener una alta seguridad para su personal en el manejo de la energía eléctrica sea de corriente directa o de corriente alterna, poniendo en práctica técnicas modernas de protección a la infraestructura con la puesta a tierra de sus equipos de fuerza, clima, conmutación, transmisión, planta externa e instalaciones rurales.

En este documento se ha planteado la necesidad de proteger mediante aterrizaje las instalaciones e infraestructura electrónica en telecomunicaciones, sin embargo, resulta más importante que el aterrizaje del sistema sea lo más seguro posible, dado que con ello también se protege la vida de los profesionales, técnicos y operarios que la mantienen funcionando, por lo que, resulta paradójico, que con un adecuado sistema de puesta a tierra enfocado al equipo y la infraestructura correspondiente a proteger, lo que actualmente se había considerado secundario o de baja importancia resulto hoy día ser lo principal, como es el caso.

Como se ha señalado, poner a tierra los sistemas electrónicos, dispositivos sensibles o equipos de telecomunicaciones en general, no basta con incrustar una varilla copperweld o cualquier otro accesorio que consideremos como metal en el terreno, es concluyente que resulta imprescindible concebir, diseñar y desarrollar toda una estructura consistente, que asegure el equipo de telecomunicaciones y todo sistema que se desee aterrizar dentro de un sitio y de tal forma que se vea incluida la química del terreno y los diferentes dispositivos que se quieren aterrizar, así se asegura que no se pueda generar diferencias de potenciales sobre las cargas que pueden causar severas pérdidas de materiales, infraestructura y mucho menos de personal humano.

En el tema de telecomunicaciones en México, se ha encontrado que la mayoría de los sitios e infraestructura funcionan con aterrizajes diseñados mediante el método de conexión múltiple de puesta a tierra, dado que la mayoría del equipo instalado es analógico, consistiendo en que todo el sitio tiene una malla de tierra y de un mismo punto indiferente se toman los aterrizajes de todos y cada uno de los conductores que así lo ameritan.

En este trabajo se concluye que es necesario considerar que hoy día toda la infraestructura de telecomunicaciones así como su equipamiento está evolucionando hacia nuevas tecnologías, todas estas tecnologías digitales y de microprocesadores de alta sensibilidad, lo cual obliga a reconsiderar, replantear y rediseñar las mallas de tierra, dado que se modifican los patrones de conexión a tierra de los nuevos equipos e instalaciones, ya que con esta nueva infraestructura se requiere garantizar al máximo la igualación de potenciales de flujo eléctrico de cada equipo con respecto a los demás.

Lo anterior es concluyente dado que la nueva tecnología presente requerimientos específicos de puesta a tierra y es muy sensible a los cambios de voltaje por muy pequeños que sean estos, tensiones transitorias, descargas electrostáticas y que en conjunto y alrededor de todo el sitio van formando y generando lo que se conoce como ruido en el sistema.

Las mallas de tierra utilizadas en la presente propuesta, buscan cumplir con los requerimientos de seguridad y operación de los equipos, no así la distribución de tierra, que utilizan el método de conexión múltiple para la operación de todos los equipos.

La aplicación de los criterios puede ser de manera inmediata en todos los sitios o sistemas que contengan equipos de telecomunicaciones y los que están en proceso de construcción, así como en las instalaciones existentes.

La implementación de esta información tiene como propósito fundamental los siguientes aspectos:

- Aumentar la seguridad del personal y reducir el peligro de incendio.

- Reducir al mínimo los daños al equipo y por consiguiente aumentar la confiabilidad, disponibilidad y continuidad del servicio.
- Minimizar las inducciones electromagnéticas radiadas y conducidas.
- Aumentar la tolerancia a las descargas electrostáticas y a las interferencias causadas por descargas atmosféricas.

En lo que se refiere a las técnicas para diseño de sistemas de aterrizaje para equipos, sistemas y en general sitios de telecomunicaciones, se puede concluir que la propuesta en este texto, subsana dos aspectos, la incorporación de nuevos criterios y normas para su diseño y en segundo lugar la conceptualización de la tecnología digital por analógica, en el desarrollo de la malla que cubre los requerimientos de una tierra segura, confiable, moderna y de baja impedancia.

En este documento se ha revisado los principales aspectos que intervienen en el establecimiento de un sistema de aterrizaje, dándole la importancia que requiere cada uno de ellos, con lo que se ha mostrado a través de todo estudio, que el desarrollo tecnológico actual, permite la incorporación además de nuevos criterios, normas y equipos, de nuevos materiales y dispositivos de conexión, conducción y disposición de los diferenciales de energía, como son los nuevos cables de cobre anodizados, aluminio tratado etc. Y de elementos tan nuevos como el titanio, además de nuevas técnicas de inspección de la conducción de la energía en el terreno, considerando su composición química, lo cual es conjunto se resume que a este documento se proporciona una visión moderna y actualizada de los sistemas de puesta a tierra de infraestructura eléctrica, electrónica pero principalmente a telecomunicaciones.

## **GLOSARIO**

**ALAMBRE.**

Conductor eléctrico de cobre unifilar (de un solo hilo) rígido.

**APARTARRAYOS.**

Aparato o dispositivo que se emplea para proteger al equipo conectado a un circuito eléctrico, contra el efecto de sobretensión que se producen, tanto por descargas atmosféricas, como por la operación de interruptores o por otras causas de disturbios en el propio circuito.

**BARRA DE TIERRA DE PISO.**

Es una barra instalada en la central telefónica que referencia al punto principal de toma de tierra y al conductor igualador. Normalmente una de estas barras es suministrada en cada piso para permitir la puesta a tierra de estructuras metálicas, bastidores y plantas de fuerza, según se requiera.

**BARRA DE TIERRA DE PUNTO PRINCIPAL.**

Es una barra de tierra única, localizada cerca del suministro de corriente alterna, generalmente en el sótano del edificio y sirve como punto central de conexión para los diversos conductores de tierra, tales como:

- Cable Vertical.
- Conductores de tierra de planta externa.
- Colas de tierra de la malla.

**CABLE.**

Conductor eléctrico de cobre multifilar (de varios hilos) y flexible.

**CABLE VERTICAL.**

Es un conductor vertical principal, utilizado para obtener la referencia entre la barra de tierra de piso y el punto principal de la toma de tierra. El Conductor debe ser continuo, extendiéndose a todo lo alto del edificio.

**CARGA ELECTROSTÁTICA.**

Carga eléctrica almacenada que se produce por frotamiento, ionización de las moléculas del aire, influencia, proximidad, magnetismo e inducción.

**CONDUCTOR ACTIVO.**

Conductor de circuito que normalmente tiene una diferencia de potencial con respecto a tierra.

**CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA.**

Conductor que se usa para conectar a tierra, en el punto requerido, las cubiertas metálicas de los equipos, canalizaciones metálicas y otras partes metálicas no portadoras normalmente de corriente.

**CONEXIÓN.**

La unión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria eléctrica, que sea capaz de conducir cualquier corriente que le sea impuesta.

**CORRIENTE DE FALLA.**

Corriente que aparece al momento de una falla de aislamiento.

**DIFERENCIA DE POTENCIAL.**

Es cuando dos o más estructuras metálicas no están referidas al mismo punto de tierra y se presenta entre ellas un voltaje.

**ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.**

Consiste de una o más partes conductoras, generalmente varillas o placas enterradas en el suelo, con el propósito de hacer contacto eléctrico firme con la masa general de la tierra del lugar.

**ESCOTILLA.**

Paso de guías de onda del exterior al interior de la sala de radios.

**EQUIPO PERIFÉRICO.**

Son aquellos equipos asociados al funcionamiento de equipos telefónicos, como: sistemas de cómputo, fax, codecs para videoconferencias, equipo electrónico de oficina y grabadoras de facturación, los cuales por lo general son alimentados por inversores.

**MISCELÁNEOS.**

Son todas las estructuras metálicas, como: puertas, ductos de aire acondicionado, contactos polarizados, lámparas de alumbrado, escalerillas, canaletas, charolas de cables, tubería conduit, tubería hidráulica metálica, archiveros, gabinetes y muebles de oficina.

**PARARRAYOS.**

Dispositivo de protección contra descargas atmosféricas, que constituye un medio seguro de conducir a tierra las descargas que inciden directamente sobre los puntos más elevados de un edificio, torre de transmisión o estructura de cualquier tipo.

**PARASOBRETENSION.**

Término general que designa a un dispositivo de limitación de sobretensiones.

**PLANO AISLADO DE TIERRA.**

Grupo de bastidores aislados del piso, interconectados, que están intencionalmente puestos a tierra a través de una sola conexión.

**PLANO INTEGRADO DE TIERRA.**

Grupo de bastidores no aislados del piso, interconectados, que están intencionalmente puestos a tierra a través de una sola conexión.

**PUESTA A TIERRA.**

Acción y efecto de conectar a tierra efectivamente a ciertos elementos de un equipo o de un circuito, en la forma y métodos establecidos en estas normas.

**SISTEMA DE TIERRA.**

Conjunto de conductores, electrodos y accesorios que, interconectados eficazmente entre si, tiene por objeto conectar a tierra las cubiertas y otras partes metálicas de los equipos eléctricos, así como aquellos elementos de los circuitos que lo requieran.

**SOLDADURA EXOTÉRMICA.**

Es un método de soldadura para la realización de conexiones eléctricas. Está basado en la reducción del óxido de cobre por el aluminio. Esta reacción química desarrolla una cantidad elevada de calor.

**TENSIÓN DE CONTACTO.**

Tensión que aparece al momento de una falla de aislamiento entre las partes simultáneamente accesibles.

**TENSIÓN DE PASO.**

Es la diferencia de potencial entre dos puntos en la superficie del suelo, separados por un metro (un paso) en la dirección del gradiente de potencial máximo.

**TOMA DE TIERRA.**

Cuerpo o conjunto de cuerpos enterrados e interconectados, que aseguran un enlace eléctrico con la tierra.

**TIERRA.**

Masa conductora cuyo potencial eléctrico en cada punto se considera igual a cero.

**VENTANA DE TIERRA.**

Es una zona de transición que consiste de una esfera imaginaria con un radio máximo de 0.91m (3 pies) la cual es la interfase entre el plano integrado y el plano aislado de tierra. Es la abertura donde todos los conductores de puesta a tierra de Corriente Alterna y Corriente Directa ven su última conexión del plano integrado de tierra antes de que sean conectados al plano aislado de tierra.

**ZONAS CON PODER PROTECTOR.**

Zonas urbanas o periféricas densas que protegen a la red telefónica contra descargas atmosféricas. Las instalaciones situadas en estas zonas no requieren protección particular contra este efecto.

**ZONAS DE RIESGO.**

Zonas rurales o periféricas de baja densidad, que son susceptibles a las descargas atmosféricas. En estas zonas, es necesaria la puesta a tierra de los diferentes elementos de la red.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- NORMA Y ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE TIERRA PARA LA PLANTA DE TELÉFONOS DE MÉXICO, S. A. DE C.V. TMX/N/XI/95/0003  
1995
- NEC 70 National Electric Code  
1999
- IEEE Powering and Grounding Electric Equipment.  
1999
- IEEE 142 Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems  
1991
- ANSI American National Standard for Electric Power Systems an Equipment- voltage Ratings (60 Hz)  
1995
- UL 1449 Standard for Safety for Transient Voltage Surge Suppressors.  
1996
- Norma Oficial de Emergencia.  
Nom-Em-001, SEMP-1993.
- Norma 09 de CFE.
- Selección del Método de Conexión a Tierra.
- Los Sistemas de Protección Contra Descargas Eléctricas Naturales.  
IMSS Sept.77, Dr. Melchor Paz Herrera, Ingeniería Biomédica.
- Optimización del Proyecto Tensión Futura de Transmisión en México (800 Kv).
- Comisión Federal de Electricidad, Ing. Roque Dávila, Agosto 77.
- Protección de las Instalaciones Contra Descargas Atmosféricas y Sistemas de Tierra.  
Escuela Militar de Ingenieros.
- Construcción de Tomas de Tierra en Pozos con Regeneradores de PCM.
- Conexión a Tierra (Planta de Fuerza).
- Sistemas de Tierra Para Sistemas Electrónicos (Centrales Digitales).  
Telmex, It 1-50-05, 1983/12
- Pararrayos de Gas, Tres Electrodo.  
1745-1 19, 1780-8, 1977/04
- Plantas de Fuerza de Corriente Continua Para Centrales Rurales y Repetidores.  
Nom-1-187-1988.
- Especificación de Tierras Para Sistema 12.  
Alcatel

- Standard Concerning Earthing and Bonding Telecommunication Equipment in Telecommunication Centers.  
Alcatel
- Earthing of Telecommunications Installations (CCITT).  
Alcatel
- AXE Transmission Equipment with Connection Between Earth Systems.  
Ericsson.
- Earthing of Transmission Equipment In Connection With AXE.  
Ericsson.
- Power Supply Bza 28a. Earthing In Double Flooring Room Systems AXE.  
Ericsson.
- Dispositivos I/C-Alimentación de C.A. y Puesta a Tierra.  
Ericsson.
- 5ESS Grounding ed 5d 022-11.  
AT&T.
- Earthing of Telecommunication Installations, CCITT.  
Siemens.

## FIGURAS

- Figura 1. Conductor a Tierra
- Figura 2.- Identificación de términos usados en la acometida.
- Figura 3.- Tubería metálica de agua como electrodo de Tierra.
- Figura 4.- Estructura metálica del edificio como electrodo de tierra.
- Figura 5.- Electrodo inundado en concreto.
- Figura 6.- Anillo de Tierra.
- Figura 7.- Varillas de Tierra.
- Figura 8.- Medición de resistencia de suelo por el método del 62% o “caída de potencial”.
- Figura 9.- La función del voltaje a tierra en sistemas conectados y no conectados a tierra.
- Figura 10.- Conexión a tierra de un sistema de Alimentación de C.D. de dos hilos.
- Figura 11.- Ejemplo de un sistema de C.D. con dos hilos, sin conexión a tierra cuando la C.D. se obtiene de un Rectificador.
- Figura 12.- Requisitos para un sistema de Alimentación de C.D. de tres hilos.
- Figura 13.- Ubicaciones permitidas para la conexión del conductor del electrodos a tierra en un sistema de alimentación de C.D.
- Figura 14.- Distribución de las intensidades de caídas de rayos. El 95% de los rayos no sobrepasa los 6 KA, mientras que sólo un 5% sobrepasa los 100 KA
- Figura 15.- Curva representativa de una descarga atmosférica 8/20  $\mu$ s.
- Figura 16.- Mapa isokerónico del continente americano (Número de Rayos / Año)
- Figura 17.- Varillas pararrayos en un techo plano.
- Figura 18.- Esfera rodante-área de protección
- Figura 19.- Especificación para la instalación de varillas pararrayos.
- Figura 20.- Tipo de varilla pararrayos (Tipo Dipolo).
- Figura 21.- Varilla pararrayos tipo ionizante.
- Figura 22.- Curvatura de los conductores.
- Figura 23.- Conexión a tierra de un sistema de protección contra rayos en suelo arenoso.
- Figura 24.- Tipos de soldadura exotérmica.
- Figura 25.- Barra exterior de tierra unida al anillo exterior de tierra.
- Figura 26.- Barra de Tierra Principal
- Figura 27.- Montaje de la barra principal de tierra.
- Figura 28.- Esquema de un sistema de puesta a tierra de un sitio de telecomunicaciones.
- Figura 29.- Puesta a tierra de un sitio satelital.
- Figura 30.- Receptáculo de Tierra Aislada.
- Figura 31.- Anillos de tierra (exterior e interior).
- Figura 32.- Medición de Resistencia utilizando un megger.
- Figura 33.- Conexiones a la barra principal de tierra.
- Figura 34.- Anillo interior de tierra.
- Figura 35.- Concepto de la esfera rodante para protección contra rayos de un sitio de telecomunicaciones.
- Figura 36.- Por encima de los 45.75 mts la torre no cuenta con protección contra rayos.
- Figura 37. Conexión de tierra en la pata de la torre.
- Figura 38. Conexión a tierra de los cables tensores de sujeción
- Figura 39.- Conexión a tierra para un sitio de telecomunicaciones, en un edificio de varios pisos
- Figura 40.- Repetidor el Piñón, Chih.
- Figura 41. Equipos y sistemas que se ven afectados por fallas en sistemas de tierras.
- Figura 42. Tipo de Terreno donde se encuentra el sitio de telecomunicaciones.
- Figura 43. Mediciones de resistencia del terreno.
- Figura 44.- Instalación de Sistema de Tierras con electrodos.
- Figura 45.- Conexión Pararrayos a Electrodo de Tierra.
- Figura 46.- Conexión a Tierra del Cable bajante del pararrayos.

## TABLAS

- Tabla 1.- Selección del calibre del conductor del electrodo de Tierra.
- Tabla 2.- Variación de la resistividad de la arcilla arenosa.
- Tabla 3.- Calibre mínimo del conductor de puesta a tierra.
- Tabla 4.- Temperatura máxima de fusión.
- Tabla 5.- Ecuaciones para el cálculo de las resistencias a Tierra.
- Tabla 6.- Densidad e intensidad del campo eléctrico debidas a un rayo.
- Tabla 7.- Requisitos mínimos para materiales de clase I
- Tabla 8.- Requisitos mínimos para materiales de clase II.
- Tabla 9.- Tabla de selección de electrodos de puesta a tierra (25 ohms)
- Tabla 10.- Resultados obtenidos del rediseño del sistema de tierras.