



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Sistemas de Puesta a Tierra para la Protección de Instalaciones Eléctricas de Cómputo y de Telecomunicaciones.

T E S I S
Que para obtener el Título de
Ingeniero Mecánico Electricista
Area Eléctrica-Electrónica

p r e s e n t a n
OSCAR GARCIA AVILA
RAMON GUILLEN GALLARDO
ROBERTO REYES JIMENEZ



Director de Tesis:
Ing. Martín Barcenás Escobar

Ciudad Universitaria

2000

284001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Con todo mi amor y respeto para mi esposa Elvira y mis hijos Eduardo y Samanta, porque en ellos he encontrado la razón de mi existencia.

Para mis padres Josefina y Manuel y todos mis hermanos por su cariño y apoyo durante estos años de mi vida.

A todos mis maestros, compañeros y amigos, gracias.

Oscar García Avila

Escribir estas líneas ha constituido una difícil tarea, pues no quiero ser injusto recordando a unos y olvidando a otros.

Mi vida, como la de todos, ha sido tocada por muchas otras y sin embargo, soy el resultado de la influencia de todas ellas.

Quiero agradecer a los que aún están conmigo y a los que por desgracia se me han adelantado en el camino y que espero algún día alcanzaré.

A mi querida Universidad por brindarme la fuerza de su espíritu y permitir considerarme universitario aún después de mi partida.

A ti Madre, por darme hasta donde tu fuerza de voluntad ha llegado.

A mi compañera de jornada, por su paciencia y apoyo en las horas de incertidumbre de estos últimos 10 años de mi vida.

A Ustedes hijos, por su cariño y singular existencia que animan mi vida en los días de infortunio.

A ustedes mis maestros, que con entereza me compartieron sus conocimientos durante mis años de estudiante.

Y a Dios, por darme la oportunidad de ser parte de sus vidas.

A título personal agradezco también al Ing. Martín Barcenás E. todo el apoyo brindado durante la elaboración de este trabajo.

Y a nuestros sinodales, pues además de haber sido mis maestros, aceptaron sin objeción participar en el examen profesional.

A todos ustedes, gracias.

Ramón Guillen Gallardo

Para mi Madre, por su cariño y sacrificios para alcanzar este logro y porque su presencia y alegría es vital en mi vida.

Para mi Padre, por su apoyo.

A mis hermanos: José (†), Maru, Nacho, Chela, Juan, Jorge, Coco y Pedro, por su ejemplo. Gracias por siempre apoyar a su hermano menor.

A mi cuñado Domingo y a mis sobrinas Brenda y Belinda, por su confianza.

A Mario, Francisco, Odín, Raúl, Hugo y Juan Carlos, por aquellos años en la Universidad y los que nos restan; por los viernes de fútbol y los viajes a Oaxaca.

Para Lourdes y Lucía, por su paciencia, comprensión y amor. Muchas gracias.

Roberto Reyes Jiménez

Índice

I. Introducción.	1
II. Diseño de Sistemas de Tierra.	6
II.1 Introducción.	6
II.2 Definiciones y Descripción de Componentes.	7
II.2.1 Electrodo de Puesta a Tierra.	8
II.2.2 Líneas de tierra.	8
II.2.3 Uniones.	8
II.2.4 Terreno.	9
II.3 Resistividad del Terreno.	9
II.3.1 Variaciones de la Resistividad del Suelo.	9
II.3.1.1 Composición Geológica del Suelo.	10
II.3.1.2 Sales.	10
II.3.1.3 Contenido de Humedad.	11
II.3.1.4 Temperatura.	12
II.3.1.5 Granulometría.	13
II.3.1.6 Estratigrafía.	13
II.3.2 Mediciones de la Resistividad del Suelo.	14
II.3.2.1 Resistividad Aparente del Suelo.	15
II.3.2.2 Resistividad Homogénea.	16
II.3.2.3 Resistividad Heterogénea.	16
II.3.2.4 Interpretación de los Resultados.	17
II.4 Potenciales y Gradientes.	19
II.5. Criterios de Seguridad.	22
II.5.1 Efectos Fisiológicos de la Corriente Eléctrica.	23
II.5.1.1 Corriente de Fibrilación y de Soltar.	23
II.5.1.2 Resistencia Eléctrica del Cuerpo Humano.	24
II.5.1.3 Tensión de Contacto.	26
II.5.1.4 Tensión de Paso.	27
II.6 Corrientes de Falla a Tierra.	28
II.7 Método de Diseño del Sistema de Tierras.	31
II.7.1 Datos Iniciales.	32

II.7.2 Tensiones Tolerables.	32
II.7.3 Configuración Inicial de la Red.	32
II.7.4 Cálculo de la Resistencia de la Red [R_g].	33
II.7.5 Comparación de Potenciales.	33
II.7.6 Cálculo de los Potenciales de Malla.	33
II.7.7 Comparación de los Potenciales de Paso y Contacto.	34
II.7.8. Modificación de la Red.	34
III. Normatividad Aplicable a Redes de Tierra.	36
III.1 Introducción.	36
III.2 Análisis de la estructura general de las normas (NOM, NEC, CSA).	38
III.2.1 Norma Oficial Mexicana (NOM).	38
III.2.2 National Electric Code (NEC).	38
III.2.3 Canadian Electrical Code, Parte I. Safety Standard for Electrical Installations (CSA). C22.1-98.	39
III. 3 Definiciones (Art. 100).	40
III. 4 Uso e Identificación de los conductores puestos a tierra. (Art. 200).	41
III. 5 Circuitos derivados (Art. 210).	42
III. 6 Puesta a Tierra (Art. 250).	43
III.6.1 Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos.	44
III.6.2. Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas.	46
III.6.3 Puesta a tierra de gabinetes.	51
III.6.4 Puesta a tierra de los equipos.	52
III.6.5 Métodos de puesta a tierra.	53
III.6.6 Uniones (puenteado).	58
III.6.7 Sistemas de electrodos de puesta a tierra.	63
III.6.8 Conductores de puesta a tierra.	67
III.6.9 Conexiones del conductor de puesta a tierra	74
III.7 Apartarrayos (Art.280).	77
III.7.1 Generalidades.	77
III.7.2 Instalación de Apartarrayos.	78
III. 7.3 Conexión de los apartarrayos.	78
III.8 Equipos de procesamiento de datos y cómputo electrónico (Art. 645).	78
III.9 Circuitos de comunicación (Art. 800).	82
III.9.1 Métodos de aterrizaje (puesta a tierra).	83
III. 10 Tablas comparativas.	85

III. 10.1	Tabla comparativa entre normas de los subartículos del Artículo 200. Uso e identificación de los conductores puestos a tierra.	85
III.10.2	Tabla comparativa entre normas de los subartículos del Artículo 210. Circuitos derivados.	85
III.10.3	Tabla comparativa entre normas de los subartículos del Artículo 250. Puesta a tierra.	86
III.10.4	Tabla comparativa entre normas de los subartículos del artículo 280. Apartarrayos.	89
III.10.5	Tabla comparativa entre normas de los subartículos del artículo 645. Equipos de procesamiento de datos y cómputo electrónico.	89
III.10.6	Tabla comparativa entre normas de los subartículos del artículo 800. Circuitos de comunicación.	90
IV.	Disturbios más Comunes en Instalaciones de Telecomunicaciones y Sistemas de Cómputo.	91
IV.1	Introducción.	91
IV.2	Descargas atmosféricas.	92
IV.2.1	Consideraciones en la protección contra rayos.	95
IV.3	Transitorios por Switcheo.	98
IV.4	Descargas electrostáticas.	102
IV.5	Compatibilidad electromagnética.	104
IV.5.1	Enfoque de la Compatibilidad Electromagnética.	106
IV.5.2	Compatibilidad electromagnética de los sistemas de radiocomunicación.	107
V.	Recomendaciones para Mejorar la Protección del Personal y del Equipo.	109
V.1	Introducción.	109
V.2	Instalación Típica de Telecomunicaciones y de Cómputo	110
V.3	Sistema de tierra para una instalación de telecomunicaciones	112
V.3.1	Funciones principales	112
V.3.2	Puesta a tierra.	112
V.3.3.	Sistemas de electrodo de tierra o malla de tierra.	114
V.3.4.	Barra Principal de Tierra (BPT).	118
V.3.5	Cable Vertical (CV).	120
V.3.6	Barra de Tierra de Piso (BT).	122
V.3.7	Ventana de Tierra (VT).	123

V.3.7.1 Plano No-Aislado de Tierra.	123
V.3.7.2 Plano Aislado de Tierra.	123
V.3.8 Puesta a tierra de equipos.	125
V.3.8.1 Corriente Alterna (c.a.).	125
V.3.8.1.1 Calibre de la tierra de seguridad.	127
V.3.8.1.2 Neutro.	127
V.3.8.2 Corriente Directa (c.d.).	128
V.3.8.3 Conmutación.	129
V.3.8.4. Torres de Microondas y Celulares.	130
V.3.8.5 Pararrayos.	131
V.3.8.6 Equipo de Radio, Equipo Óptico y Multiplexores.	132
V.3.8.7 Repetidores de Microondas.	132
V.3.8.8 Conexión a tierra para Sistemas de Cómputo.	132
V.3.8.8.1 Tierra aislada en una sala de cómputo.	135
V.3.8.8.2 Técnicas de conexión a tierra para la operación confiable del equipo de cómputo.	137
V.3.8.8.3 Conexión tierra-neutro.	138
V.4 Conexión a tierra para protección contra rayos.	141
V.4.1 Tipos de sistemas de protección.	141
V.4.1.1 Varilla de pararrayos convencional	142
V.4.1.2 Varilla de pararrayos radiactiva.	143
V.4.1.3 Jaula de Faraday.	143
V.4.1.4 Sistema de rayo láser.	144
V.4.1.5 Arreglo de disipación.	144
V.4.2 Recomendación para un sistema de protección contra rayos.	145
V.5 Protección contra sobretensiones transitorias.	148
V.6 Conexión a tierra para descargas electrostáticas (ESD).	149
V.6.1 Control de humedad.	149
V.6.2 Superficies de trabajo.	149
V.6.3 Pisos protegidos contra descargas electrostáticas.	151
V.6.4 Agentes tópicos contra estática.	151
V.7 Recomendaciones para disminuir interferencias electromagnéticas.	151
V.7.1 Acoplamiento.	153
V.7.2 Malla de referencia de señales.	153
V.7.3 Blindaje o apantallamiento.	153
V.7.4 Conexión a tierra para líneas de datos e instrumentación.	154

V.7.4.1 Conexión a tierra para blindaje de baja frecuencia.	155
V.7.4.2 Conexión a tierra para blindaje de alta frecuencia.	156
VI. Conclusiones.	157
Apéndice.	159
Bibliografía.	187

CAPITULO I. Introducción

Dado el desarrollo tecnológico que se está presentando a escala mundial, y en particular en México, es de vital importancia contar con información actualizada que explique el porqué de algunos fenómenos causados por la cada vez mayor contaminación, no solo del aire o del suelo, sino de una contaminación general del ambiente; en nuestro caso con señales electromagnéticas que causan un daño considerable a las modernas instalaciones tanto de cómputo como de telecomunicaciones.

Las telecomunicaciones son actualmente un punto clave en la agenda del desarrollo económico y social de México. El problema es que México ingresó a esta modernidad sin un proyecto estructurado de desarrollo para el sector. En otras palabras, la reestructuración de las telecomunicaciones mexicanas ha empezado por los hechos, es decir, no existe un marco normativo real para proyectar el desarrollo.

En México tiene lugar una modernización bastante acelerada de sus sistemas de telecomunicaciones, de los cuales los sistemas de radiocomunicación juegan un papel muy importante. Basta con señalar que las proyecciones del gobierno y de la iniciativa privada, en materia de telecomunicaciones (telefonía, televisión y satelitales) fueron de que invertirían 14 mil millones de dólares en el periodo que inició en 1994 y concluirá con el presente siglo; además de los presupuestos que se tiene para la adquisición de equipo de cómputo, que sólo para Petróleos Mexicanos y sus filiales es de aproximadamente de 100 millones de dólares anuales.

México al abrir sus fronteras al mercado internacional, y en particular al suscribir el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, requiere que todos sus productos o servicios eléctricos o electrónicos que exporte o importe satisfagan todo un conjunto de normas de susceptibilidad y de emisión de campos electromagnéticos, ya que como se mencionó anteriormente, todos contaminan un recurso natural limitado llamado espectro electromagnético. Si la contaminación del espectro electromagnético en el lugar donde se pone la antena receptora de un sistema de radiocomunicación sobrepasa ciertos límites, este sistema de radiocomunicación dejará de funcionar adecuadamente e inclusive se puede interrumpir la comunicación. Por otro lado no se

debe dejar pasar por alto que como cualquier tipo de contaminación, si la del espectro electromagnético sobrepasa ciertos niveles, puede ejercer una influencia dañina en la salud de los habitantes.

Actualmente casi todos los aspectos de la vida moderna: educación, entretenimiento, industrias, medicina, etc., están relacionados con el empleo de dispositivos, aparatos y sistemas electromecánicos, eléctricos y electrónicos, los cuales acoplan energía electromagnética al medio ambiente de una forma incidental o aquellos cuya función principal es radiar ondas electromagnéticas como es el caso de los radiotransmisores y telefonía inalámbrica. Lo anterior implica que la vida moderna depende íntimamente del empleo del espectro electromagnético, el cual es un recurso natural que se puede contaminar, lo cual conlleva daños asociados tanto para los sistemas de radiocomunicación, de informática, de instrumentación, de control, etc., aunada a esta contaminación tenemos la causada por las fallas en las instalaciones eléctricas, a los rayos y los transitorios de voltaje que causan daños de millones de dólares cada año. Este daño a equipos en los Estados Unidos se estima del orden de US \$ 1.2 billones anualmente¹, no incluyendo la pérdida en la productividad en las industrias y en los negocios. Además, para tener una idea cabal de los costos, es necesario sumar el de reemplazar los sistemas electrónicos al costo de pérdida de tiempo operacional, pérdida de negocios, pérdida de clientes y de oportunidades comerciales.

Todos los equipos, dispositivos o sistemas que emplean energía eléctrica son fuentes potenciales de emisión de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, los cuales pueden interferir a otros dispositivos y sistemas o incluso pueden causar efectos adversos en la salud de los habitantes. Existe la creencia por ejemplo de que al estar sometido a una alta concentración de energía se provoca la esterilidad o al usar por mucho tiempo un teléfono celular puede ser causa de la aparición de tumores cerebrales.

Los equipos cuya función fundamental es emitir energía electromagnética al espacio son todos los radiotransmisores, y a estos se les denomina fuentes intencionales de oscilaciones interferentes. Otros equipos no tienen como función primordial la de emitir energía electromagnética, pero por el hecho de emplear energía eléctrica para su funcionamiento, de manera incidental lo hacen, a estas fuentes se les denomina fuentes no intencionales de oscilaciones interferentes.

¹ Protección contra rayos para una instalación típica de radio celular o de telecomunicaciones, Global Lightning Technologies Pty Ltd, ST-CRPN-021, Australia, marzo de 1997

La Compatibilidad Electromagnética (CEM) es una condición indispensable para que todo dispositivo, aparato o sistema eléctrico o electrónico, funcione adecuadamente en un medio ambiente con contaminación electromagnética y también que éste no genere disturbios electromagnéticos que perturbe el buen funcionamiento de otros dispositivos o sistemas eléctricos o electrónicos. De modo que, la CEM es la capacidad de los dispositivos, aparatos y sistemas eléctricos y electrónicos de funcionar como fueron diseñados, sin que la contaminación electromagnética ejerza una acción dañina que se manifieste como un mal funcionamiento, ni que degrade la operación de otros dispositivos, aparatos o sistemas que operen simultáneamente en su vecindad.

Los transitorios de alto voltaje y alta energía pueden ser producto de descargas de rayos directos a torres de antenas o pueden ser transportados por cables eléctricos o de teléfono que entran al edificio. Los sobrevoltajes transitorios inducidos se pueden originar también por descargas atmosféricas en las cercanías de la instalación, a través de un acoplamiento inductivo o capacitivo.

Las estaciones de radio telecomunicación son particularmente vulnerables a las descargas de rayos y transitorios, pues están situados en lugares elevados para la mejor propagación de la señal de radio. Esto significa que las torres están a menudo en cumbres y edificios altos. Aparte de las descargas de rayos, las estaciones aisladas al final de largas líneas de distribución son también susceptibles de sufrir daño en sus equipos, causado por altas tensiones temporales, debidas a la conexión/desconexión de generadores o mala regulación en fuentes de poder.

Todos los equipos electrónicos modernos son por lo general cargas no lineales, esto quiere decir que no consumen energía constante y pareja; por ejemplo, una computadora consume pulsos de energía y tantos pulsos por segundo como ciclos (Hz) tenga el voltaje de línea. Esto se debe a que la fuente de alimentación interna que tiene la PC posee diodos rectificadores, que se encargan de desconectar la PC de la línea, pero en el momento que tiene conectada la PC estos almacenan energía en los capacitores. Es verdad que el suministro eléctrico es interrumpido, pero también es cierto que por concepción de los equipos electrónicos, estos no se dan cuenta de la interrupción si esta no es superior a los 100 milésimos de segundo.

El avance acelerado que se ha presentado en los últimos años dentro del ramo de servicios en telecomunicaciones y computación ha generado la instalación de nuevos equipos operando en la transmisión y recepción de señales electromagnéticas: teléfonos celulares, radios digitales, comunicaciones VHF y UHF, transmisiones satelitales, equipos inalámbricos, modernos

sistemas de televisión, etc.; equipos que operan mediante la transmisión de señales en conductores eléctricos: comunicación telefónica, equipos de transmisión de datos, computadoras, sistemas de gestión, control y supervisión, etc.; equipos que operan mediante electricidad: aire acondicionado, motores, plantas de rectificación, iluminación fluorescente, etc. Todos ellos crean un amplio universo electromagnético que emplea el espacio como medio de transmisión y dispersión de señales.

La radiación e inducción tienen lugar a través del espacio libre y la diferencia consiste en que cuando se tienen campos lejanos se dice que está presente la radiación, e inducción cuando se tienen campos cercanos. Se pueden distinguir dos tipos de inducción: eléctrica y magnética. La primera proviene de fuentes de alta impedancia y la segunda de fuentes de baja impedancia.

El papel de las telecomunicaciones es de primer nivel en el desarrollo global de las naciones y todas las empresas o corporativos que ofrecen este servicio se encuentran en la implantación de políticas y procesos de calidad total, motivo por el cual se ha acentuado la necesidad de contar con equipos e instalaciones con una alta confiabilidad y rendimiento.

La integración de los servicios, procesos y aplicaciones en los modernos edificios de telecomunicaciones han transformado estas instalaciones en complejas estructuras donde se agrupan diferentes sistemas: comunicación, informática, datos; sistemas de corriente alterna, sistemas de corriente directa, etc., los cuales operan compartiendo recursos.

Uno de los principales recursos que se comparten en un edificio de este tipo es el Sistema de Tierra que se tiene instalado. El trabajo de los diferentes equipos compartiendo un mismo sistema de tierra, implica un estudio profundo de la operación de los mismos, de tal manera que no se provoquen mayores problemas al interconectarlos al mismo sistema de tierra. El caso más crítico sería la disipación de la corriente de un rayo; asimismo como se mencionó párrafos atrás, el ruido electromagnético ocasiona daños y perturbaciones en los sistemas de comunicación, de control y de datos entre otros.

Es decir, todo sistema de telecomunicación e informática requiere una atención especial en su sistema de tierra, además de un adecuado sistema de protección.

Actualmente todas las compañías de telecomunicaciones tratan de poner en práctica modernas técnicas de puesta a tierra para sus equipos de fuerza, clima, transmisión, planta externa e

instalaciones rurales. Asimismo, se encuentran más interesados en comprender todos los disturbios naturales que pudieran afectar sus servicios.

Debido al cambio de tecnología analógica por digital, se ha dado la necesidad de modificar las técnicas de conexión a tierra de tal manera que se garantice la igualación de potenciales en todos los equipos, asegurando la protección contra altas tensiones transitorias, descargas electrostáticas y disminuyendo el ruido en los sistemas electrónicos, ya que los nuevos sistemas digitales requieren un sistema de tierra con requerimientos específicos.

Por todo lo expuesto, el presente trabajo se ha enfocado a revisar y analizar la normatividad nacional e internacional, publicaciones, boletines, informes técnicos, etc., lo que nos arrojará una serie de propuestas para la implementación del sistema de tierras adecuado a las modernas instalaciones de telecomunicaciones y de cómputo. También se contemplan propuestas para eliminar o disminuir los disturbios mencionados para este tipo de instalaciones.

En particular se analizarán la NOM (México), NEC (E.U.) y CSA (Canadá), en lo referente al sistema de tierra, enfocándolo a los requerimientos específicos para los sistemas digitales de telecomunicaciones y las instalaciones de cómputo y de este análisis generar una propuesta para la instalación y diseño de sistemas de tierra para éste tipo de instalaciones.

CAPITULO II.

Diseño de Sistemas de Tierra

II.1 Introducción.

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía a los equipos conectados de una manera segura y eficiente, es decir, es aquella que no representa riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta. Dentro de los elementos que la componen se encuentra el sistema de tierras, el cual en los últimos tiempos ha adquirido una gran importancia debido al adelanto tecnológico en las telecomunicaciones y a la adición en gran escala de equipos electrónicos nuevos.

Los disturbios en los sistemas eléctricos que antes se consideraban normales ahora pueden causar desórdenes mayores, actualmente la ocurrencia de fallas tiene una importancia primordial debido al alto costo para reemplazar los equipos electrónicos dañados, la pérdida de productividad debido a la pérdida de tiempo operacional y a la pérdida de negocios, clientes y oportunidades comerciales. Por esto es necesario promover el desarrollo de sistemas eléctricos más confiables.

Uno de los elementos de las instalaciones eléctricas, que contribuye a incrementar su confiabilidad de operación es el sistema de tierra. El objetivo principal del sistema de tierras es el control de corrientes indeseables, corrientes de falla, corrientes de descarga electrostática, corrientes de ruido de alta frecuencia, etc., estableciendo un trayecto de corriente directa hacia la tierra (terreno de la instalación), con una diferencia de tensión lo mas baja posible en cualquier parte de ella, proporcionando una protección adecuada para el personal y el equipo que la componen. El sistema de tierras generalmente esta compuesto de conductores unidos entre sí, los cuales se encuentran conectados a tierra a través de electrodos enterrados a cierta profundidad.

En este capítulo se analizara el método general de diseño de los sistemas de tierra iniciando con una descripción de los conceptos generales relacionados con estos sistemas, una descripción de los componentes y finalizando con el método general de cálculo.

II.2 Definiciones y Descripción de Componentes.

El principio de puesta a tierra está basado en que el potencial de la tierra se mantiene invariable, independientemente de las cargas eléctricas que se le apliquen al suelo, sirviendo este último como una referencia. Se puede definir como puesta a tierra, la conexión eléctrica con el subsuelo de todas aquellas partes y componentes de una instalación eléctrica que no conducen corriente de operación normal, por ejemplo: carcavas de motores, tanques de transformadores, gabinetes de interruptores, cajas de instrumentos y estructuras metálicas en general. Al realizar la conexión hacia tierra se tienen los beneficios siguientes:

- a) Detectar en forma eficiente las fallas a tierra para asegurar la operación y coordinación de protecciones.
- b) Evitar que las sobretensiones que se originan por las descargas atmosféricas (rayos) provoquen disparos innecesarios de las protecciones.
- c) Limitar la diferencia de potencial que se pudiera presentar entre las partes metálicas no conductoras de corriente y tierra.
- d) Limitar las sobretensiones internas (transitorias y/o temporales) en la instalación debido a maniobras que se pudieran tener como resultado de operación y/o mantenimiento.

La conexión a tierra en las instalaciones eléctricas se realiza mediante el sistema de tierra, cuya función primordial es conducir hacia tierra (subsuelo) todas aquellas corrientes de cualquier naturaleza, corrientes de falla, frecuencias indeseables o descargas atmosféricas; así como limitar al mínimo la diferencia de potencial que se presenta entre distintos puntos de la instalación debido a la resistencia eléctrica del terreno.

El sistema de tierras se compone esencialmente de un conjunto de conductores interconectados entre sí y conectados a tierra mediante electrodos enterrados a cierta profundidad en el subsuelo. Los componentes principales que forman el sistema de tierras se muestran en la figura II.1 y son: electrodos de puesta a tierra, líneas de tierra, uniones y terreno.

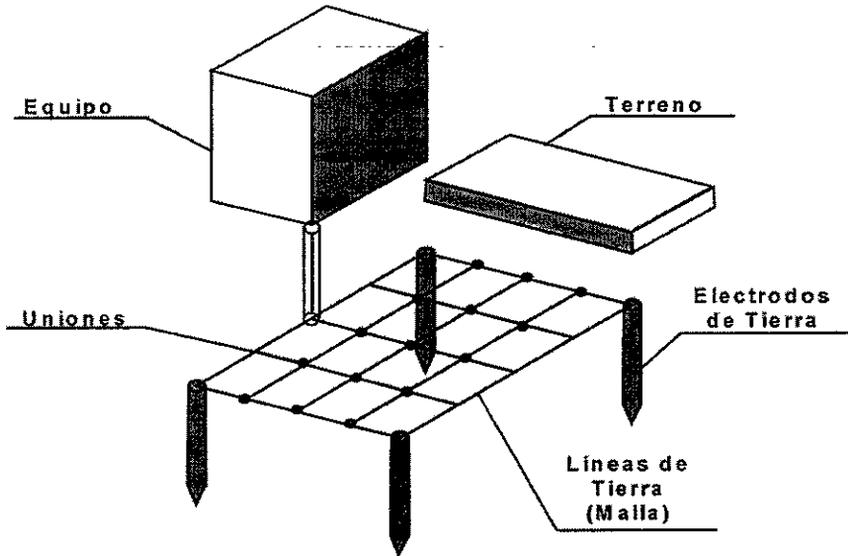


Figura II.1 Componentes principales de un sistema de tierra.

II.2.1 Electrodo de Puesta a Tierra.

Conductor o conductores enterrado(s) verticalmente a cierta profundidad, que sirven para establecer una conexión con tierra y encontrar zonas de baja resistividad, actuando como un elemento de conducción de las corrientes de falla. Estos son instalados generalmente en los vértices del área que conforma la red de tierra.

II.2.2 Líneas de tierra.

Constituyen la mayor parte de la red de tierra, es un grupo de conductores horizontales interconectados entre sí formando una malla o red, los cuales sirven también como un elemento de conducción de las corrientes de falla a tierra y como un elemento para la conexión a tierra de los equipos que componen la instalación. Estos conductores deben tener un calibre y un material adecuados para conducir eficientemente las corrientes indeseables.

II.2.3 Uniones.

Son los elementos que aseguran la adecuada conformación de la red de tierra, sirven para unir los electrodos, las líneas de tierra y los equipos de la instalación. Estas pueden ser mecánicas,

soldables o atornilladas y son fabricadas con materiales de alta resistencia mecánica y resistentes a la corrosión para que garanticen una conductividad y capacidad térmica adecuadas.

II.2.4 Terreno.

Es la superficie sobre la cual se asienta la red. Actúa como un disipador de la energía que se genera durante una falla a tierra de cualquier tipo, además, sirve también como protección y superficie de sostén a la red en su totalidad. La resistividad que se presenta en el terreno es uno de los parámetros más importantes de diseño de todo el sistema de tierra.

II.3 Resistividad del Terreno.

El terreno como elemento conductor de corriente eléctrica es uno de los componentes más importantes que integran los sistemas de conexión a tierra. Esto es debido a que al igual que todos los elementos conductores, el terreno presenta resistencia al paso de la corriente, la cual es función de su resistividad eléctrica. La resistividad del suelo en el área de los elementos que integran la red de tierras, es uno de los parámetros más críticos en el análisis de los sistemas eléctricos, en los que la tierra está involucrada en la trayectoria de corriente durante una falla. Esto se debe a la gran influencia que este parámetro tiene sobre las variaciones del potencial del suelo y sobre el valor de la resistencia de conexión a tierra. La resistividad del terreno para propósitos de diseño de sistemas de conexión a tierra, deberá ser determinada a partir de mediciones de campo y ser interpretada de una manera adecuada, ya que presenta variaciones tanto en sentido lateral, como en profundidad para cada tipo de terreno. El objetivo central del análisis de este parámetro, en el diseño de los sistemas de conexión a tierra, es determinar el valor que lo representa para cada instalación y limitarlo al mínimo.

II.3.1 Variaciones de la Resistividad del Suelo.

La resistividad del suelo varía ampliamente dependiendo de sus elementos constitutivos, zonas superficiales y factores adicionales que se pueden agregar, los cuales también son afectados por los cambios climáticos, lluvias y heladas. Todo eso hace que la resistividad sea muy variable de un lugar a otro, y de entre los factores principales que la modifican se encuentran los siguientes: composición geológica del suelo, sales, el contenido de humedad, la temperatura, la granulometría y la estratigrafía.

II.3.1.1 Composición Geológica del Suelo.

La composición geológica del suelo a diferentes profundidades es compleja y diferente de un sitio a otro. En la superficie la composición del suelo está determinada por una mezcla de elementos de sílice, cuarzo, arenas, arcilla y grava, todos ellos combinados con alguno o varios metales y con alguna cantidad de agua. Conociendo la composición del suelo y realizando algunos estudios geológicos es posible conocer su resistividad y realizar en forma aproximada una clasificación genérica como la mostrada en la tabla siguiente:

Valores genéricos de la resistividad del terreno para algunos tipos de suelo:	
Tipo de suelo	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Tierra vegetal	5-50
Arcilla plástica	50
Arcillas	10-100
Cieno, barro, lodo	20-100
Materia de descomposición, restos vegetales y animales	10-150
Arcillas compactas, margas	100-200
Calizas Blandas	100-300
Arcillas mezcladas con arena y grava	50-250
Arena arcillosa	50-500
Arena sílicea	200-300
Arena y/o grava	100-1000
Roca	200-10000

Tabla II.1

La variación de la resistividad según la composición del terreno es un factor de afectación muy importante, ya que la composición del suelo es muy heterogénea, es decir, que al situarse en diferentes zonas del, la resistividad puede variar sensiblemente a diferentes profundidades en una o varias direcciones.

II.3.1.2 Sales.

Debido que los principales elementos constitutivos del terreno tienen por naturaleza propiedades aislantes, es necesario en algunos casos mejorar su conductividad eléctrica, esto

se realiza adicionando sales, las cuales al reaccionar con el agua contenida en el terreno, forman el electrólito necesario para mejorar la capacidad de conducción de corriente. Algunos tipos de sales utilizados para reducir la resistividad del terreno son: cloruro de sodio, sulfato de magnesio y sulfato de cobre, las cuales son disueltas en agua y vertidas en la vecindad de los electrodos. En la figura II.2 se muestra el comportamiento que generalmente presenta la resistividad de acuerdo con el contenido de sales.

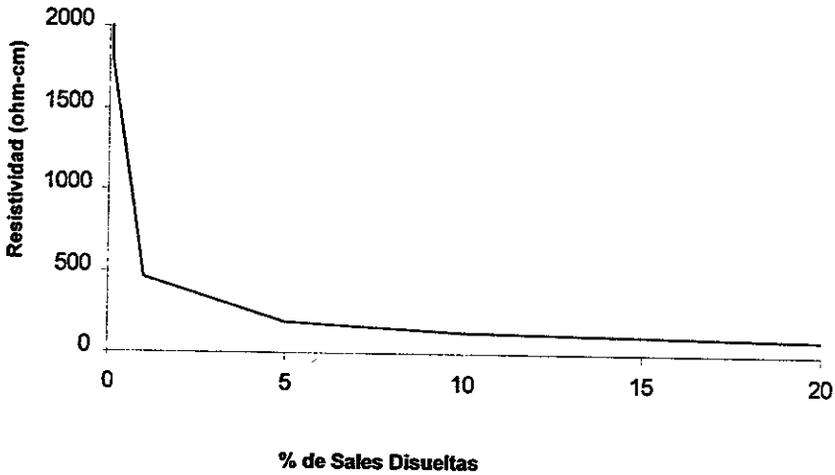


Figura II.2 Variación de la resistividad de acuerdo al porcentaje de sales.

II.3.1.3 Contenido de Humedad.

El contenido o grado de humedad del terreno influye de forma apreciable sobre la resistividad, a mayor saturación de humedad le corresponde menor resistividad. Este valor varía con el clima, época del año, profundidad considerada y la naturaleza del subsuelo. En la figura II.3 se muestra el comportamiento que generalmente presenta la resistividad de acuerdo con el contenido de humedad. Como se puede observar, la resistividad experimenta un ligero aumento al disminuir la humedad en un 15%, por debajo de este valor la resistividad aumenta rápidamente a medida que el porcentaje de humedad disminuye.

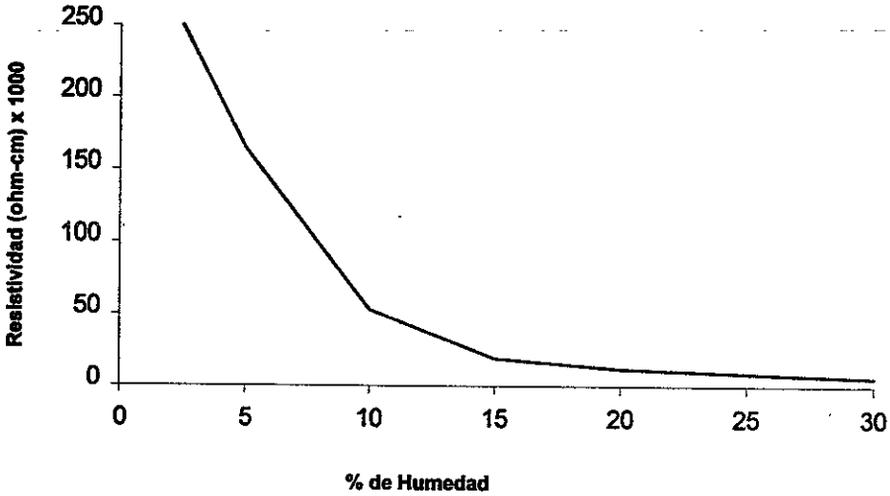


Figura II.3 Variación de la resistividad de acuerdo al % de humedad.

II.3.1.4 Temperatura.

La resistividad del terreno aumenta a medida que desciende la temperatura y este aumento es muy significativo al alcanzarse los 0° C, esto es debido a que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, lo cual provoca una reducción en el movimiento de los electrolitos afectando la resistividad del terreno. En zonas donde se presentan temperaturas inferiores a los 0° C, los electrodos deberán enterrarse a la profundidad adecuada para que no se alcance esta temperatura en ellos. En la figura II.4 se muestra el comportamiento que generalmente presenta la resistividad de acuerdo con la temperatura.

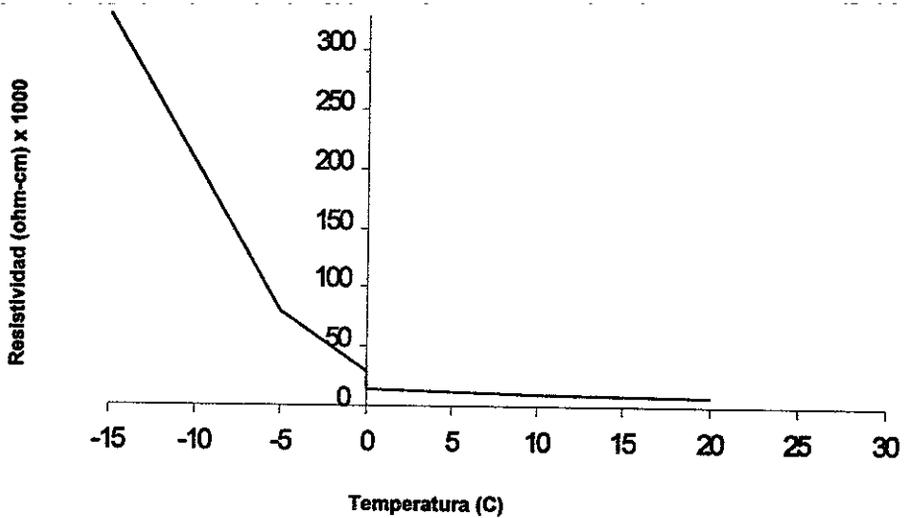


Figura II.4 Variación de la resistividad a una temperatura dada.

II.3.1.5 Granulometría.

Es un elemento importante que influye sobre la porosidad y la capacidad de retención de la humedad del suelo, lo cual afecta la calidad del contacto con los electrodos. La resistividad del terreno aumenta con el mayor tamaño de grano. Los suelos con grano grueso no son muy adecuados para el establecimiento de una adecuada red de tierras.

II.3.1.6 Estratigrafía.

La resistividad total de un terreno es la resultante de la suma de las resistividades que se presentan en las diversas capas que lo constituyen. En el terreno se presentan zonas con variación de resistividad, las cuales deberán ser adecuadamente consideradas durante el diseño de la red de tierra.

La determinación del valor de la resistividad del suelo es realmente complicada, ya que es una magnitud variable y es afectada por una gran variedad de factores. Debido a esto la manera más aceptable para conocer su valor es realizando mediciones sobre el terreno de la instalación, lo cual nos permitirá predecir de una manera mas clara la operación de la red de tierra.

II.3.2 Mediciones de la Resistividad del Suelo.

La resistividad eléctrica del terreno es un parámetro muy importante para explorar las características del suelo en el sitio de una instalación eléctrica. Un estudio de resistividad en el campo adecuadamente diseñado y ejecutado, es un método para examinar el perfil del subsuelo y además es una parte integral del diseño del sistema de tierra. Considerando las limitaciones que plantean las clasificaciones genéricas como las mostradas en la tabla II.1, se han desarrollado procedimientos para medir y caracterizar la resistividad del terreno. Entre los métodos mas usados destaca por su simplicidad y eficacia el desarrollado por Frank Wenner, el cual es conocido como el de los cuatro electrodos. El concepto de este método se ilustra mejor refiriéndose a la figura II.5, la cual muestra el arreglo para realizar la prueba de resistividad eléctrica del suelo. Se colocan cuatro electrodos en el terreno que se disponen en línea recta, equidistantes y simétricos respecto al punto en el cual se desea medir la resistividad. Se inyecta una corriente medida I , vía los dos electrodos exteriores y la porción de corriente que fluye a través de la tierra producirá una caída de tensión V entre los dos electrodos interiores.

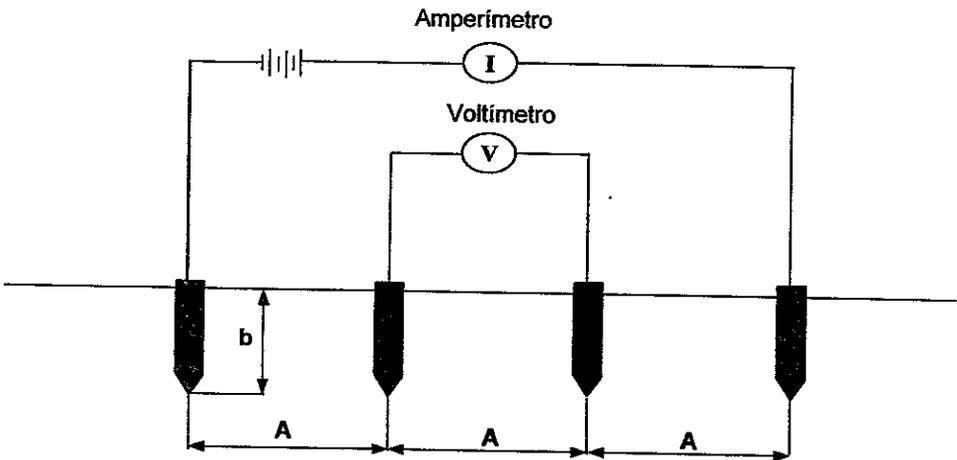


Figura II.5 Configuración del Método Wenner.

Si el suelo tiene una resistividad constante en toda su extensión, la resistividad que se medirá si los electrodos están separados a igual distancia A , puede demostrarse que es:

$$\rho = 2\pi AR$$

Donde:

ρ = Resistividad del terreno [Ω -m]

A = Distancia entre los electrodos [m]

R = Resistencia resultante del cociente V/I [Ω]

En una prueba real de campo la cantidad calculada no será la resistividad real del terreno, esto debido a que dada la variedad de elementos que lo forman no pueda considerarse como una masa homogénea en toda su profundidad, por lo que a la cantidad calculada se le conoce como resistencia aparente. La cantidad en que la resistividad aparente y la real difieran dependerá de la heterogeneidad del suelo. Es importante señalar que existirá probablemente menos variación de resistividad dentro de un pequeño volumen que dentro de un gran volumen de terreno, por lo tanto la resistividad aparente medida con los electrodos casi juntos, valor "A" muy pequeño, estará mas cerca de la resistividad real que cuando los electrodos estén muy separados.

II.3.2.1 Resistividad Aparente del Suelo.

La interpretación de las mediciones de la resistividad en el terreno, obtenidas en el campo, constituye uno de los problemas más importantes dentro del conocimiento de los sistemas de conexión a tierra. Debido a la presencia de diferentes materiales que constituyen las diferentes capas del suelo y que cada una de ellas presenta un valor diferente de resistividad, es poco usual encontrar una recta horizontal como comportamiento de la resistividad del suelo en función de la separación de electrodos. Con base en este comportamiento físico de las características del terreno es común en la practica utilizar, para representar la variación de la resistividad con la distancia entre los electrodos de prueba, el concepto de resistividad aparente del suelo, teniendo como resultado una curva de la resistividad en función de la separación entre los electrodos de prueba como se muestra en la figura II.6.

Con el fin de representar los resultados de medición en las pruebas de resistividad se han adoptado algunos modelos, los cuales son conocidos como de resistividad homogénea y de resistividad heterogénea.

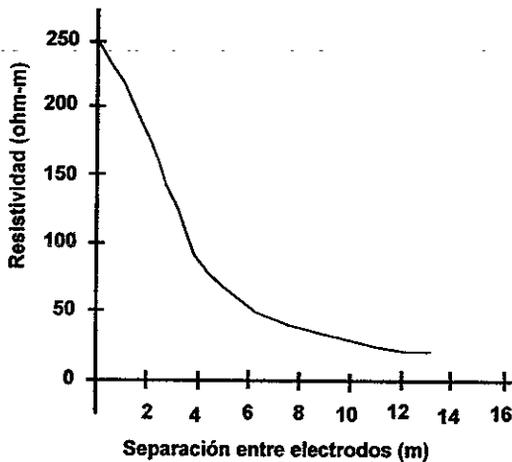


Figura II.6 Comportamiento de la resistividad con la separación entre electrodos.

II.3.2.2 Resistividad Homogénea.

Este modelo corresponde a una curva de resistividad aparente que presenta variaciones dentro de una banda de $\pm 10\%$, por lo cual podemos considerar que tenemos un suelo homogéneo. Como se puede observar en la curva 1 de la figura II.7, si despreciamos los valores iniciales, que corresponden normalmente a variaciones superficiales influidas por la humedad y las temperaturas estacionales, la resistividad aparente resultante es característica de un suelo homogéneo con resistividad equivalente del orden de $45 \Omega\text{-m}$ aproximadamente.

II.3.2.3 Resistividad Heterogénea.

Este modelo corresponde al de un suelo donde las variaciones de la resistividad con la profundidad son mayores. La curva de resistividad aparente permite establecer claramente estas variaciones, como se muestra en las curvas 2 y 3 mostradas en la figura II.7.

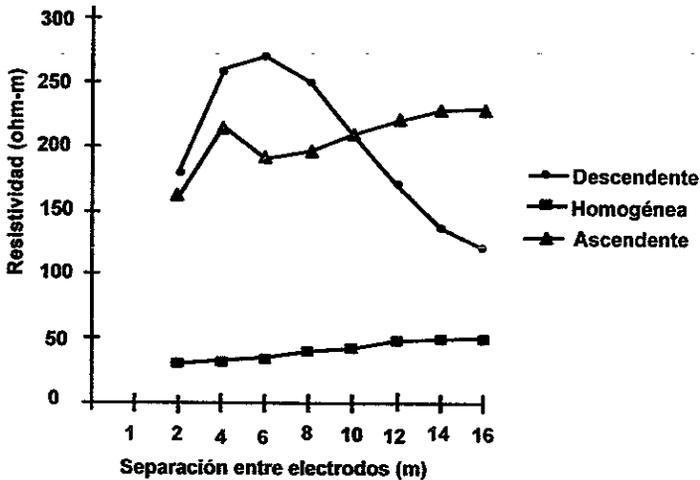


Figura II.7 Variaciones típicas de la resistividad aparente del suelo.

II.3.2.4 Interpretación de los Resultados.

Los estudios de resistividad eléctrica proporcionan información acerca de la estratificación del suelo y pueden utilizarse como un medio rápido para distinguir la variabilidad dentro de un área en particular. Con el fin de lograr utilizar esta información para el análisis de los sistemas eléctricos que utilizan el suelo como una parte de la trayectoria de corriente, es necesario realizar la interpretación adecuada de las mediciones. La interpretación de los resultados, independientemente de la metodología empleada, conduce a la representación de la conductividad del terreno mediante un modelo homogéneo o heterogéneo. El modelo homogéneo se utiliza cuando es posible definir a través de un valor medio único las variaciones de la resistividad con la separación entre los electrodos. El modelo heterogéneo se utiliza cuando las variaciones de la resistividad con la separación entre los electrodos no permiten adoptar un valor medio único.

Los modelos heterogéneos más conocidos son los de Thapar y Gross¹, quienes propusieron un modelo con variación exponencial (ascendente o descendente) de la resistividad con la profundidad. Por otra lado, Tagg² propuso un modelo integrado por dos capas paralelas a la superficie del suelo con valores de resistividad uniforme para cada una de ellas.

¹ Thapar, B. and Gross, E.T.B. "Grounding Grids for High Voltage Stations", IEEE Trans., October 1963

² Tagg, G.F. "Earth Resistance", New York. Pitman, 1964

En la actualidad, el modelo más utilizado es el de las dos capas propuesto por Tagg, que se muestra en la figura II.8. Está integrado por dos capas horizontales de resistividad uniforme ρ_1 y ρ_2 , la primera de ellas delimitada por la superficie del suelo y con una profundidad h a partir de la superficie; la segunda inicia a partir de la profundidad h y tendrá una profundidad ilimitada. En forma práctica la interpretación de las mediciones consiste en determinar los valores característicos de las dos capas y la profundidad de la primera de ellas.

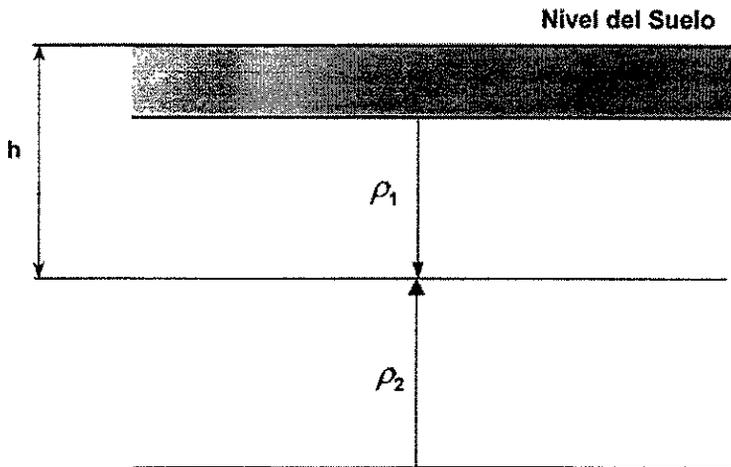


Figura II.8 Modelo de un suelo equivalente de dos capas.

Los cambios abruptos de la resistividad en la frontera de ambas capas pueden describirse por medio de un factor de reflexión "K", definido mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

Este factor de reflexión varía entre los límites -1 y $+1$. Un suelo con cambios extremos en los valores de resistividad tendrá asociado un factor de reflexión cercano a la unidad. Mientras que un suelo con valores de resistividad similares, tendrá asociado un factor de reflexión cercano al cero, observe la figura II.9.a. Para un suelo con valores de resistividad crecientes con la profundidad (figura II.9.c), le corresponde un factor de reflexión positivo $+K$; mientras que un suelo con valores de resistividad decrecientes con la profundidad (figura II.9.b), le corresponde un factor de reflexión negativo $-K$.

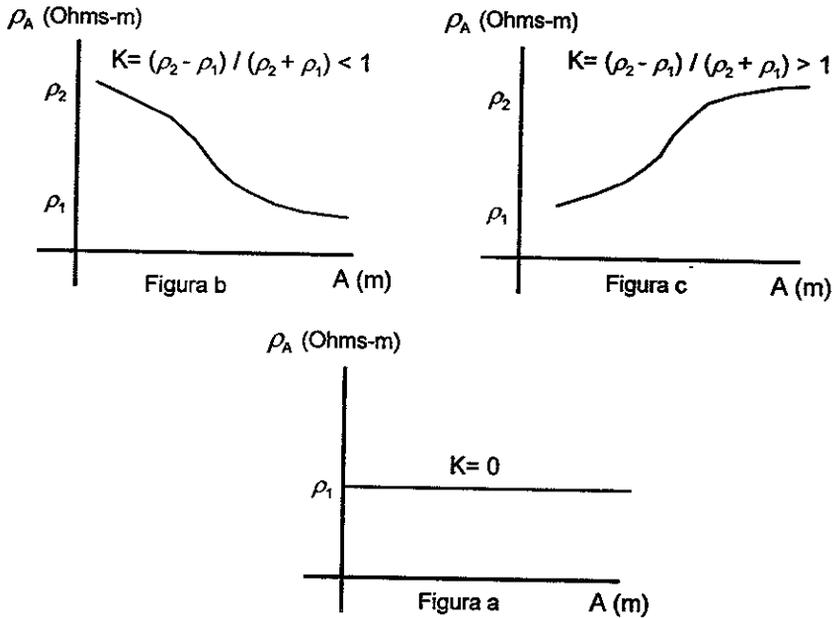


Figura II.9 Curvas de resistividad aparente para diferentes perfiles de terreno.

El comportamiento de la resistividad aparente en función de la distancia entre los electrodos, proporciona una primera indicación cualitativa de la estructura del terreno; si esa es decreciente, significa que el subsuelo es mejor conductor que el terreno superficial e inversamente para una curva creciente. Estudiando el modelo de resistividad aparente del suelo, pueden tomarse decisiones acerca de la construcción de la red de tierra. Por ejemplo, en la practica normal se puede enterrar el conductor de la malla de tierras a una profundidad de 0.5 m; sin embargo, el modelo del suelo puede indicar que a 1 m de profundidad es mejor conductor. Una comparación de costo deberá hacerse, para determinar si los ahorros en material conductor pesan mas que los costos adicionales para una instalación mas profunda.

II.4 Potenciales y Gradientes.

Durante la presencia de una falla, la corriente que se deriva por una toma de tierra hacia el subsuelo produce una elevación de potencial con respecto a puntos distantes, en el equipo unido al electrodo de conexión a tierra, así como gradientes de potencial sobre la superficie de la tierra situada en la proximidad del electrodo. En forma general la descripción de la forma en

que las líneas de corriente se propagan por el terreno y el perfil de potencial que se obtiene no es un cálculo preciso, por lo que la representación de las corrientes se hace de manera aproximada. Para realizar esto es necesario hacer algunas simplificaciones, la principal de ellas la constituye la suposición de un suelo homogéneo con resistividad conocida, en la cual se encuentra enterrado un tipo de electrodo semiesférico a nivel de la superficie, como se muestra en la figura II.10.

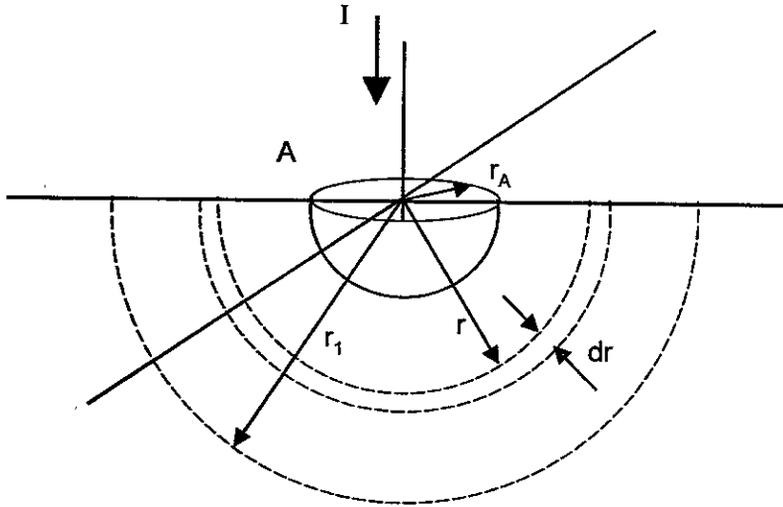


Figura II.10 Electrodo metálico semiesférico de radio r_A enterrado a ras de tierra.

Supongamos que la corriente I originada en una fuente (no indicada) entra al electrodo y circula radialmente hacia el terreno circundante, que se supone de resistividad uniforme ρ y de extensión infinita. La resistencia de esta conexión se puede calcular por la conocida expresión:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Donde:

R = Resistencia entre los dos extremos de un cuerpo conductor.

ρ = Resistividad del cuerpo conductor.

A = Sección recta perpendicular a la dirección de la corriente.

l = Longitud.

La corriente se distribuirá radialmente en todas las direcciones formando superficies equipotenciales, las cuales serán semiesferas concéntricas con la del electrodo. En el caso de la corriente que fluye por un punto hacia el interior de la toma de tierra la sección de su trayectoria no es uniforme sino que aumenta al alejarse del electrodo central. Esta sección perpendicular a la dirección de la corriente, corresponde al área de una semiesfera de radio r , por lo tanto:

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

Dado que esta sección se refiere a la longitud elemental dr (figura II.10) de la dirección de la corriente, la expresión queda de la siguiente forma:

$$dR = \rho \frac{dr}{2\pi r^2}$$

La resistencia elemental dR es la que existe entre las dos caras opuestas de una superficie semiesférica de radio r y espesor infinitesimal dr . La resistencia entre la semiesfera metálica A de radio r_A y un electrodo imaginario hueco, metálico, de forma semiesférica y radio r_1 se obtiene suponiendo un número infinito de cáscaras delgadas entre A y la semiesfera mayor:

$$R = \int dR = \int_{r_A}^{r_1} \rho \frac{dr}{2\pi r^2}$$

Integrando esta expresión se obtiene:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Esta expresión define la resistencia del volumen de tierra comprendido entre un electrodo semiesférico de radio r_A y uno de radio r_1 . Si el radio r_1 es muy grande la expresión se convierte en:

$$R = \frac{\rho}{2\pi r_A}$$

Esta expresión proporciona una interpretación física de la resistencia de una toma de tierra en el caso de un electrodo enterrado. La resistencia de la toma de tierra correspondiente a un

electrodo semiesférico es la que existe en la trayectoria comprendida entre dicho electrodo y otro concéntrico imaginario de radio infinito.

De las expresiones anteriores se puede obtener la expresión del potencial presentado durante la condición de falla en el entorno del electrodo, la cual toma la forma siguiente;

$$V = \frac{\rho}{2\pi r_A} I$$

Donde:

I = corriente que penetra a la tierra a través del electrodo.

La expresión anterior nos indica que para una corriente de falla I , en un terreno determinado de resistividad ρ , el potencial varía inversamente proporcional a su distancia al centro del electrodo, siendo la curva que representa la variación una hipérbola como la mostrada en la figura II. 11.

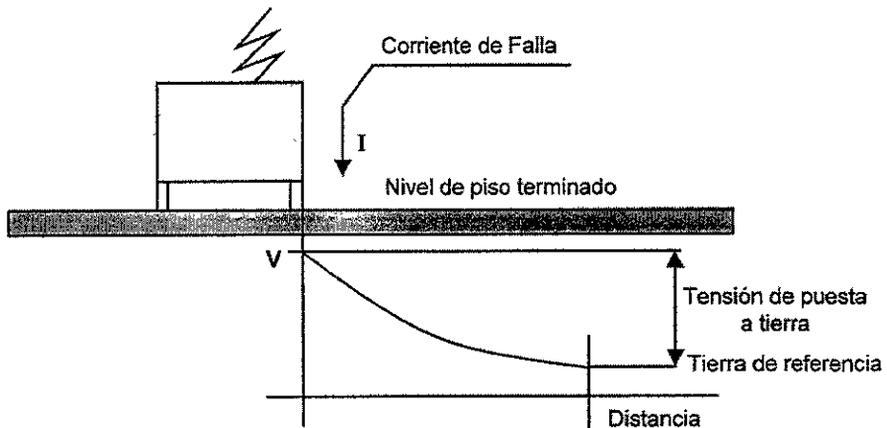


Figura II 11 Perfil de potencial presentado en un electrodo vertical de puesta a tierra.

II.5. Criterios de Seguridad.

El enfoque principal del diseño de los sistemas de conexión a tierra que hasta ahora se ha considerado mas adecuado, es el que establece como criterios de seguridad las tensiones de electrocución, definidas por las tensiones de paso y de contacto que pueden ser soportadas por el cuerpo humano. Este criterio considera los dos parámetros básicos que determinan las

características de operación de los sistemas de conexión a tierra que son: la magnitud de la corriente que fluye a tierra y el valor de la resistencia de conexión a tierra, determinada esta última por la resistividad del terreno y por todo el conjunto de elementos que componen la red de tierras. El criterio de seguridad establecido por las tensiones de paso y de contacto es definido a partir de la sensibilidad que el cuerpo humano tiene a la circulación de la corriente eléctrica.

II.5.1 Efectos Fisiológicos de la Corriente Eléctrica.

Los efectos de la corriente eléctrica circulando a través de las partes vitales del cuerpo humano dependen básicamente, de la duración y la magnitud de la corriente y de la resistencia eléctrica del propio cuerpo. Los efectos fisiológicos más comunes que se presentan en el cuerpo humano debido a la circulación de la corriente eléctrica son: percepción, contracción muscular, pérdida del conocimiento, quemaduras, bloqueo de respiración y fibrilación del corazón, esta última es la consecuencia más peligrosa de la exposición del cuerpo humano a la corriente eléctrica y consiste en el paro inmediato de la circulación sanguínea.

El establecimiento de los límites a partir de los cuales la corriente eléctrica resulta peligrosa, presenta notables dificultades. Para tener una idea de las dispersiones que se presentan sobre el paso de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano, se define el concepto de umbral de sensibilidad, éste es el valor de la intensidad mínima que percibe una persona al hacer circular una corriente de mano a mano. Mientras algunos detectan la corriente con intensidad de 0.5 mA otros no empiezan a percibir su paso hasta que no alcanzan valores cercanos a los 2 mA. Un valor de corriente de 1 mA es generalmente reconocido como el umbral de sensibilidad para los seres humanos.

II.5.1.1 Corriente de Fibrilación y de Soltar.

Con el objeto de proporcionar protección contra el riesgo de electrocución es necesario determinar los valores máximos de corriente que pueden circular, sin producir daños apreciables, a través del cuerpo humano. Estos valores de corriente pueden clasificarse de la manera siguiente:

Corriente de soltar: Es la magnitud máxima de corriente para la cual una persona con su fuerza física puede liberarse por sí misma del efecto de la corriente eléctrica. De varios experimentos

realizados, el valor de corriente que ha sido determinado se encuentra entre los límites de 9-12 mA para un 99.5 % de los seres humanos.

Corriente de Fibrilación: Es la magnitud máxima de corriente que puede circular a través del corazón, para la cual una persona no está sujeta a peligro de fibrilación ventricular. De varios experimentos realizados existen diversos resultados, entre los cuales los más conservadores corresponden a Dalziel³ y los mismos han sido adoptados por la guía 80 del IEEE, y son definidos mediante la siguiente expresión:

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

donde:

I_k = corriente que circula a través del cuerpo humano [A]

T = tiempo de exposición a la circulación de corriente I_k [s]

II.5.1.2 Resistencia Eléctrica del Cuerpo Humano.

Para establecer los criterios de seguridad para una instalación eléctrica y, debido a que la sensibilidad del cuerpo humano se define con base en magnitudes de corriente, es necesario representar a través de resistencias la trayectoria de la corriente de falla a través del cuerpo humano. Para corriente directa y alterna a una frecuencia normal de suministro, el cuerpo humano puede ser representado por una resistencia no inductiva como se muestra en la figura II.12. La resistencia que se presenta en el cuerpo humano es básicamente entre sus extremidades, esto es, de una mano a ambos pies o de un pie al otro. De acuerdo con estudios realizados, la resistencia eléctrica que presenta el cuerpo humano al paso de corriente depende de varios factores; pero se ha obtenido un valor representativo de 1000 Ω recomendado por la guía 80 del IEEE. Este valor es representativo de la resistencia del cuerpo humano de una mano a ambos pies o de un pie a otro como se muestra en la figura II.12.

³ Dalziel, C.F. "Electric Shock Hazard". IEEE Spectrum, feb. 1992.

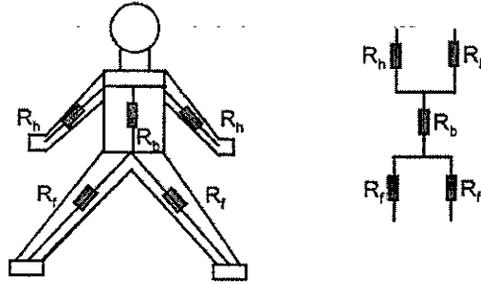


Figura II.12 Circuito eléctrico equivalente del cuerpo humano.

Desde el punto de vista de seguridad del personal, los potenciales de diseño que deben considerarse son los que se manifiestan sobre la superficie del terreno y en la vecindad del electrodo o red de conexión a tierra. Estos potenciales que se presentan en diferentes puntos de la superficie del terreno, y que de acuerdo con su magnitud pueden introducir riesgo de situaciones peligrosas para la seguridad del personal dentro y en la periferia de la instalación, se denominan perfiles de potencial y son mostrados en la figura II.13

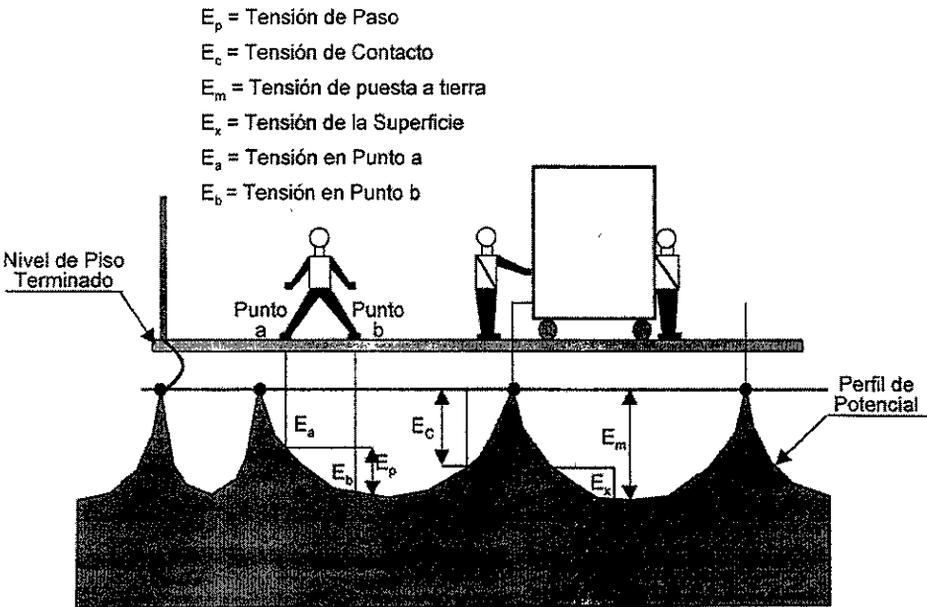


Figura II.13 Perfiles de potencial.

II.5.1.3 Tensión de Contacto.

Es la diferencia de potencial que se presenta en condiciones de falla entre la red de tierras o un punto de la instalación conectado a ella y cualquier punto de la superficie del terreno. La expresión matemática para obtener esta diferencia de potencial se obtiene al comparar el potencial de puesta a tierra con el potencial en cualquier punto de la superficie del terreno. El potencial de red es el que se presenta bajo condiciones de defecto entre una toma de tierra y un punto lejano de potencial cero; se calcula de la siguiente manera:

$$E_g = R_g I_g \text{ [V]}$$

donde:

R_g = Resistencia a tierra de la red. [Ω]

I_g = Corriente de falla a través de la red. [A]

Por lo tanto:

$$E_c = E_g - E_m \text{ [V]}$$

donde:

E_c = Tensión de contacto.

E_g = Tensión de la red.

E_m = Tensión en la superficie del terreno.

Experimentalmente se han establecido valores de potencial normalizados para asegurar la protección del personal dentro del área de la instalación durante la ocurrencia de una falla. Estos valores son obtenidos considerando que la corriente de electrocución que puede afectar a una persona se define como:

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

donde:

I_k = corriente que circula a través del cuerpo humano [A]

T = tiempo de exposición a la circulación de corriente I_k [s]

Se recomienda un valor de 1000Ω para la resistencia del cuerpo humano, considerando al pie como un electrodo de placa circular del cual su resistencia aproximada es de $3\rho_s$, por lo tanto la resistencia total para la tensión de contacto permisible será:

$$R_c = 1000 + 1.5\rho_s \text{ } [\Omega]$$

donde:

ρ_s = Resistividad superficial que toca al pie. [Ω -m]

$1.5\rho_s$ = Resistencia de los pies en paralelo. [Ω]

Finalmente el valor máximo tolerable de potencial de contacto será:

$$E_c \text{ Tol} = R_c (I_k) = \frac{(1000 + 1.5\rho_s)0.116}{\sqrt{T}} = \frac{116 + 0.174\rho_s}{\sqrt{T}} \text{ } [V]$$

II.5.1.4 Tensión de Paso.

Es la máxima diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera de la superficie del terreno de la instalación separados un metro de distancia (separación promedio entre los pies de una persona), siendo su valor mas critico en los límites del área que cubre la red; la expresión matemática queda definida de la siguiente manera:

$$E_p = E_a - E_b$$

donde:

E_p = Tensión de paso.

E_a = Tensión del punto a.

E_b = Tensión del punto b.

Considerando las misma condiciones aplicadas anteriormente se pueden deducir los valores de potencial normalizados, por lo que se tienen las expresiones siguientes:

$$R_p = 1000 + 6\rho_s \text{ } [\Omega]$$

donde:

$6\rho_s$ = Resistencia de los pies en serie.

Por lo tanto el valor máximo de potencial de paso será:

$$E_p \text{ Tol} = R_p (I_k) = \frac{(1000 + 6\rho_s)0.116}{\sqrt{T}} = \frac{116 + 0.696\rho_s}{\sqrt{T}} \text{ [V]}$$

II.6 Corrientes de Falla a Tierra.

Para determinar las máximas tensiones de paso y contacto que pueden ser admisibles por la instalación y por el cuerpo humano, se requiere el conocimiento del valor de la corriente máxima de falla a tierra y del tiempo de liberación de la falla. Para determinar el valor correcto de la corriente de falla a tierra utilizada en el cálculo de la red de tierras, es necesario determinar los siguientes parámetros:

- Establecer cual de los posibles tipos de falla a tierra producirá la máxima circulación de corriente entre la malla del sistema de tierras y el terreno y, por tanto, la mayor elevación de potencial y los gradientes que se presentan en el área de la instalación.
- Calcular el valor máximo efectivo de la corriente de falla simétrica I_d'' que circulara entre la malla del sistema de tierras y el terreno en el instante de iniciarse la falla.
- Aplicar un factor de corrección cuando sea necesario, para considerar la componente de corriente continua que pudiera aparecer y la posterior atenuación de las componentes transitoria y alterna.
- Aplicar un factor que tenga en cuenta los incrementos en las corrientes de falla por expansiones futuras de la instalación.

Existen diversos tipos de fallas a tierra que se pueden presentar en una instalación eléctrica, además existe una gran dificultad para determinar cual de los tipos de falla y su localización producirá el flujo de corriente mas alto entre la red de tierras y el terreno. Para la determinación de los tipos de fallas aplicables se debe tomar en cuenta principalmente la probabilidad de ocurrencia de fallas. A pesar de que las fallas múltiples producen los niveles mas altos de corrientes de falla, éstas no deben ser consideradas para el cálculo, ya que tienen una probabilidad de ocurrencia muy baja. Es por esto que se recomienda por razones practicas considerar solo para fines de cálculo los tipos de falla de línea a tierra y de línea-línea a tierra.

El valor máximo efectivo de la corriente simétrica de falla a tierra I_d'' para los dos tipos de falla considerados se calcula con las expresiones siguientes:

Falla de línea a tierra

$$I_d'' = \frac{3E}{X_1 + X_2 + X_0}$$

Falla de línea-línea a tierra

$$I_d'' = \frac{3EX_2}{X_1(X_0 + X_2) + X_2X_0}$$

donde:

I_d'' = Valor efectivo de la corriente simétrica en el instante en que se inicia la falla. [A]

E = Tensión de fase a neutro [V]

X_1 = Reactancia subtransitoria de secuencia positiva calculada en el lugar de la falla

$$\left[\frac{\Omega}{\text{fase}} \right]$$

X_2 = Reactancia de secuencia negativa calculada en el lugar de la falla $\left[\frac{\Omega}{\text{fase}} \right]$

X_0 = Reactancia de secuencia cero calculada en el lugar de la falla $\left[\frac{\Omega}{\text{fase}} \right]$

La corriente de corto circuito puede considerarse como la suma de los valores instantáneos de dos componentes:

- Corriente Alterna. De amplitud no uniforme pero simétrica con respecto al eje del tiempo
- Corriente Continua. Cuyo trazado permanente esta en un solo lado de dicho eje.

La componente de corriente alterna desarrollada en los primeros instantes que siguen al corto circuito recibe el nombre de subtransitoria y su valor depende de la reactancia subtransitoria X'' del generador. Después de algunos ciclos ésta disminuye hasta un valor que depende de la reactancia transitoria X' , y finalmente decrece en forma relativamente lenta hasta adquirir un valor estacionario, es decir, hasta el valor permanente de corto circuito que depende de la reactancia síncrona X del generador.

Los cortos circuitos suceden en forma aleatoria respecto a la onda de tensión, aunado a esto, la presencia de la persona y el consiguiente contacto pudiera ya estar presente en el momento de iniciarse la falla; por lo anterior es necesario suponer una onda de corriente de falla a tierra

asimétrica desplazada 100% durante el tiempo de choque eléctrico. Dado que los experimentos para fijar el umbral de fibrilación se basan en corrientes senoidales simétricas de amplitud constante, se requiere determinar el valor eficaz I de una corriente senoidal equivalente a la corriente de falla asimétrica durante el intervalo de tiempo que se estime que puede durar la falla. El valor I se obtiene de la expresión siguiente:

$$I = \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} I_f^2 dt}$$

donde:

I = Valor efectivo ajustado de la corriente de falla a tierra para el tiempo de duración total de la falla. [A]

T_f = Tiempo de duración de la falla. [s]

T = Tiempo a partir de la iniciación de la falla. [s]

I_f = Valor efectivo de la corriente de falla a tierra al tiempo t . [A]

Entonces, el factor de decremento se determina por las expresiones siguientes:

$$D = \frac{I}{I_d}$$

$$D = \frac{1}{I_d} \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} I_f^2 dt}$$

donde:

D = Factor de decremento que toma en cuenta el valor máximo de la componente de corriente continua y la atenuación de las componentes transitorias de corriente continua de la corriente de falla.

Al calcular el valor de D , resultan los valores que se indican a continuación:

Duración de la falla [s]	Factor de decremento D
0.08	1.65
0.10	1.25
0.20	1.20
0.25	1.10
0.50 o más	1.00

Tabla II.2

Es conveniente tomar también un margen adecuado que considere los aumentos futuros de corrientes de falla por aumento en la capacidad de carga del sistema eléctrico, esto es debido a que las modificaciones posteriores a la construcción de la red de tierras resultan costosas. Este factor puede tomarse en cuenta aplicando un factor de seguridad al valor calculado de la corriente de falla.

II.7 Método de Diseño del Sistema de Tierras.

El método de diseño esta basado en establecer limites seguros para las diferencias de potencial que se pueden presentar en la instalación eléctrica bajo condiciones de falla, en zonas o puntos que puedan ser alcanzados por el ser humano. El método en general se describe en el diagrama de flujo mostrado en la figura II.14, en el cual se muestra la secuencia recomendada de pasos a seguir para el adecuado diseño de cualquier sistema de tierra.

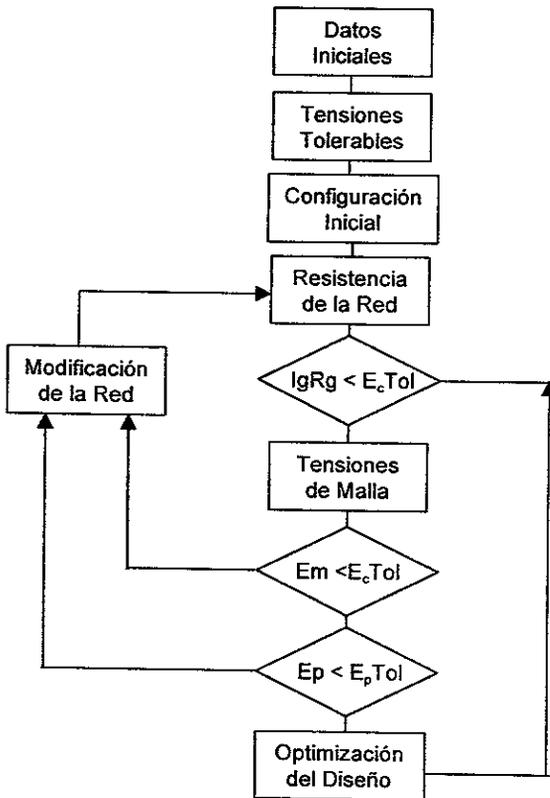


Figura II.14. Diagrama de Flujo del Método General de Diseño de Sistema de Tierra.

II.7.1 Datos Iniciales.

Esta es una de las etapas más importantes del diseño ya que se definen las condiciones de operación de la red de tierras de acuerdo con su configuración. Los puntos a determinar en esta etapa son los siguientes:

- Área de aterrizamiento de acuerdo al plano de la instalación eléctrica.
- Resistividad del terreno.
- Valor de la corriente de falla.
- Tiempo de liberación de la falla.
- Cálculo del calibre del conductor de la red.

II.7.2 Tensiones Tolerables.

Estos valores son calculados de las expresiones:

$$E_c \text{ Tol} = \frac{116 + 0.174 \rho_s}{\sqrt{T}} \text{ [V]}$$

$$E_p \text{ Tol} = \frac{116 + 0.696 \rho_s}{\sqrt{T}} \text{ [V]}$$

II.7.3 Configuración Inicial de la Red.

De acuerdo con el área de aterrizamiento determinada, se propone una configuración inicial de malla, la cual debe incluir un conductor que rodea el área completa de la subestación, además de conductores paralelos y transversales enterrados todos a una profundidad [h], con espaciamentos [d], distribuidos adecuadamente para permitir la conexión con los diferentes equipos.

La longitud total del conductor [L] para la red de tierras se determina como sigue:

$$L = L_c + L_v$$

Donde:

L_c = Longitud total del conductor para la red de tierra.

L_v = Longitud total de las varillas para la red de tierra.

II.7.4 Cálculo de la Resistencia de la Red [R_x]

La guía 80 del IEEE recomienda para cálculos preliminares de resistencia, de redes enterradas entre 0.25 m y 2.5 m de profundidad, la expresión siguiente:

$$R_x = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left[1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right] [\Omega]$$

donde:

L = Longitud total del conductor de la red. [m]

A = Area total de la malla. [m²]

h = Profundidad de la red. [m]

II.7.5 Comparación de Potenciales.

Si la máxima elevación de potencial de la red es expresada como:

$$E_x = R_x I_x [V]$$

está por debajo del valor de la tensión de contacto tolerable ya no es necesario realizar más cálculos, puede entonces pasar a la etapa de optimización del diseño. En caso contrario se sigue con el paso siguiente.

II.7.6 Cálculo de los Potenciales de Malla.

El potencial de contacto de la malla se calcula con la expresión siguiente:

$$E_m = \frac{K_m K_i \rho I_x}{L} [V]$$

donde:

K_m = Factor de espaciamento para voltaje de malla definido por:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[Ln \left[\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{1}{\sqrt{1+h}} Ln \left[\frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \right]$$

K_i = Factor de corrección de geometría de malla, definido por:

$$K_i = 0.656 + 0.172n$$

donde:

D = Espaciamiento entre conductores paralelos

n = Cantidad de conductores paralelos en una de las direcciones.

Cuando se trate de mallas rectangulares con conductores en ambas direcciones igualmente espaciados (malla cuadrada), el valor n para cálculos de E_m será la media geométrica del número de conductores en ambas direcciones:

$$n = \sqrt{n_1 n_2}$$

El potencial de paso se calcula de la siguiente expresión:

$$E_s = \frac{K_v K_i \rho I_g}{L + 1.15L_v}$$

donde:

K_v = Factor de espaciamiento para voltaje de paso, el cual es definido mediante la siguiente expresión:

$$K_v = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Cuando se trate de mallas rectangulares, con conductores en ambas direcciones igualmente espaciados (malla cuadrada), el valor de n para los cálculos de E_s será el mayor de ambas direcciones.

$$n = \text{Máximo} (n_1, n_2)$$

II.7.7 Comparación de los Potenciales de Paso y Contacto.

En este paso se realiza una comparación de los potenciales de contacto y de paso de la malla, con los potenciales de contacto y de paso permisibles. Si los potenciales de paso y de contacto de malla son menores de los permisibles se puede pasar a la siguiente etapa, en caso contrario el diseño preliminar tendrá que modificarse.

II.7.8. Modificación de la Red.

Cuando se requiere modificar el diseño preliminar de la red se pueden tomar las siguientes acciones como contramedida para mejora:

- Incluir más conductores paralelos.
- Disminuir el espaciamiento entre conductores.

- Incrementar el área de la malla si es posible.
- Incrementar la profundidad de la red.
- Incrementar la sección del conductor.

CAPITULO III.

Normatividad aplicable a redes de puesta a tierra

III.1 Introducción.

Con el incremento en el empleo de sistemas de cómputo y telecomunicaciones más sofisticados, veloces y sensibles, se ha hecho necesario y fundamental contar con sistemas de suministro de energía más confiables y seguros. Una parte fundamental para la adecuada operación de las instalaciones eléctricas, es el buen diseño de dichas instalaciones, así como la correcta instalación, operación y manipulación de los equipos que operan con energía eléctrica.

Para llegar a cumplir con este objetivo, cada país ha formulado un conjunto de normas, las cuales tienen la finalidad de establecer especificaciones de carácter técnico y de seguridad para sus instalaciones eléctricas, teniendo como objetivo principal proteger la vida de las personas, así como los equipos que la gente utiliza y manipula. Los requisitos que se estipulan en las normas se deben cumplir en todas las instalaciones de suministro y de uso de energía eléctrica, como requisitos de seguridad mínimos. Generalmente al cumplir con éstas, se obtiene un servicio satisfactorio. Sin embargo, esto no quiere decir que su cumplimiento necesariamente nos dé las condiciones óptimas de servicio. Tampoco se debe pensar que al llenar los requisitos y seguir las recomendaciones, se podrá incrementar la eficiencia y conveniencia del sistema, adecuar la instalación eléctrica para un buen servicio o hacer un futuro incremento en la demanda total de la carga. Si se emplean tolerancias en los diseños y sus valores, además de tomar en cuenta futuros aumentos de carga, se obtendrá un mejoramiento de la calidad del servicio.

Las normas no están pensadas como un manual de diseño, ni como un instructivo para personas no calificadas, tampoco para resolver problemas durante la etapa de diseño o en la obra de la instalación. Todos estos problemas deben ser resueltos por ingenieros o técnicos calificados, según del caso que se trate, ya sea durante la planeación o en campo. En algunos

casos dan recomendaciones que conducen generalmente a resultados satisfactorios. Las normas son referencias que se deben seguir para asegurar un funcionamiento seguro del equipo, sin peligro para las personas o para el propio equipo. Para los equipos, condiciones y ocupaciones especiales, como en el caso de los elevadores, laboratorios, etc., se tienen normas específicas elaboradas por especialistas en cada área.

Las normas técnicas para el uso y suministro de energía eléctrica son aplicables en:

1. Cualquier instalación cuya función sea el suministro y uso de energía eléctrica.
2. Subestaciones y plantas de emergencia propiedad de los usuarios de la red de suministro. Instalaciones que utilizan energía eléctrica en cualquiera de sus tensiones habituales de operación, incluyendo la instalación de los equipos que el usuario conecta a éstas.
3. Líneas eléctricas aéreas y subterráneas que conducen la energía eléctrica, de servicio público u otro tipo de instalación, así como sus equipos.

Siendo que nuestro país forma parte del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, consideramos importante y necesaria la homologación de las normas técnicas usadas en los países involucrados en este acuerdo. Por otro lado, un porcentaje bastante importante del equipo de telecomunicaciones y cómputo utilizado en México es de importación o de patente extranjera, por esto, para este capítulo se consultaron las normas eléctricas de México, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, con el fin de identificar la normatividad de redes de tierra en general, y de telecomunicaciones y cómputo en particular. De este análisis generamos tablas comparativas, con el objeto de tener una guía rápida para la identificación de cada uno de los puntos principales de la puesta a tierra de los equipos en cada una de las normas.

Las normas eléctricas consultadas son:

- a) Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEDE-1999). (México)
- b) National Electric Code 1996. (Estados Unidos de Norteamérica)
- c) Canadian Electrical Code, Part 1. Safety Standard for Electrical Installations C22.1-98. (Canadá)

En este capítulo analizamos la estructura general de cada una de las normas mencionadas, enseguida resumimos los puntos específicos a la puesta a tierra de los equipos, además de la normatividad referente a sistemas de comunicaciones y de cómputo. Este análisis se basa principalmente en la norma NOM y la NEC, ya que tienen una estructura similar y contemplan

básicamente los mismos puntos. En el presente capítulo se seguirá la nomenclatura de los artículos de estas normas, referenciándolos a la norma canadiense en las tablas comparativas al final del capítulo. Cabe aclarar que la NOM y la NEC siguen una numeración consecutiva para designar los subartículos, pero en ocasiones existen saltos en esta numeración, sin que se indique por que no existe tal subartículo en particular. En el resumen presentado en este capítulo seguimos la misma nomenclatura, por lo que los subartículos no mencionados no existen en la nomenclatura original de la norma.

III. 2 Análisis de la estructura general de las normas (NOM, NEC, CSA).

III.2.1 Norma Oficial Mexicana (NOM).

La Norma Oficial Mexicana, que por razones de aplicación local tomaremos como referencia en este trabajo, se compone de una introducción y catorce capítulos; y está dividida en dos partes:

La primera parte se refiere a las disposiciones técnicas que se deben de respetar en las instalaciones eléctricas (capítulos 1 al 9) y son de aplicación general para locales; ambientes, equipos y condiciones especiales; sistemas de alumbrado público y sistemas de comunicación; diseño y protección de instalaciones eléctricas; métodos de instalación y materiales; así como equipos de uso general. La NOM contiene un capítulo especial con las tablas correspondientes a esta parte (capítulo 10).

La segunda parte está formada por las disposiciones técnicas que se deben aplicar en la instalación de líneas aéreas y subterráneas (de suministro público), subestaciones eléctricas, transportes eléctricos y otras líneas eléctricas y de comunicación que se instalan en la vía pública, y otras instalaciones propiedad de los usuarios, tomando en cuenta que son mantenidas y manipuladas por personal capacitado y especializado en cada ramo (capítulos 21, 22, 23, y 24).

III.2.2 National Electric Code (NEC).

Este código se compone de una introducción y nueve capítulos. Los capítulos 1, 2, 3, y 4 son de aplicación general; los capítulos 5, 6, y 7 son aplicables para ocupaciones y equipos especiales así como para otras condiciones de carácter especial, también estos capítulos complementan o modifican y, en algunos casos, reforman las reglas generales con ciertas

condiciones particulares.

El capítulo 8 se refiere a los sistemas de comunicaciones y es independiente de los demás capítulos, excepto donde se hace una mención especial. El capítulo 9 sólo consiste de tablas y ejemplos.

III.2.3 Canadian Electrical Code, Parte I. Safety Standard for Electrical Installations (CSA). C22.1-98.

Este es un código voluntario, para adopción o imposición por las autoridades de control. Está dividido en secciones numeradas, cada una cubre alguna división del trabajo en forma específica. Las secciones se dividen en reglas numeradas.

Este código cubre todo tipo de trabajo eléctrico y todo equipo eléctrico en operación o que pretenda ser operado a todos los voltajes, en instalaciones eléctricas para edificios, estructuras y establecimientos, incluyendo estructuras reubicables y no reubicables construidas en fábrica, barcos marinos, auto propulsados estacionados por períodos que excedan los cinco meses y conectados a una fuente de alimentación en la costa en forma continua, o de vez en cuando.

Excepciones:

- a) Instalación o equipo utilizado en un sistema eléctrico, de comunicación o antena de distribución comunitaria, en el ejercicio de su función utilitaria y ubicada en el exterior o en un edificio o secciones de edificios usados para ese propósito.
- b) Equipo e instalaciones que se usan en la operación de un tren eléctrico y están alimentadas exclusivamente desde circuitos que alimentan la potencia motriz
- c) Instalaciones o equipos usados para propósitos de comunicación y señalización de trenes y ubicados en exteriores o en edificios o en secciones de edificios utilizados exclusivamente para dicha función.
- d) Aeronaves.
- e) Sistemas eléctricos en barcos, los cuales están regulados por las normas eléctricas de seguridad en barcos, rama de seguridad en navíos y guardia costera canadiense. Para minas, canteras y presas se aplican también las normas CSA CAN/CSA-M421.

Este código está compuesto por las siguientes secciones de nuestro interés: 0.- Objetivo, alcance y definiciones; 2.- reglas generales; 10.- Puesta a tierra y puentado; 12.- Métodos de alambrado; 26.- Instalación de equipo eléctrico; 60.- Sistemas de comunicación eléctrica.

Asimismo cuenta con una sección de tablas, diagramas y un apéndice. Las otras secciones se refieren en forma muy específica a otros temas que no son el objeto de este trabajo.

Solo se incluye en este capítulo de la tesis, los artículos necesarios para las instalaciones que cuentan con sistemas de cómputo y telecomunicaciones, con el número que le corresponde a cada artículo en la NOM, pues son los que tienen relación con nuestro trabajo. Por lo tanto sólo se analizan los artículos siguientes:

- a) Artículo 100. Definiciones.
- b) Artículo 200. Uso e identificación de los conductores puestos a tierra.
- c) Artículo 250. Puesta a tierra.
- d) Artículo 645. Equipos de procesamiento de datos y computo electrónico.
- e) Artículo 800. Circuitos de comunicación.

III. 3 Definiciones (Art. 100).

Tomando en cuenta que las normas se redactan para hacerlas accesibles a cualquier persona, así como para establecer una uniformidad en cuanto a la correcta definición de los conceptos mencionados en ella, y que en un momento dado pudiesen causar confusión, este artículo menciona las definiciones de los términos técnicos que se emplean, estas definiciones se deben tomar en cuenta para la correcta aplicación de las normas técnicas.

El capítulo 2 de las normas NOM y NEC se refiere al diseño y protección de las instalaciones eléctricas y en varios de sus artículos se especifican los asuntos relacionados con los sistemas de tierras, de los cuales a continuación se mencionan los artículos involucrados.

III. 4 Uso e Identificación de los conductores puestos a tierra. (Art. 200).

- **Alcance (200-1).** En este capítulo se establecen los requisitos de identificación de terminales, conductores puestos a tierra en los sistemas de alumbrado y construcciones en general e identificación de conductores puestos a tierra.
- **Generalidades (200-2).** Toda instalación eléctrica se debe aterrizar por medio de un conductor bien identificado. Si se tiene un cable de puesta a tierra aislado, su aislamiento debe ser capaz de soportar el voltaje más alto de los conductores activos del circuito.

- **Conexión a sistemas puestos a tierra (200-3).** Solo se conectará una carga al sistema de distribución, si el sistema de distribución cuenta con un conductor aterrizado para cada conductor puesto a tierra del inmueble.
- **Medios de identificación de los conductores puestos a tierra (200-6).** Los conductores de puesta a tierra de calibre menor al No.6, deben ser de color gris o blanco. Si son mayores del No.6, también se pueden identificar con una marca blanca en sus extremos. Esto se aplica a los conductores de puesta a tierra del sistema y para sistemas diferentes colocados en la misma canalización. Para cables flexibles, el cable aislado que se aterrice también debe ser blanco. Los multiconductores del No.4 o mayores pueden tener una línea que identifique el de tierra.
- **Uso de los colores blanco o gris natural (200-7).** Sólo se deben utilizar para conductores puestos a tierra los colores blanco o gris natural o marcas de color blanco o gris natural en los extremos. En el caso de utilizar conductores de color blanco o gris como activos, se deben identificar muy claramente, o en el caso de alimentar interruptores monopolares de tres o cuatro vías, pero no para alimentar otro desde uno de ellos.
- **Medio de identificación de terminales (200-9).** Las terminales donde se conectan los cables de puesta a tierra se deben de marcar de color blanco y las demás de diferente color. Si sólo personal especializado tiene acceso a las instalaciones, las terminales pueden ser permanentemente identificadas durante la instalación con un distintivo blanco o algún otro medio eficaz.
- **Identificación de terminales (200-10).** Para tener una identificación clara es necesario marcar las terminales de los dispositivos para fijar los conductores que serán conectados a más de un circuito. Excepciones: 1) En el caso que sea obvia la conexión eléctrica de la terminal que está conectada al conductor de puesta a tierra. 2) Las terminales de los tableros derivados de aparatos y alumbrado. 3) Los dispositivos cuyo valor normal de corriente sea mayor a 30 A, distintas a las clavijas polarizadas y los contactos polarizados para las clavijas. En los contactos y clavijas polarizadas se debe de identificar la terminal para conectar el conductor puesto a tierra e identificarlo de color blanco. La identificación debe estar hecha por medio de un metal o un revestimiento metálico con la palabra "blanco" ubicada junto a la terminal, o bien de color blanco.

Si la terminal no está visible, la entrada para la conexión debe ser de color blanco o estar marcado con la palabra "blanco". Esto no es necesario para clavijas no polarizadas de dos conductores.

En los aparatos que cuentan con un dispositivo de conexión o protección contra sobrecorriente monopolar o algún portalámparas de rosca, que se conecte a tierra, se debe identificar la terminal del conductor del circuito puesto a tierra por medio de alambrado permanente e instalando clavijas y cordones de más de tres conductores, incluyendo el de puesta a tierra del equipo.

• **Polaridad de las conexiones (200-11).** Ninguno de los conductores puestos a tierra debe depender de cualquier terminal o carga, de modo que se pudiese invertir la polaridad.

III. 5 Circuitos derivados (Art. 210).

• **Generalidades (210-1).** Las disposiciones de este artículo se aplican a los circuitos derivados, excepto motores y celdas electrolíticas que se tratan por separado.

• **Otros artículos referentes a circuitos derivados (210-2).** Indica en una tabla los artículos y secciones donde se especifican los requisitos de los diferentes tipos de cargas, según sus características. Para ciertos circuitos derivados que alimentan circuitos específicos existen disposiciones que se deben aplicar y que se enuncian en otros artículos, complementándose con esta sección, siendo éste nuestro caso. Los referentes a la parte que nos interesa son:

- Equipos de procesamiento de datos y cómputo electrónico: sección 645-5.

- Circuitos de comunicación: sección 800.

• **Clasificación (210-3).** Estos circuitos son clasificados de acuerdo con el ajuste de su dispositivo de protección contra sobrecorriente o a su capacidad.

• El **subartículo 210-4** se refiere a los circuitos derivados multiconductores.

• **Colores para circuitos derivados (210-5).** Se debe identificar el conductor de puesta a tierra de un circuito derivado de color blanco o gris natural. Si se requiere de un conductor de puesta a tierra, cuando por la misma canalización o caja de conexión pasen conductores de distintos circuitos, éste debe tener la cubierta de color blanco con una franja de un color llamativo (no de color verde) a lo largo de todo el conductor. No se incluye el caso en que los conductores

neutros con pantalla metálica o aislamiento tipo mineral se deben marcar en sus extremos durante la instalación.

Cuando se trate de un conductor de puesta a tierra de un equipo de un circuito derivado, y este cable no esté desnudo, debe de ser identificado con color verde o verde con una franja de color amarillo. No es el caso cuando se permite internamente en los equipos el alambrado con estos mismos colores, siempre y cuando no se use como conexión a los conductores de un circuito derivado, y algunos otros casos que se especifican más adelante.

• El subartículo 210-6 se refiere a la tensión máxima de los circuitos derivados

• **Medios de conexión (clavijas y contactos) (210-7).** Cuando se instalan clavijas y/o contactos en circuitos derivados de 15 a 20 A, deben ser del tipo de puesta a tierra. Estos deben instalarse con la capacidad adecuada y aterrizarse en forma efectiva, si son del tipo de puesta a tierra. No se incluyen los casos siguientes: 1) Cuando se reemplacen contactos con interruptor protector contra fallas a tierra, se deben de aterrizar sus terminales de puesta a tierra, por medio del conductor de puesta a tierra del equipo, del circuito que los alimenta. 2) Al reemplazar un contacto no aterrizado, se deben de cambiar por los antes mencionados.

Si se usan contactos del tipo que tienen interruptor de falla se deben de cambiar por unos del mismo tipo.

Notas a este respecto:

- ✓ No se debe conectar el cable de puesta a tierra del contacto del tipo con interruptor de falla a tierra a cualquier carga que éste alimente.
- ✓ Cuando se tengan contactos del tipo no puesto a tierra, se pueden cambiar por los del tipo de puestos a tierra, si el circuito del que se alimentan tiene un interruptor contra falla a tierra. El contacto se debe marcar como PCFT (protegido contra falla a tierra).
- ✓ Los contactos de los diferentes circuitos con diferentes tensiones, frecuencia y tipos de corriente, deben estar diseñados para no ser iguales y así evitar un posible cambio de lugar.
- ✓ La instalación de contactos aterrizados no debe ser requisito para que todos los equipos conectados por medio de cordón y clavija sean del tipo puesto a tierra.

III. 6 Puesta a Tierra (Art. 250).

• **Campo de acción (250-1).** Aquí se establecen los requisitos de la puesta a tierra y el puentado de las instalaciones eléctricas, así como algunas disposiciones específicas: 1)

Circuitos y equipos donde se permite la puesta a tierra. 2) Conductor que debe ponerse a tierra en los sistemas puestos a tierra. 3) Colocación de las conexiones de los sistemas de puesta a tierra. 4) Tipos y calibres de los conductores, electrodos de puesta a tierra de los puentes de unión. 5) Métodos para la puesta a tierra y conexión de los puntos de unión. 6) Casos en que los resguardos, la separación y el aislamiento se pueden sustituir por la puesta a tierra

Los equipos y las instalaciones se refieren a tierra con el fin de limitar las sobretensiones que se presentan cuando ocurren descargas atmosféricas, fenómenos transitorios ocurridos en los circuitos o contactos accidentales con circuitos de mayor voltaje, y también para estabilizar la tensión a tierra en condiciones normales de operación.

Los sistemas y circuitos conductores se ponen a tierra de manera sólida para que se facilite la acción de los dispositivos de sobrecorriente cuando se presentan fallas a tierra.

El objetivo de poner a tierra los materiales conductores que contienen a los conductores y equipos o que son parte de ellos, es para limitar la tensión a tierra de dichas partes conductoras y así facilitar la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, al ocurrir una falla a tierra.

• **Otros artículos aplicables (250-2).** Estos artículos son adicionales o modifican a lo mencionado en este artículo:

- ✓ Circuitos de Comunicación- Artículo 800.
- ✓ Computadoras electrónicas/equipo procesador de datos- Sección 645-15.

III.6.1 Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos.

• **Sistemas de corriente directa (250-3).** Los sistemas de c.d. de dos y tres hilos que alimenten circuitos principales deben ser puestos a tierra. Con excepción de los sistemas que funcionan a menos de 50 V entre fases o a más de 300 V entre fases o los sistemas de c.d obtenidos de un rectificador alimentado por un sistema de c.a. que cumple con lo especificado en el artículo 250-5.

• **Circuitos y sistemas de corriente alterna (250-5).** Se deben poner a tierra los circuitos y sistemas de corriente alterna, con las condiciones siguientes:

- ✓ Circuitos de corriente alterna entre 50 V y 1 kV. Si los circuitos tienen entre 50 V y 1 kV estarán puestos a tierra en los casos siguientes: 1) Si se pone a tierra de tal manera que la

tensión máxima a tierra de los conductores sin conexión a tierra no sea mayor de 150 V.
2) Si se conecta el sistema en 3 fases y 4 hilos, y como conductor del circuito el neutro...3)
Si se conecta en delta 3 fases y 4 hilos, y en una de las fases el punto medio es usado
como conductor del circuito. 4) En el caso que el conductor de acometida no esté aislado.

Excepción 1. Circuitos en derivación separada cuya alimentación es por transformador con alimentación menor de 1 kV, si cumple con lo siguiente:

- a. Solo se usa el sistema para circuitos de control.
- b. Si se asegura que solo personal calificado atenderá la instalación.
- c. El sistema de control requiera continuidad de servicio.
- d. Son usados detectores de tierra.

Excepción 2. Sistemas aislados. Se logra una protección adicional, empleando adecuadamente detectores de falla a tierra.

Excepción 3. Si se limita la corriente de falla a tierra a un valor menor, usando sistemas neutros puestos a tierra de alta impedancia, normalmente una resistencia. Estos podrán ser para sistemas alternos trifásicos de 480 VA / 1 kV si se cumple con lo siguiente:

- a. Solo personal calificado manejará las instalaciones.
- b. Se requiere alimentación continuamente.
- c. Si se instalan detectores a tierra en el sistema.
- d. Si no se alimentan las cargas a la línea neutra.

✓ Sistemas de corriente alterna de 1000 V o mayores. Los sistemas de 1000 V o más alimentando equipo móvil o portátil se pondrán a tierra como lo marca el subartículo 250-154. Cuando alimenten equipos que no sean portátiles se deberá poner a tierra el sistema, cumpliendo las disposiciones aplicables de este artículo.

✓ Sistemas Derivados Separadamente. Un sistema de circuito principal alimentado de un generador, transformador o convertidor, y que no tenga ninguna conexión eléctrica directa, incluyendo un conductor sólidamente aterrizado para alimentar conductores que se originan en otro sistema, se pondrá a tierra como lo pide la sección 250-26.

Nota 1: Una fuente de poder alterna para c.a., como un generador fijo, no es un sistema derivado separadamente si el neutro está sólidamente interconectado al sistema neutro alimentador de la acometida.

- **250-6. Generadores portátiles y montados sobre vehículos.**
- **250-7. Circuitos que no deben ser puestos a tierra.**

III.6.2. Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas.

- **Corrientes indeseables en los conductores de puesta a tierra (250-21).**
 - a) Arreglo para prevenir una corriente inadmisibles.- Se deben instalar y disponer los cables de puesta a tierra del circuito, los conductores de los circuitos, pararrayos, materiales y partes conductoras que no transportan corriente, de manera que no haya circulación de corrientes indeseables en los conductores de puesta a tierra o en su trayectoria.
 - b) Modificaciones para eliminar una corriente inadmisibles.- Si se tienen pasos indeseables de corriente en conexiones múltiples a tierra, se pueden hacer ciertas modificaciones de acuerdo con los requisitos aquí establecidos:
 1. Sin desconectar todas las conexiones, desconectar una o más de ellas.
 2. Reubicar las conexiones a tierra.
 3. Desconectar el conductor que une las conexiones de puesta a tierra.
 4. Realizar cualquier otra acción que satisfaga a la unidad verificadora y a la autoridad competente.
 - c) Corrientes temporales no clasificadas como corrientes inadmisibles- No se consideran inadmisibles, por lo antes especificado, todas aquellas corrientes de tiempo determinado que son el resultado de accidentes, como lo pueden ser fallas a tierra, pues ocurren sólo cuando los conductores de puesta a tierra realizan sus funciones de protección.
 - d) Límites a las alteraciones permitidas.- Lo señalado en esta sección no se debe considerar permitido en circuitos de c.a. que operan en equipo electrónico o circuitos derivados, puestos a tierra como es requerido.
- **Puntos de conexión para sistemas de c.d. (250-22).** Los sistemas de c.d. que requieran aterrizar, deben tener sus conexiones a tierra en una o más estaciones de suministro. No se debe conectar a tierra en acometidas individuales, así como tampoco en ningún punto de las instalaciones de la propiedad, a menos que la fuente del sistema de c.d. esté localizada en los propios circuitos.

• **Puesta a tierra de los sistemas de c.a. alimentados por una acometida (250-23).**

a) **Conexiones para la puesta a tierra del sistema.**- Cuando una acometida de c.a. alimenta un circuito principal y se tenga que poner a tierra, debe tener en cada acometida un conductor conectado a un electrodo de puesta a tierra, que cumpla con lo dispuesto en las secciones 250-81 a la 250-84. Se conectará el conductor del electrodo de puesta a tierra con el conductor neutro de la acometida en un lugar accesible, ubicado en cualquier punto entre el extremo de la carga del conductor de acometida exterior (aérea o subterránea) e incluyendo las terminales o bus en donde se conecta el conductor de aterrizaje de la acometida al medio de desconexión de ésta. Cuando el transformador de alimentación esté fuera del edificio, al menos una conexión a tierra adicional debe ser realizada desde el conductor de aterrizaje de la acometida hasta un electrodo de aterrizaje, ubicado en el transformador o en cualquier lugar fuera del edificio. No está permitido hacer cualquier conexión a tierra en ningún conductor puesto a tierra del circuito en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida.

Excepciones:

1. A un conductor de electrodo de aterrizaje se debe conectar el conductor neutro de los sistemas derivados por separado, de acuerdo a lo especificado en la sección 250-26(b).
 2. Cada instalación de edificio se conectará a un conductor de puesta a tierra, según 250-24.
 3. Para cajas de medidores.
 4. Se permitirá para servicios con doble alimentación en cubierta común o agrupados juntos en cubiertas separadas y que usen un empate secundario, una conexión a un electrodo de aterrizaje al punto de empate de los conductores del circuito de aterrizaje de cada fuente de alimentación.
 5. Cuando un puente de unión principal es un cable o una barra (bus), y es instalado desde la barra o bus neutro hasta la terminal (barra o bus) de aterrizaje del equipo de la acometida, será permitido conectar el conductor del electrodo de aterrizaje a la barra o bus terminal de aterrizaje del equipo en el cual es conectado el puente de empate.
 6. Para sistemas de neutro de alta impedancia puestos a tierra, de acuerdo con los requisitos de puesta a tierra contemplados en la sección 250-27.
- b) **Conductor aterrizado llevado hasta el equipo de acometida.**- Cuando un sistema de c.a. que este operando a menos de 1 kV esta aterrizado en cualquier punto, el conductor de

aterrizaje debe ir hasta cada medio de desconexión de cada acometida y debe estar unido o empataado a cada caja del medio de desconexión. Este conductor debe ser cableado con los conductores de fase y su calibre no debe ser menor que el calibre del conductor del electrodo de aterrizaje requerido indicado en la tabla 250-94, y adicionalmente para calibres de conductores de fase de la acometida mayores de 1100 Kcmil de cobre o 1750 Kcmil de aluminio, el conductor de aterrizaje no debe ser menor al 12.5 % del área del mayor conductor de fase. Cuando los conductores de fase de la acometida estén en paralelo, el calibre del conductor de aterrizaje deberá estar basado de acuerdo con el área equivalente para conductores paralelos como se indica en esta sección.

Excepciones:

1. El conductor de aterrizaje no requiere ser de calibre mayor que el mayor conductor de fase de acometida no aterrizado.
2. Sistemas de neutro aterrizado de alta impedancia.
3. Donde se localiza más de un medio de desconexión de acometida en un conjunto catalogado para uso como equipo de acometida, un conductor aterrizado debe ser cableado hasta el conjunto y este debe ser empataado o unido con la caja de montaje.

Área de la sección transversal del conductor mayor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo		Área de Electrodo en Kcmil de Cobre o Aluminio	
Cobre (mm ²)	Aluminio (mm ²)	Cobre (mm ²)	Aluminio (mm ²)
Hasta 33.62	Hasta 53.48	8.367	13.30
más de 33.62 hasta 53.48	más de 53.48 hasta 85.01	13.30	21.15
más de 53.48 hasta 85.01	más de 85.01 hasta 126.7	21.15	33.62
más de 85.01 hasta 177.3	más de 126.7 hasta 253.4	33.62	53.48
más de 177.3 hasta 304.0	más de 253.4 hasta 456.0	53.48	85.01
más de 304.0 hasta 557.4	más de 456.0 hasta 886.5	67.43	107.2
más de 557.4	más de 886.5	85.01	126.7

Tabla 250-94 Conductor para electrodo de aterrizaje en sistemas de c.a.

- En el subartículo 250-24 se encuentra lo relacionado a sistemas de tierra para dos o más inmuebles o estructuras que se alimentan por medio de una acometida común.

• **Conductor que debe ser puesto a tierra en sistemas de c.a. (250-25).** Para locales con sistemas de alambrado de c.a. el conductor aterrizado debe ser como se especifica a continuación:

1. Monofásicos de dos hilos: un conductor.
2. Monofásicos de tres hilos: el conductor neutro.
3. Polifásicos que tienen un cable común a todas las fases: el conductor común.
4. Polifásicos que requieren una fase aterrizada: un conductor de fase.
5. Polifásicos en los cuales una fase es usada como en (2): el conductor neutro.

Los conductores aterrizados se deben identificar por los medios antes mencionados en el artículo 200.

• **Puesta a tierra de sistemas de c.a. derivados separadamente (250-26).** Un sistema de c.a. derivado por separado que se requiere aterrizado, debe ser aterrizado como se estipula a continuación:

- a) Puente de unión.- Se debe usar un puente de unión, dimensionado de acuerdo con la sección 250-79, para los conductores de fase derivados, con el propósito de conectar los conductores de aterrizaje del equipo del sistema en derivación, al conductor aterrizado. Esta conexión debe ser realizada en cualquier punto del sistema derivado por separado, desde la fuente al primer medio de desconexión del sistema o al dispositivo de sobrecorriente; o éste será realizado en la fuente del sistema derivado por separado, que no cuente con medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.

Excepciones:

1. El tamaño del puente de unión para un sistema que alimenta un circuito de control o señalización clase 1, 2 ó 3 y está derivado de un transformador de capacidad no mayor de 1 kVA, no debe ser menor que los conductores de fase derivados y no deben ser menores de calibre 14 AWG de cobre o 12 AWG de aluminio.

2. Para sistemas de neutro aterrizado de alta impedancia.

- b) Conductor de electrodo de puesta a tierra.- Un conductor de electrodo aterrizado para los conductores de fase derivados, debe ser usado para conectar el conductor aterrizado del sistema derivado, al electrodo puesto a tierra. Excepto con lo permitido en el artículo 250-23. Esta conexión debe ser realizada en cualquier punto en el sistema derivado por separado, desde la fuente hasta el primer medio de desconexión del sistema o el dispositivo de sobrecorriente; o éste debe ser hecho en la fuente del sistema derivado por

separado, que no tiene medio de desconexión o dispositivos de sobrecorriente.

Excepción: Un conductor de electrodo aterrizado no se requiere para sistemas que alimentan circuitos de control y señalización de clase 1, 2, ó 3, y está derivado de un transformador de capacidad no mayor de 1 kVA, si y sólo si el conductor de aterrizaje del sistema se conecta a la carcasa del transformador y que la carcasa del transformador se aterrice.

- c) Electrodo de puesta a tierra.- El electrodo de aterrizaje debe estar tan cerca como sea factible y de preferencia en la misma área que la conexión del conductor del electrodo de aterrizaje del sistema. El electrodo de aterrizaje estará aterrizado efectivamente lo más cerca disponible de alguna parte de la estructura; o aterrizado efectivamente lo más cerca posible de un tubo de agua; en caso de que no se cuente con los anteriores, se colocaran algunos electrodos artificiales.
- d) Métodos de puesta a tierra.- Los métodos de puesta a tierra deben cumplir con los requisitos dispuestos en otras partes del código.

• **Sistema de conexiones de neutro aterrizado de alta impedancia (250-27).** Los sistemas con neutros aterrizados de alta impedancia deben cumplir con las condiciones siguientes:

- a) Localización de la impedancia puesta a tierra.- La impedancia de aterrizaje debe ser instalada entre el conductor del electrodo de aterrizaje y el sistema neutro. Cuando un neutro no este disponible, la impedancia de aterrizaje se deberá instalar entre el conductor del electrodo de aterrizaje y el neutro derivado de un transformador aterrizado.
 - b) Conductor neutro.- Debe estar totalmente aislado el conductor neutro, desde el punto neutro de un transformador o un generador a su punto de conexión a la impedancia de aterrizaje. El conductor neutro debe tener una capacidad de conducción no menor de la corriente nominal máxima de la impedancia de aterrizaje. De ninguna manera el conductor neutro debe ser menor del No.8 AWG de cobre o No.6 AWG de aluminio.
 - c) Conexión del sistema neutro.- El conductor del sistema neutro no se debe conectar a tierra excepto a través de la impedancia de aterrizaje.
- Nota: La impedancia normalmente se selecciona para limitar la falla a tierra a un valor ligeramente más alto o igual a la corriente capacitiva de la carga del sistema. Este

valor de impedancia también limitará el transitorio de sobrevoltaje a valores seguros.

- d) Cableado del conductor neutro.- Se permitirá cablear el conductor que une el punto neutro del generador o transformador a la impedancia de aterrizaje, por un ducto por separado. No se requiere cablear este conductor con los de fase al primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.
- e) Puente de unión al equipo.- El puente de unión del equipo, la conexión entre el conductor de aterrizaje del equipo y la impedancia de puesta a tierra, debe ser un conductor sin empalme cableado desde el primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente al lado aterrizado de la impedancia de puesta a tierra.
- f) Ubicación del conductor del electrodo de puesta a tierra.- El conductor del electrodo de aterrizaje se debe conectar a cualquier punto, desde el lado aterrizado de la impedancia de puesta a tierra a la conexión de puesta a tierra del equipo, en el equipo de acometida o el primer medio de desconexión del sistema.

III.6.3 Puesta a tierra de gabinetes.

- **Ductos y canalizaciones de alimentación (250-32).** Los ductos metálicos y canalizaciones para los conductores de alimentación del edificio y del equipo deben estar aterrizados.
- **Otros ductos de conductores y canalizaciones (250-33).** Los ductos metálicos y canalizaciones para otros conductores que no sean los de acometida deben estar aterrizados.

Excepciones:

1. No se requiere que estén aterrizados los ductos metálicos y canalizaciones para conductores adicionales en instalaciones existentes de circuitos al aire libre, o a la vista sobre aisladores y con cubierta no metálica que no aterrizan el equipo, si se cablean en menos de 7.62 m, si están libres de probable contacto con tierra, metal aterrizado, listón metálico u otros materiales conductores, y si se protegen contra todo contacto de las personas.
2. Secciones cortas de ductos metálicos o canalizaciones usadas para dar soporte o protección de conjuntos de cables contra daños físicos.
3. Un codo metálico que se coloca en una instalación subterránea de tubo rígido no metálico y

que esté aislado de cualquier posible contacto a una distancia mínima de 45.7 cm de cualquier parte del codo.

III.6.4 Puesta a tierra de los equipos.

- **Equipos fijos o conectados por métodos de alambrado permanente (250-42).** Las partes metálicas expuestas de equipos fijos que no conduzcan o que pudiesen llegar a conducir corriente, se deben aterrizar bajo cualquiera de las condiciones siguientes:
 - a) Cuando se encuentren a una distancia de 2.44 m verticalmente o 1.52 m horizontalmente de tierra u objetos metálicos aterrizados y con riesgo de contacto de seres humanos.
 - b) Lugares húmedos o mojados y no aislados.
 - c) Cuando haya contacto eléctrico con metales.
 - d) Cuando estén en lugares clasificados como peligrosos.
 - e) Cuando se alimenten equipos con cables con revestimiento o cubierta de metal, ducto metálico u otro método de alambrado que proporcione una puesta a tierra del equipo, con excepción de lo que se permite para secciones cortas de ducto.
 - f) Cuando el equipo trabaja con cualquier terminal arriba de 150 V a tierra. En este inciso se tienen las siguientes excepciones:
 - 1. Estructuras metálicas, excepto con permiso especial. En cuyo caso las estructuras deben estar permanente y efectivamente aisladas de tierra.
 - 2. Equipo clasificado protegido por un sistema de doble aislamiento, o su equivalente, no se requiere que esté aterrizado. Cuando semejante equipo esté utilizado, el equipo debe estar inconfundiblemente marcado.

- **Equipos fijos conectados por métodos de alambrado permanente (250-43).** Las partes metálicas que no conducen corriente de los tipos de equipos descritos a continuación, deben de aterrizarse no importando el voltaje de alimentación.
 - a) Estructuras y gabinetes de tableros de control.- Gabinetes de tableros de control (de distribución) y estructuras que sujetan interruptores. A excepción de gabinetes de tableros de control de c.d. de 2 alambres efectivamente aislados de tierra.
 - b) Circuitos de control remoto de potencia limitada, señalización y alarma de incendio.- Los equipos alimentados por circuitos de potencia limitada clase 1, clase 2 y circuitos de señalización y control remoto clase 3, y por circuitos de alarma de incendio, se deben de

aterrizar cuando se requiera un sistema de puesta a tierra, requerido por la parte correspondiente de esta misma sección (III.6.1).

c) Luminarias.- Los accesorios luminosos se tratan en la parte E del artículo 410 (NOM y NEC).

• **Equipos no eléctricos (250-44).** Las partes metálicas de equipos no eléctricos descritos a continuación se deben de aterrizar.

a) Separaciones metálicas.- Separaciones metálicas, mallas metálicas, y cubiertas metálicas similares alrededor de equipos de 1 kV o más entre conductores, excepto subestaciones o en bóvedas bajo tierra controlados por la C.F.E. o Cía. de Luz.

• **Equipos conectados con cables y clavijas (250-45).** Cuando se trabaja a más de 150 V a tierra, las partes metálicas expuestas que no conducen corriente de equipos conectados con enchufe de cordón, y que pueden quedar energizadas, deben ser aterrizadas. Con excepción de los equipos clasificados, como los de procesamiento de datos, de información y de oficina, protegidos por un sistema de doble aislamiento, o su equivalente, no se requiere que estén puestos a tierra. Cuando se emplean estos sistemas, el equipo debe estar inconfundiblemente marcado.

• **Separación de los pararrayos (250-46).** Ductos metálicos, cajas o cubiertas, estructuras y otras partes metálicas de equipos eléctricos que no conducen corriente se deben de mantener al menos 1.83 m de distancia de los conductores que bajan de las varillas de pararrayos, o estos deben de estar unidos a los conductores de la varilla de pararrayos en el lugar donde la distancia de separación es menor de 1.83 m.

III.6.5 Métodos de puesta a tierra.

• **Conexiones del conductor de aterrizaje del equipo (250-50).** Las conexiones del conductor de aterrizaje del equipo en la fuente de sistemas derivados separadamente, se deben de realizar de acuerdo con la sección 250-26(a). Las conexiones del conductor de aterrizaje del equipo, en el equipo de acometida, se deben de realizar de acuerdo a lo que sigue:

a) Para sistemas aterrizados. La conexión se debe de hacer uniendo el conductor de aterrizaje del equipo al conductor aterrizado de la acometida y al conductor del electrodo de puesta a

tierra.

- b) Para sistemas no aterrizados.- La conexión se debe realizar uniendo el conductor de aterrizaje del equipo al conductor del electrodo de aterrizaje.

Excepción: Para cambio de tomacorrientes del tipo no aterrizado por tomacorrientes tipo aterrizados (polarizados) y para extensiones de circuitos en derivación, solo en instalaciones existentes que no tienen un conductor de aterrizaje del equipo en el circuito derivado, se permite que el conductor de aterrizaje de un tomacorrientes tipo aterrizado sea aterrizado a cualquier punto accesible en el sistema de electrodos de aterrizaje o a cualquier punto accesible en el conductor del electrodo de aterrizaje.

• **Trayectoria efectiva de puesta a tierra (250-51).** La trayectoria a tierra desde los circuitos, equipo y cubiertas metálicas para conductores debe: 1) ser permanente y eléctricamente continuo, 2) tener la capacidad para conducir en forma segura cualquier corriente de falla a tierra que pueda circular por ésta, y 3) tener una impedancia lo suficientemente baja para limitar una diferencia de potencial a tierra y para facilitar la operación de los dispositivos protectores del circuito. La tierra no se debe de utilizar como el único conductor de aterrizaje del equipo.

• **Trayectoria de puesta a tierra hacia el electrodo de aterrizaje en la acometida (250-53).**

- a) Conductor del electrodo de aterrizaje.- Un conductor del electrodo de aterrizaje se debe de usar para conectar los conductores de puesta a tierra del equipo, las cubiertas del equipo de la acometida y, cuando el sistema está aterrizado, el conductor aterrizado del equipo de acometida al electrodo de puesta a tierra. La excepción es lo mencionado en 250-27.

- b) Puente de unión principal.- Para un sistema de puesta a tierra, se debe usar un puente de unión principal no empalmado para conectar el conductor de aterrizaje del equipo y la caja del interruptor de acometida al conductor de aterrizaje del sistema, dentro de cada interruptor de acometida. Excepciones: 1) Cuando se coloque más de un interruptor de acometida en un gabinete clasificado como de uso para acometida, se requiere un conductor de aterrizaje alambrado a través del grupo y unido hasta la cubierta del conjunto. 2) Para sistemas de neutro aterrizado con impedancia.

• **Electrodo común de aterrizaje (250-54).** Cuando se conecta un sistema de c.a. a un electrodo de aterrizaje en un edificio, el mismo electrodo debe ser usado para aterrizar los

ductos de los conductores y equipo, dentro o sobre el edificio. Cuando se alimenta un edificio por medio de dos acometidas separadas, y se requiere que estén conectadas al electrodo de aterrizaje, se debe de usar el mismo electrodo. A dos o más electrodos de aterrizaje que están unidos en forma efectiva, se les considerará como un solo sistema de electrodo de puesta a tierra.

- **Cable de acometida subterránea (250-55).** Cuando se alimenta un edificio desde un sistema subterráneo de distribución continuo cuyos cables tengan cubierta metálica, dicha cubierta o armadura del cable subterráneo metálicamente conectado al sistema de distribución, o a la tubería de alimentación subterránea, no requiere estar aterrizado en el edificio y es permitido que esté aislado del interior de la tubería.
- **Secciones cortas de ductos o charolas (canalizaciones) (250-56).** Cuando se requiera que estén puestas a tierra las secciones aisladas de canalizaciones metálicas o armaduras de cable, se deben de aterrizar de acuerdo con la sección 250-57.
- **Puesta a tierra de equipos fijos o conectados por métodos de alambrado permanente (250-57).** Las partes metálicas de los equipos que no conducen corrientes, canalizaciones y otras cubiertas, cuando requieren estar aterrizados, se debe de realizar por uno de los siguientes métodos, con excepción de cuando el equipo, canalizaciones y cubiertas estén aterrizadas conectándolas al conductor del circuito de puesta a tierra.
 - a) Por cualquiera de los conductores de aterrizaje de equipos permitidos por la sección correspondiente (250-91(b)).
 - b) Para un conductor de aterrizaje del equipo (tierra física del equipo) contenido dentro de la misma canalización, cable, cordón o cableado de otra manera con los conductores del circuito, se pueden usar conductores desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores aislados o individualmente cubiertos deben tener un acabado exterior continuo que sea igualmente verde o con una o más líneas amarillas.

Excepciones:

1. Se permite que un conductor cubierto o aislado mayor del No. 6 de cobre o aluminio esté al momento de la instalación, permanentemente identificado en cada extremo y en cada punto donde el conductor esté accesible, como un conductor de puesta a tierra del

equipo. La identificación se debe llevar a cabo por uno de los siguientes métodos:

- a. Quitándole el forro o cubierta de la longitud completa expuesta
 - b. Pintando de color verde la cubierta o el aislamiento expuesto, o
 - c. Marcando el aislamiento expuesto o cubierta con cinta de color verde o cinta adhesiva de color verde.
2. El conductor de puesta a tierra se puede cablear por separado de los conductores del circuito solo en circuitos de c.d.
3. El conductor de puesta a tierra del equipo puede instalarse separado de los conductores del circuito, según 250-50 (a) y (b).
4. También está permitido que cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solo personal calificado va a darle servicio a la instalación, uno o más conductores aislados en un cable multiconductor, en el momento de la instalación, estén permanentemente identificados en cada extremo y en cada punto donde los conductores estén accesibles, como conductores de aterrizaje por uno de los medios siguientes:
- a. Retirando el aislamiento de la longitud completa expuesta.
 - b. Pintando el aislamiento expuesto de color verde.
 - c. Marcando el aislamiento con cinta verde o cinta adhesiva de color verde.

• **Equipo considerado efectivamente aterrizado (250-58).** Las partes metálicas de los equipos que no conducen corrientes, serán consideradas efectivamente puestas a tierra, bajo las condiciones especificadas a continuación:

a) Equipos fijos en soportes metálicos aterrizados.- Se considera efectivamente puesto a tierra, el equipo eléctrico que esté asegurado (fijo) y en contacto eléctrico con un bastidor o estructura proporcionado para su soporte. La estructura de un edificio, no se debe de usar como el conductor de puesta a tierra requerido para equipos de corriente alterna.

• **Equipo conectado por cordón y clavija (250-59).** Cuando se requiera poner a tierra, las partes metálicas de equipos que no conducen corriente conectados por clavija y cordón, se deben aterrizan por uno de los siguientes métodos:

a) Por medio de las cubiertas metálicas de los conductores que alimentan ese equipo, si se usa una clavija tipo polarizada, con una terminal puesta a tierra para aterrizan la cubierta metálica de los conductores. Si la cubierta metálica de dichos conductores es asegurada a

la clavija de conexión y al equipo por conectores aprobados por éstas normas.

- b) Por medio del conductor de puesta a tierra del equipo, instalado junto con los conductores de la fuente de alimentación, cordón flexible, propiamente terminado en una clavija de conexión tipo aterrizada (polarizada) con un contacto fijo puesto a tierra. Se permite un conductor aterrizado no aislado, pero si está individualmente cubierto, la cubierta debe tener un acabado externo continuo que sea igualmente verde o verde con una o más franjas amarillas. Excepción: Se permite un contacto aterrizado de auto reposición en clavijas de conexión tipo aterrizado, usados en el cordón de la fuente de alimentación de herramientas portátiles, artefactos manuales portátiles y herramientas o aparatos de mano.
 - c) Por medio de una cinta o alambre flexible separado, aislado, desnudo y protegido de la forma más práctica contra daños físicos, como parte del equipo.
- El subartículo 250-60 se refiere a armazones de cocina y de secadoras eléctricas de ropa.
 - **Uso del conductor del circuito aterrizado para puesta a tierra de equipos (250-61).**
 - a) Equipo del lado de la alimentación.- Se permite utilizar un conductor del circuito de puesta a tierra para aterrizar las partes metálicas de equipos que no conducen corriente, canalizaciones y otras cubiertas en cualquiera de los lugares siguientes:
 1. En el lado de alimentación del medio de desconexión de la acometida.
 2. En el lado de alimentación del medio de desconexión principal de edificios separados (250-24).
 3. En el lado de alimentación del medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente de un sistema derivado separadamente.
 - b) Equipos del lado de la carga.- No se debe usar un conductor del circuito aterrizado para poner a tierra las partes metálicas que no conducen corriente de los equipos, en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida o en el lado de la carga de un medio de desconexión de un sistema derivado separadamente o el dispositivo de sobrecorriente para un sistema derivado separadamente no teniendo un medio de desconexión principal.

Excepción 1: Lo permitido para edificios separados en la sección 250-24.

Excepción 2: Se permite aterrizar los gabinetes de los medidores, conectándolos al conductor del circuito aterrizado en el lado de la carga del disyuntor de acometida si: a.- No está instalada una protección de falla a tierra en la acometida; b.- Todos los gabinetes de los medidores, están ubicados cerca del medio de desconexión de la acometida; c.- La medida del conductor del circuito aterrizado no es menor que el tamaño especificado en la tabla 250-95, para conductores de puesta a tierra de equipos.

• **Conexiones de circuitos múltiples (250-62).** Se proporcionará un medio de puesta a tierra para cada una de las conexiones, cuando se requiera que un equipo esté aterrizado y esté alimentado por conexión separada a más de un circuito o sistema de alambrado local aterrizado.

III.6.6 Uniones (puenteado).

• **Generalidades (250-70).** Para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad para conducir en forma segura cualquier falla de corriente que se presente, y mantener un potencial común, se proporcionarán puentes cuando sea necesario.

• **Equipo de acometida (250-71).**

a) Las partes metálicas que no conducen corriente de los equipos mencionados en 1, 2 y 3, deben ser unidas en forma efectiva por puentes de unión.

Excepciones:

1. Lo permitido en 250-55: canalizaciones de acometida, cubierta metálica del cable de acometida y las charolas de los cables.
2. Todas las cubiertas del equipo de acometida que contienen los conductores de acometida, incluyendo accesorios de medición, cajas o semejantes, intercalados en la canalización de la acometida o en la armadura.
3. Cualquier canalización metálica o armadura que contenga el conductor del electrodo de aterrizaje (250-92(a)), se debe colocar una unión en cada terminal y en todas las canalizaciones que intervienen, cajas y cubiertas entre el equipo de acometida y el electrodo de aterrizaje.

b) Para conectar puentes entre sistemas y conductores de aterrizaje, se debe proporcionar un medio accesible externo a las cubiertas o cajas al menos por alguno de los medios siguientes:

1. Canalización metálica de acometida expuesta.
2. Conductor de electrodo de aterrizaje expuesto.
3. Medios aprobados para la conexión externa de un puente o conductor de aterrizaje de cobre u otro material resistente a la corrosión, a la canalización o equipo de acometida.

Notas:

- ✓ Un ejemplo de un medio aprobado es un conductor de cobre No.6, con un extremo unido a la canalización o equipo de acometida y con 152 mm o más del otro extremo accesible a la pared exterior.
- ✓ Los requisitos para los puentes de unión y puesta a tierra de circuitos de comunicación se tratarán más adelante en el subartículo (800-40).

• **Método de puenteo del equipo de acometida (250-72).** Se especifican los métodos para asegurar la continuidad eléctrica del equipo de acometida.

- a) conductor de acometida aterrizada, según lo dispuesto en 250-113,
- b) conexiones enroscadas,
- c) conectores y coples con rosca,
- d) puentes de unión, y
- e) otros dispositivos como terminales y tuercas del tipo para puente de unión.

• **Armadura o cinta metálica de cable de acometida (250-73).** Se considera que está aterrizada la cubierta metálica de los cables de acometida, cuando tienen un conductor aterrizado no aislado y en contacto eléctrico continuo con su cinta o armadura metálica.

• **Conexión de la terminal aterrizada del contacto a la caja (250-74).** Se debe de usar un puente de unión para conectar la terminal aterrizada de un contacto tipo aterrizado a la caja puesta a tierra. Con las excepciones siguientes:

1. Cuando la caja se instala en la superficie, el contacto directo metal con metal entre la horquilla del dispositivo y la caja será permitido para aterrizar el receptáculo a la caja. Esta excepción no se aplica a receptáculos montados y cubiertos, a menos que la combinación caja y cubierta estén aprobados para proporcionar una continuidad de aterrizaje satisfactorio entre la caja y el receptáculo.
2. Los dispositivos de contacto u horquillas diseñados y aprobados para el propósito se usarán en conjunto con los tornillos de soporte para establecer el circuito de aterrizaje entre la horquilla o soporte del dispositivo y las cajas tipo empotradas.

3. Las cajas de piso diseñadas y aprobadas para proporcionar continuidad a tierra en forma satisfactoria entre la caja y el dispositivo.
4. Será permitido el empleo de un contacto con la terminal de tierra voluntariamente aislada del montaje del mismo contacto, cuando se requiere para la reducción de interferencia electromagnética en el circuito aterrizado. La terminal aterrizada del receptáculo debe ser aterrizada por medio de un conductor aterrizado aislado del equipo, cableado con los conductores del circuito. Está permitido que el conductor aterrizado pase a través de uno o más tableros sin conectarlo a la terminal de aterrizaje del tablero, excepto cuando termina en el mismo edificio o estructura directamente a una terminal de aterrizaje del equipo del sistema derivado aplicable o acometida.

Nota: El usar un conductor aislado de aterrizaje del equipo, no significa que se cumplió con el requerimiento de aterrizaje del sistema de canalización y la caja de salida.

• **Puente de unión para ductos o gabinetes (250-75).** Las canalizaciones metálicas, charolas, armaduras de cables, gabinetes, cajas, estructuras, accesorios y otras partes metálicas que no conducen corriente, y que se usan para servir como conductores de aterrizaje, con o sin el uso de conductores de aterrizaje del equipo suplementario, se deben puentear efectivamente cuando sea necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad para conducir en forma segura cualquier corriente de falla que se presente en ellos.

Se debe quitar cualquier pintura no conductora, esmalte o recubrimiento equivalente, de las roscas, puntos de contacto y superficies de contacto, o deben de conectarse por medio de accesorios diseñados de tal manera que no sea necesario quitar el recubrimiento.

Excepción: Cuando se requiere para la reducción de la interferencia electromagnética en el circuito de aterrizaje, un equipo dentro de un gabinete alimentado por un circuito en derivación, se podrá aislar de una canalización que contenga circuitos de alimentación de ese equipo por uno o más accesorios de ducto no metálico aprobados, localizados en el punto de fijación de la canalización al gabinete del equipo. La canalización metálica debe cumplir con lo previsto en este artículo y debe estar complementado por un conductor de puesta a tierra del equipo aislado interno para aterrizaje del gabinete del equipo.

Nota: El uso de un conductor de aterrizaje aislado para el equipo no releva del requerimiento de puesta a tierra del sistema de canalizaciones.

• **Puente de unión floja en uniones de canalizaciones metálicas (250-77).** Las juntas de

expansión y secciones telescópicas de canalizaciones metálicas se deben de hacer eléctricamente continuas por medio de puentes de unión u otros medios.

• El **subartículo 250-78** se refiere a puentes de unión en lugares considerados peligrosos, definidos en el artículo 500.

• **Puente de unión principal y del equipo (250-79).**

- a) Los puentes de unión principal y del equipo deben de ser de cobre o de otro material resistente a la corrosión. Un puente de unión principal puede ser un cable, una barra, un tornillo o un conductor adecuado similar.
- b) Cuando un puente de unión es un tornillo solamente, éste debe ser identificado con un color verde que esté visible.
- c) Los puentes de unión principales y del equipo se deben de fijar de la manera especificada en la sección 250-113 para circuitos y para equipos, y en la sección 250-115 para electrodos de aterrizaje.
- d) El puente de unión no debe ser menor que los calibres mostrados en la tabla 250-94 para los conductores del electrodo de aterrizaje. Cuando los conductores de fase de entrada de la acometida son mayores a 1100 kcmil de cobre o 1750 kcmil de aluminio, el puente de unión debe tener un área no menor que el 12.5 % del área del conductor de fase mayor, excepto cuando los conductores de fase y el puente de unión son de materiales diferentes (cobre o aluminio), el calibre mínimo del puente de unión se debe de fundamentar asumiendo el uso de conductores de fase del mismo material y con una capacidad de corriente equivalente a los conductores de fase instalados. Cuando los conductores de entrada de la acometida están en paralelo en dos o más canalizaciones o cables, el puente de unión del equipo, cuando sea cableado con las canalizaciones o cables, debe ser en paralelo. El calibre del puente de unión para cada canalización o cable se basará en el calibre de los conductores de entrada de la acometida en cada canalización o cable. El puente de unión para un conductor del electrodo de aterrizaje de una canalización o armadura de cable, debe ser del mismo calibre o mayor que el conductor del electrodo de puesta a tierra cubierto requerido.
- e) El puente de unión del equipo en el lado de la carga de los dispositivos de sobrecorriente de la acometida, no debe ser menor que los calibres que se indican en la tabla 250-95. Se permite un solo puente de unión común y continuo para el equipo, para unir dos o más canalizaciones o cables donde el puente de unión esté dimensionado de acuerdo con la tabla 250-95, para el mayor dispositivo de sobrecorriente que alimenta los circuitos internos.

Excepción: El puente de unión del equipo no requiere ser mayor que los conductores del circuito que alimentan al equipo, pero no debe ser menor al calibre 14.

- f) Se permitirá que los puentes de unión para el equipo sean instalados dentro o fuera de una canalización o de cubierta. Cuando se instale en el exterior, la longitud del puente de unión no debe de exceder 1.83 m, y se debe de cablear junto con la canalización o cubierta. Cuando se instala dentro de la canalización, el puente de unión del equipo debe de cumplir con los requerimientos de las secciones 250-114 y 310-112(b).

• **Puenteo de sistemas de tubería y acero estructural expuesto (250-80).**

- a) El sistema interior de tubería metálica para agua debe de estar unido por medio de un puente a la cubierta metálica del equipo de acometida, al conductor de tierra en la acometida, al conductor del electrodo de aterrizaje cuando es de calibre suficiente, o a uno o más electrodos de aterrizaje. El puente de unión debe de ser dimensionado de acuerdo con la tabla 250-94 e instalado como se establece en la norma. Los puntos de fijación del puente de unión deben de estar accesibles.

Excepción: En edificios de ocupaciones múltiples, donde el sistema interior de tubería para agua de los locales individuales está metálicamente aislado de otras accesorias, por el uso de tubería no metálica para agua, se permitirá que el sistema interno de tubería metálica para agua esté unido al tablero o caja del interruptor (que no sea el de la acometida) que alimenta el local. El puente de unión se debe de dimensionar de acuerdo con la tabla 250-95.

Cuando haya un sistema derivado por separado, que use un electrodo de puesta a tierra, el punto más cercano disponible en el sistema interno de tubería metálica para agua, en el área atendida en un sistema en derivación por separado, debe de estar unido a un conductor de tierra del sistema en derivación por separado. El conductor de unión se debe dimensionar de acuerdo con la tabla 250-94 para los conductores derivados de fase. Los puntos de fijación del conductor de unión deben estar accesibles.

- b) La tubería metálica interior que puede ser energizada, se debe unir a la cubierta del equipo de la acometida, al conductor de aterrizaje de la acometida, al conductor del electrodo de aterrizaje cuando es de calibre suficiente, o a uno o más electrodos de aterrizaje usados. El puente de unión se debe dimensionar de acuerdo con la tabla 250-95, usando la capacidad del circuito que puede energizar la tubería.

El conductor de aterrizaje del equipo para el circuito que puede energizar la tubería se puede usar como medio de unión.

Nota: Si se unen todas las tuberías y los ductos metálicos de aire dentro de los locales se proporcionará una seguridad adicional.

- c) El acero estructural expuesto que está interconectado para formar una estructura de un edificio de acero y no está intencionalmente aterrizado y que puede llegar a energizarse, se debe de unir a la cubierta del equipo de acometida, al conductor de puesta a tierra en la acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando es de calibre suficiente, o a uno o más electrodos de puesta a tierra usados. El puente de unión se debe de dimensionar de acuerdo con la tabla 250-94. Los puntos de fijación del puente de unión deben estar accesibles.

III.6.7 Sistemas de electrodos de puesta a tierra.

• **Sistemas de electrodos de puesta a tierra (250-81).** Si se tiene disponible en el local de cada edificio o estructura alimentada, los equipos que se enumeran a continuación y cualquier electrodo fabricado (artificial), se deben de unir para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra.

Se permitirá que el conductor del electrodo de aterrizaje sin empalme sea cableado a cualquier electrodo de aterrizaje disponible en el sistema de electrodos de puesta a tierra. Este se debe dimensionar para el conductor del electrodo de puesta a tierra mayor requerido, entre todos los electrodos disponibles.

Excepción No.1: Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra por medio de conectores de tipo de compresión irreversible aceptados para ese propósito o por el proceso de soldado exotérmico. La tubería metálica interior para agua, localizada a más de 1.52 m del punto de entrada al edificio, no debe de ser usada como parte del sistema de electrodos de puesta a tierra o como un conductor para interconectar electrodos que son parte del sistema de electrodos de aterrizaje.

Excepción No.2: En edificios industriales y comerciales donde las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguran que sólo personal calificado atenderán la instalación y la longitud total de la tubería metálica interior para agua, que está siendo utilizada para el conductor que está expuesto.

- a) Los electrodos de acero con cubierta de cobre consisten de una varilla redonda con una longitud de 3 m o más, con diámetro de 13 mm, 16 mm, 19 mm; el acero le da dureza y el cobre resistencia a la corrosión y mejor conductividad, el espesor de cobre debe tener 0.25

mm como mínimo.

- b) Una tubería metálica enterrada para agua, en contacto directo con la tierra de 3.05 m de profundidad o más (incluyendo cualquier cubierta metálica efectivamente conectada a la tubería), eléctricamente continuo (o hecho eléctricamente continuo, por medio de una unión, alrededor de uniones aislantes o secciones o tubos aislados) a los puntos de conexión del conductor del electrodo de aterrizaje y los conductores de unión. La continuidad de la trayectoria de la puesta a tierra o de la conexión de unión al interior de la tubería no se puede hacer en medidores de agua o dispositivos de filtrado y equipo similar. Una tubería metálica de agua enterrada debe ser complementada por un electrodo adicional. Será permitido unir el electrodo complementario, al conductor del electrodo de puesta a tierra, al conductor de entrada de puesta a tierra de la acometida, a la canalización de la acometida aterrizada y a cualquier cubierta de la acometida puesta a tierra.

Cuando el electrodo complementario es un electrodo artificial, esa porción del puente de unión, que es la única conexión al electrodo de aterrizaje complementario, no se requiere que sea mayor que un alambre de cobre No.6 o un alambre de aluminio No.4. Excepción: Se permite que el electrodo complementario sea unido a la tubería metálica interior para agua, en cualquier punto conveniente.

- c) La estructura metálica del edificio cuando está efectivamente aterrizada. Entiéndase esto como una conexión a tierra de impedancia lo suficientemente baja, con una capacidad de conducción de corriente adecuada, conveniente y suficiente, como para evitar la elevación de tensión resultante en condiciones de falla, que puede arriesgar la vida de las personas y los equipos.
- d) Un electrodo empotrado al menos 50.8 mm del concreto, localizado dentro y cerca del fondo de los cimientos de concreto o extremo inferior que está en contacto directo con la tierra, que consiste al menos de una o más barras o varillas desnudas, de zinc galvanizado o de acero revestido reforzado eléctricamente conductor de 6.1 m de longitud y de no menos de 12.7 mm de diámetro, o consistente de al menos un conductor de cobre desnudo de 6.1 m y no menor al calibre No.4.
- e) Un anillo de tierra que rodee el edificio o estructura, en contacto directo con la tierra, a una profundidad bajo la superficie no menor de 762 mm, y que consista de un conductor de cobre desnudo de al menos 6.1 m y no menor de calibre No.2.

• **Electrodos artificiales (250-83).** Cuando no se tiene disponible ninguno de los electrodos especificados en la sección anterior, se deben de usar uno o más de los electrodos especificados del inciso (b) hasta el (d). Cuando sea factible se deben de incrustar electrodos artificiales bajo el nivel permanente de humedad. Los electrodos artificiales deben de estar libres de recubrimientos no conductivos como pintura o esmalte. Cuando se utilice más de un electrodo, cada electrodo de un sistema de puesta a tierra, incluyendo los usados como varillas de pararrayos, no deben estar a una distancia menor de 1.80 m de cualquier otro electrodo de otro sistema de tierra. Dos o más electrodos de tierra que están unidos efectivamente se deben de considerar como un sistema de electrodos de aterrizaje individual.

- a) Sistema de tubería metálica enterrada de gas.- Un sistema de tubería enterrada metálica de gas no se debe de utilizar como electrodo de puesta a tierra.
- b) Otros sistemas o estructuras metálicas enterradas locales, tales como sistemas de tuberías y tanques enterrados.
- c) Electrodos de varilla y tubería.- Los electrodos de varilla y tubería no deben ser menores de 2.44 m en longitud y deben de consistir de los siguientes materiales e instalados de la manera siguiente:
 1. Los electrodos de tubería o conduit no deben ser menores de 19.05 mm de diámetro y cuando sean de acero o hierro deben tener una superficie exterior galvanizada o un recubrimiento de otro material pero resistente a la corrosión.
 2. Los electrodos de varilla de acero o hierro deben ser de al menos de 15.87 mm de diámetro, de acero inoxidable menores de 15.87 mm de diámetro, varillas no ferrosas o su equivalente, deben ser aprobados y no deben ser menores de 12.7 mm de diámetro.
 3. El electrodo debe ser instalado de tal manera que al menos 2.44 m de longitud esté en contacto con la tierra. Este debe ser llevado a una profundidad no menor de 2.44 m, excepto donde se encuentre roca. En este caso el electrodo se introduce en forma oblicua en un ángulo que no exceda los 45 grados de la vertical o debe ser enterrado en una trinchera que sea al menos 762 mm profunda. La parte superior final del electrodo debe estar al mismo nivel de o bajo tierra, a menos que la parte superior del terreno o la fijación del conductor del electrodo de aterrizaje está protegido contra daños físicos como se especifica en la sección 250-117.

- d) **Electrodos de placa.**- Cada electrodo de placa debe exponer no menos de 0.186 m² de superficie hacia el exterior del suelo. Las placas electrodos de acero o hierro deben de ser al menos de 6.35 mm de calibre. Los electrodos metálicos no ferrosos deben de ser de al menos 1.52 mm de calibre.
- e) **Electrodos de aluminio.**- Los electrodos de aluminio no son permitidos, ya que se corroen fácilmente.
- f) **Electrodos profundos.**- Es un conductor de cobre desnudo de baja impedancia colocado en perforaciones profundas, hasta donde se encuentren capas de baja resistividad o niveles de mayor humedad.
- g) **Electrodos horizontales.**- Se coloca enterrado un cable de cobre desnudo de manera horizontal, que va de 50 a 100 cm de profundidad con distintas configuraciones, que normalmente pueden ser en ángulo recto, en estrella, en cruz, en cuadro, etc.
- h) **Electrodos químicos.**- Este método consiste en modificar el terreno que rodea al electrodo, bajando la resistividad del subsuelo, siendo los más recomendables:
1. **Bentonita.** Es una arcilla que absorbe y retiene el agua. Se coloca alrededor del electrodo y constituye un camino adecuado para las corrientes eléctricas que se conducen a tierra; no es corrosiva.
 2. **Carbón mineral (Coque).** Es el extraído de las minas y usado en los hornos de fundición.
 3. **Otros.** También se cuenta con otros electrodos químicos que nos dan resultados satisfactorios, pueden ser comprados en algunas casas comerciales especializadas. No es recomendable el uso de la sal, puesto que se disuelve con la lluvia, solamente si el espacio ocupado por el electrodo es controlado y con mantenimiento constante, también el uso de sulfatos no es seguro puesto que con facilidad corroen el electrodo.
- i) **Electrodos múltiples.** Se colocan electrodos en distintas configuraciones y cantidades, con una separación uno de otro normalmente 3 m. Las configuraciones más empleadas son: 3 electrodos en línea, 3 en delta o 2 en línea.

Nota: Es permitido el uso de una combinación de electrodos múltiples y electrodos químicos. Por ejemplo: 3 electrodos en línea con carbón mineral. Si el caso lo permite, se deben de

enterrar los electrodos hasta sobrepasar el nivel de humedad permanente; cuando se encuentre una capa de roca, se puede enterrar en forma horizontal lo más profundo que se pueda. Si se emplean sistemas de electrodos para distintos fines como pararrayos del edificio, sistemas de cómputo, sistemas de comunicación, etc., cada electrodo de un sistema debe estar por lo menos a una distancia de 1.80 m de los otros sistemas.

• **Resistencia de los electrodos artificiales (250-84).** La resistencia de los electrodos, no debe de tener un valor mayor de 25 ohms para: casas habitación, comercios, oficinas o locales con acometidas de baja tensión y que se consideren de concentración pública, en épocas de baja humedad (condiciones desfavorables). Cuando no es posible tener este valor con un electrodo, se deben de utilizar los métodos antes descritos, con sistemas de tubería metálica continua y subterránea para conducir agua fría, así se tiene por lo general una resistencia a tierra menor de 3 ohms. Las estructuras metálicas de edificios, la tubería metálica de edificios, la tubería metálica de revestimiento de pozos y otros sistemas locales de tuberías, proporcionan generalmente una resistencia a tierra notablemente menor a 25 ohms. Aunque se deben realizar mediciones periódicas para revisar el estado en que se encuentra el electrodo. En los sitios donde sea necesario una resistencia menor, como es el caso de los edificios donde se tengan equipos de cómputo y telecomunicaciones o equipos electrónicos, en general se deben utilizar tierras especiales (electrodos construidos en forma especial).

Para bajadas a tierra de pararrayos el valor recomendable es 10 ohms.

Excepción: En el caso de terrenos de resistividad mayor de 3000 ohms-m, es permisible tener valores del doble de los anteriores para cada caso.

• **Uso de electrodos de pararrayos (250-86).** Los conductores para varillas de pararrayos, las varillas y tubos enterrados y otros electrodos artificiales usados como electrodos de pararrayos, no deben de ser usados en lugar de los electrodos artificiales requeridos por la sección 250-83 para aterrizar los sistemas y equipos. Esta precaución no es impedimento para unir los electrodos de puesta a tierra de los diferentes sistemas.

Nota: La unión de todos los electrodos de puesta a tierra separados limitará las diferencias de potencial entre ellos y entre sus sistemas de alambrado asociados.

III.6.8 Conductores de puesta a tierra.

• **Material (250-91).** El material de los conductores de puesta a tierra debe ser como se

especifica a continuación:

- a) El conductor del electrodo de aterrizaje debe ser de cobre, aluminio o aluminio cobrizado. El material elegido debe resistir cualquier condición de corrosión existente en la instalación, o se debe de proteger adecuadamente contra esta corrosión. El conductor debe ser sólido o trenzado, aislado, cubierto o desnudo y se debe de instalar en forma continua en toda su longitud, sin empalmes o uniones.

Excepciones:

1. Se pueden hacer empalmes en las barras.
 2. Cuando una acometida consiste en más de una cubierta, está permitido conectar derivaciones al conductor del electrodo de aterrizaje. Cada derivación del conductor se extenderá hacia el interior de cada cubierta. El conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser seleccionado en forma adecuada; se pueden dimensionar los conductores de las derivaciones de acuerdo con los conductores de los electrodos de puesta a tierra para el conductor mayor de suministro de la respectiva cubierta. Los conductores en derivación se deben de conectar al conductor del electrodo de puesta a tierra, de tal manera que el conductor del electrodo de puesta a tierra permanezca sin una unión o empalme.
 3. Se permite empalmar el conductor del electrodo de aterrizaje por medio de un conector del tipo de compresión irreversible aprobados para este propósito, o por medio de soldadura exotérmica.
- b) El conductor de puesta a tierra, cableado o instalado con los conductores del circuito, será uno o más, o una combinación de lo siguiente: 1. Un conductor de cobre u otro, cuyo material sea resistente a la corrosión. Este conductor debe ser sólido o trenzado, aislado, cubierto o desnudo, y en forma de un alambre o una barra de cualquier forma; 2. Tubería rígida metálica; 3. Tubería metálica intermedia; 4. Tubería metálica eléctrica; 5. Tubería metálica flexible, cuando ésta y sus accesorios son aceptados para la puesta a tierra; 6. Armadura de cables de tipo de c.a.; 7. El cable de cobre con cubierta de mineral aislado, cubierta metálica; 8. El cable de cubierta metálica o la combinación de cubierta metálica y conductores de aterrizaje de tipo MC; 9. Canalizaciones de cables; 10. Canalizaciones de barra colectora; 11. Otras canalizaciones metálicas eléctricamente continuas aprobadas para aterrizaje.

Excepciones:

1. Cuando los conductores del circuito ahí contenidos están protegidos por dispositivos de sobrecorriente de capacidad de 20 A o menos, la tubería metálica flexible aprobada como canalización, pero no para aterrizaje, la tubería metálica flexible aprobada y el tubo metálico flexible hermético a líquidos aprobado en las medidas comerciales de 3/8 a 1¼ de pulgada, (0.9525 a 3.175 cm) serán permitidas como medios de puesta a tierra para estos circuitos si reúnen todas las condiciones siguientes:
 - La longitud combinada del tubo metálico flexible y tubería metálica flexible en el mismo trayecto de retorno a tierra no excede 1.83 m.
 - El conducto o tubería está terminada en accesorios aprobados para aterrizaje.
 2. Cuando los conductores del circuito ahí contenidos están protegidos por circuitos de sobrecorriente de capacidad mayor de 20 A pero que no exceden los 60 A, se permitirá como medio de puesta a tierra para estos circuitos el tubo metálico flexible, hermético a líquidos aprobado en medidas comerciales de 3/4 a 1¼ de pulgada (1.905 a 3.175 cm) si reúnen las condiciones siguientes:
 - La longitud total del conducto metálico flexible hermético a los líquidos en las medidas comerciales de 3/4 a 1¼ de pulgada (1.905 a 3.175 cm), en cualquier trayecto de retorno a tierra no excede de 1.83 m.
 - Ningún conducto metálico flexible, tubo metálico flexible o conducto metálico flexible hermético a los líquidos, en las medidas comerciales de 3/8 a 1/2 pulgada (0.9525 a 1.27 cm), sirve como un conductor de aterrizaje de equipo en el trayecto de retorno a tierra.
 - Si el conducto termina con accesorios aceptados para puesta a tierra.
 3. El conductor de puesta a tierra del equipo puede instalarse separadamente de los conductores del circuito, solamente para circuitos de corriente directa.
- c) Puestas a tierra complementarias.- Se permiten electrodos de aterrizaje complementarios para aumentar los conductores de aterrizaje de equipos especificados en la sección 250-91(b), pero no se debe de usar la tierra como el único conductor de aterrizaje.
- **Instalación (250-92).** Los conductores de puesta a tierra deben de ser instalados como se especifica a continuación:
- a) El conductor del electrodo de aterrizaje y su cubierta se deben de fijar en forma segura a la superficie en la cual están sostenidos. Si el conductor es de cobre o aluminio del No.4 AWG

o mayor, debe ser protegido si está expuesto a severos daños físicos. Si este conductor de aterrizaje es del No.6 AWG y está libre de exposición a daños físicos, se puede cablear a lo largo de la superficie del edificio, sin cubierta metálica o protección, debiendo estar fijado a la construcción; de lo contrario, éste se debe colocar dentro de un tubo metálico rígido, tubo metálico intermedio, tubo no metálico rígido, tubería metálica eléctrica o armadura de cable. Los conductores de aterrizaje menores de No.6 AWG deben de instalarse en tubería metálica rígida, tubería metálica intermedia, tubería no metálica no rígida, tubería metálica eléctrica o armadura de cable.

Los conductores de aterrizaje aislados, de aluminio desnudo o de aluminio cobrizado, no se deben de usar cuando estén en contacto directo con concreto o tierra, o en el caso de que estén sujetos a condiciones corrosivas. Cuando se usen en exteriores, los conductores de puesta a tierra de aluminio o de cobre con cubierta de aluminio, no deben instalarse a una distancia de tierra menor de 457 mm.

- b) Las cubiertas metálicas para los conductores de los electrodos de puesta a tierra, deben ser eléctricamente continuas, desde el punto de fijación de gabinetes o equipos hasta el electrodo de aterrizaje, y deben estar fijadas en forma segura a la grapa o accesorio de puesta a tierra. Las cubiertas metálicas que no sean físicamente continuas desde el gabinete o equipo al electrodo de aterrizaje, deben hacerse eléctricamente continuos uniendo cada extremo al conductor de puesta a tierra. Cuando una canalización es usada como protección para el conductor de aterrizaje, la instalación debe de cumplir con los requerimientos del artículo de canalizaciones.
- c) El conductor de puesta a tierra de un equipo debe ser instalado como sigue:
1. Cuando este consiste de una canalización, charola para cable, armadura de cable, o cubierta metálica de cable o cuando éste es un alambre dentro de una canalización o cable, debe ser instalado de acuerdo con las especificaciones de esta norma, usando accesorios para las uniones y terminaciones aprobadas para este propósito, con el tipo de canalización o cable utilizado. Todas las conexiones, uniones y accesorios, deben ser apretados utilizando las herramientas adecuadas.
 2. Cuando es un conductor de puesta a tierra del equipo separado, debe ser instalado de acuerdo con el inciso a) anterior, en lo que respecta a las restricciones para aluminio y también las restricciones de protección contra daños físicos.

Excepción: Los conductores de calibre menor al No.6 AWG no necesitan ser cableados dentro de una canalización o armadura cuando se colocan en espacios huecos dentro de las paredes, tabiques o de tal manera que no sufran daños físicos.

• El subartículo 250-93 se refiere a sección transversal del conductor de puesta a tierra de sistemas de corriente directa.

• **Dimensiones del conductor de puesta a tierra en sistemas de corriente alterna (250-94).** El calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra de un sistema de corriente alterna aterrizado o no aterrizado, no debe ser menor que los dados en la tabla 250-94.

Excepciones:

1. Cuando se conecte a electrodos artificiales, la parte del conductor del electrodo de aterrizaje, que es la única conexión al electrodo de aterrizaje, no requiere ser mayor que un alambre de cobre de calibre No.6 o alambre de aluminio No.4.
2. Cuando se conecta a un electrodo encasquillado en concreto, esa parte del conductor del electrodo de aterrizaje, que es la única conexión al electrodo de aterrizaje, no requiere ser mayor que alambre de cobre de calibre No. 4.
3. Cuando se conecta a un anillo de tierra, esa parte del conductor del electrodo de aterrizaje, que es la única conexión al electrodo de aterrizaje, no requerirá ser mayor que el conductor usado para el anillo de tierra.

Notas:

- Cuando se usan conductores múltiples de acometida, el calibre equivalente de acometida mayor se determina por la suma de las áreas de los conductores correspondientes.
- Cuando no haya conductores de entrada de acometida, el calibre del conductor del electrodo de aterrizaje será determinado por equivalencia con el calibre del conductor de entrada de acometida que sería necesario para la carga por alimentar.
- Restricciones para la aplicación en la sección 250-92(a).
- Para calibres de conductores de aterrizaje en sistemas de corriente alterna que van al equipo de acometida ver sección 250-23.

Calibre del conductor mayor de acomoda área equivalente para conductores paralelos	Calibre del conductor del electrodo de aterrizaje	
	Aluminio o aluminio cobrizado	Cobre Aluminio cobrizado
Código		
2 o menor	1/0 o menor	8 6
1 o 1/0	2/0 o 3/0	6 4
2/0 o 3/0	4/0 o 250 kcmil	4 2
más de 3/0 hasta 350 kcmil	más de 250 kcmil hasta 500 kcmil	2 1/0
más de 350 kcmil hasta 600 kcmil	más de 500 kcmil hasta 900 kcmil	1/0 3/0
más de 600 kcmil hasta 1100 kcmil	más de 900 kcmil hasta 1750 kcmil	2/0 4/0
más de 1100 kcmil	más de 1750 kcmil	3/0 250 kcmil

Tabla 250-94. Conductor para electrodo de puesta a tierra para sistemas de c.a.

• **Dimensiones del conductor de puesta a tierra del equipo (250-95).** Los conductores de aterrizaje de cobre, aluminio o aluminio cobrizado no deben ser menores que los mencionados en la tabla 250-95. Cuando los conductores están cableados en paralelo en canalizaciones, el conductor de aterrizaje del equipo, cuando se utiliza, debe estar cableado en paralelo. Cada conductor de aterrizaje del equipo en paralelo se debe dimensionar basándose en la capacidad de corriente del dispositivo de sobrecorriente que protege los conductores del circuito en la canalización, de acuerdo con la tabla 250-95.

Cuando los conductores están ajustados en dimensiones para compensar la caída de voltaje, los conductores de puesta a tierra del equipo, cuando se requieren, deben ajustarse proporcionalmente de acuerdo al área en circular mil (o AWG).

Cuando un solo conductor de puesta a tierra del equipo, es cableado con circuitos múltiples en la misma canalización, este se debe dimensionar para el mayor dispositivo de sobrecorriente que protege los conductores en la canalización.

Cuando el dispositivo de sobrecorriente consiste de un interruptor con circuito de disparo instantáneo o un protector de cortocircuito de motor, el calibre del conductor de aterrizaje del equipo se puede calcular basándose en la capacidad del dispositivo de protección de sobrecarga de motor, pero no menor que el calibre mostrado en la tabla 250-95.

Excepciones para este subartículo:

1. Un conductor de aterrizaje del equipo no debe ser menor que un conductor de cobre calibre No.18, y no menor que los conductores del circuito cuando es parte de un conjunto de conductores.
2. El conductor de aterrizaje del equipo no requiere ser mayor en calibre que los conductores del circuito que alimentan al equipo.
3. Cuando una canalización o una armadura de cable o cubierta de cable es usada como conductor de aterrizaje del equipo.

• El subartículo 250-97 se refiere al alumbrado de realce.

• **Continuidad del conductor de puesta a tierra de equipos (250-99).**

- a) Las conexiones separables, como las que se usan para equipos desmontables o tapón de contacto contra conectores y tomacorrientes, deben servir para hacer el primer contacto de conexión y hacer el último contacto de desconexión del conductor de aterrizaje del equipo. Excepción: Los equipos de clavijas de contacto y tomacorrientes que no permiten energizar sin continuidad de puesta a tierra.
- b) Los interruptores o disyuntores no automáticos se deben colocar en el conductor de puesta a tierra del equipo de un sistema de alambrado local. Excepto cuando la apertura de un interruptor desconecta todas las fuentes de energía.

Capacidad de conducción nominal o ajuste del dispositivo automático de sobrecorriente ubicado antes del equipo, tubería, etc. No mayor en amperes	Sección Transversal Cobre		Sección Transversal Aluminio	
	mm	AWG KCMC	mm	AWG KMC
	15	2.082	14	3.307
20	3.307	12	5.260	10
30	5.260	10	8.367	8
40	5.260	10	8.367	8
60	5.260	10	8.367	8
100	8.367	8	13.30	6
200	13.30	6	21.15	4
300	21.15	4	33.62	2
400	26.67	3	42.41	1
500	33.62	2	53.48	1/0
600	42.41	1	67.43	2/0
800	53.48	1/0	85.01	3/0
1000	67.43	2/0	107.2	4/0
1200	85.01	3/0	126.7	250 kcmil
1600	107.2	4/0	177.3	350 kcmil
2000	126.7	250 kcmil	202.7	400 kcmil
2500	177.3	350 kcmil	304	600 kcmil
3000	202.7	400 kcmil	304	600 kcmil
4000	253.4	500 kcmil	405.4	800 kcmil
5000	354.7	700 kcmil	612	1200 kcmil
6000	405.4	800 kcmil	612	1200 kcmil

Tabla 250-95 Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones aterrizadas y equipos

III.6.9 Conexiones del conductor de puesta a tierra.

• Al electrodo de puesta a tierra (250-112). La conexión de un conductor de electrodo de aterrizaje a un electrodo de puesta a tierra debe ser accesible y estar hecha de manera que asegure permanentemente una puesta a tierra efectiva. Cuando sea necesario asegurar esto

para una tubería metálica usada como electrodo de aterrizaje, se debe realizar un puente de unión alrededor de todas las uniones y secciones aisladas, y alrededor de cualquier equipo que pudiera ser desconectado para reparación o cambio. Los conductores de unión deben ser lo suficientemente largos para poder removerlos del equipo mientras se mantiene la integridad de la unión.

Excepción: No se requiere que esté accesible la conexión a un electrodo de puesta a tierra recubierta, clavado o enterrado en concreto

• **A conductores o equipos (250-113).** Los conductores de aterrizaje y puentes de unión se deben conectar con soldadura exotérmica, conectores de presión, abrazaderas y otros medios aprobados. No se deben de utilizar dispositivos o accesorios de conexión que dependen solamente de soldadura, tampoco se deben de usar tornillos de chapa metálica para conectar los conductores de aterrizaje a las cubiertas.

• **Continuidad y fijación del conductor de aterrizaje del equipo a las cajas (250-114).** Cuando más de un conductor de aterrizaje de un equipo entra en una caja, todos esos conductores deben estar unidos o empalmados en la caja, con los dispositivos adecuados para ese uso. No se deben de utilizar las conexiones que dependen únicamente de soldadura. El arreglo de las conexiones de aterrizaje debe ser tal que la desconexión de un accesorio, tomacorriente u otro dispositivo alimentado desde la caja no interfiera o interrumpa la continuidad del aterrizaje. Excepción: El conductor de aterrizaje del equipo no requiere estar conectado a otro conductor de aterrizaje del equipo o a la caja.

- a) Se debe hacer la conexión de uno o más conductores de aterrizaje del equipo y una caja metálica por medio de un tornillo de aterrizaje que no debe ser usado para otro propósito, o por medio de un dispositivo de aterrizaje aprobado.
- b) Uno o más conductores de aterrizaje del equipo que entran a una caja no-metálica se deben colocar de manera que una conexión pueda ser realizada a cualquier accesorio o dispositivo en la caja que requiera aterrizaje.

• **Conexión a los electrodos (250-115).** El conductor de puesta a tierra debe de estar conectado al electrodo de tierra por medio de soldadura exotérmica, conectores de presión, abrazaderas u otros medios aprobados. No se deben usar conexiones que dependan de soldadura. Las abrazaderas de aterrizaje deben ser adecuadas y aprobadas para los materiales del electrodo y el conductor del electrodo de aterrizaje, y cuando son usadas en

tubería, barras o en otros electrodos enterrados, deben también estar aprobadas para estar enterradas directamente en la tierra. No se debe conectar más de un conductor al electrodo de aterrizaje con una sola abrazadera o accesorio, a menos que la abrazadera o accesorio sea aprobada para conexiones múltiples. Se deben utilizar uno de los métodos siguientes:

- a) Una abrazadera con perno de bronce o latón moldeado, o de hierro maleable o sencillo.
- b) Un accesorio de tubería, conector de tubo u otro dispositivo atornillable, en un tubo o accesorio de tubo.
- c) Una abrazadera de aterrizaje tipo de fleje de hoja metálica, que tenga una base rígida de metal que se asiente en el electrodo y que tenga una cinta o fleje del mismo material y dimensiones, que no se estire durante o después de la instalación.
- d) Unos medios substancialmente iguales y aprobados.

• **Protección de la fijación (250-117).** Las abrazaderas u otros accesorios de aterrizaje deben estar aprobados para uso general sin protección, o deben estar protegidos contra daño físico como se indica a continuación:

- a) Instalaciones donde no vayan a sufrir daño.
- b) Encerrado en cubiertas metálicas, madera o cubiertas protectoras equivalentes.

• **Superficies limpias (250-118).** Los revestimientos no conductores, tales como pintura, laca o esmalte, en los equipos que se van a poner a tierra, se tienen que remover de las cuerdas u otras superficies de contacto, para asegurar la buena continuidad eléctrica, o ser conectadas por medio de accesorios diseñados para esto y así hacer innecesario quitar la capa protectora.

• **Identificación de las terminales de alambrado del equipo (250-119).** La terminal para la conexión del conductor de aterrizaje del equipo se debe de identificar como:

- a) Tornillo terminal no fácilmente removible de cabeza hexagonal de color verde.
- b) Tuerca terminal no fácilmente removible hexagonal de color verde.
- c) Un conector de presión con alambre de color verde.

Si la terminal para el conductor de aterrizaje no está visible, el orificio de entrada del conductor debe de estar marcada con la palabra "verde" o "tierra", las letras "G" o "GR" o el símbolo de tierra, de lo contrario debe identificarse con un distintivo de color verde.

III.7 Apartarrayos (Art.280).

III.7.1 Generalidades.

• **Campo de aplicación (280-1).** Esta parte cubre los requerimientos generales, de instalación y de conexión para apartarrayos instalados en sistemas de alambrado locales.

• **Definición. (280-2).** Un apartarrayos es un dispositivo protector, que sirve para limitar el aumento de voltaje (sobretensiones transitorias) por descargas o desvío de aumentos de corriente; también previene el flujo continuo de corriente subsiguiente mientras es capaz de repetir estas funciones.

• **Cantidad requerida (280-3).** Cuando se utiliza en un punto de un circuito, el apartarrayos debe de conectarse a cada conductor no aterrizado. Una sola instalación de tales apartarrayos permitirá proteger un número de circuitos interconectados, con la condición de que ningún circuito se exponga a descargas mientras se desconecta de los apartarrayos.

• **Selección de los apartarrayos (280-4).**

- a) En circuitos de menos de 1 kV.- La clasificación del apartarrayos debe ser igual o mayor que la tensión máxima continua fase a tierra, a frecuencia nominal disponible en el punto de aplicación. Los apartarrayos instalados en circuitos de menos de 1 kV deben estar aprobados para ese propósito.
- b) En circuitos de 1 kV y voltajes mayores (tipo carburo de silicio).- La capacidad de un apartarrayos de tipo de carburo de silicio no debe ser menor que 125% del voltaje máximo continuo fase a tierra disponible en el punto de aplicación.

Nota: La selección de la capacidad de un apartarrayos de óxido metálico adecuado se fundamenta en consideraciones de voltaje máximo de operación continuo y la magnitud y duración de sobrevoltajes en la ubicación del apartarrayos afectado por fallas de fase a tierra, sistema de técnicas de puesta a tierra, aumentos de interrupción y otras causas. Se recomienda consultar las características del fabricante para la selección de un apartarrayos en particular que se use para una aplicación específica.

III.7.2 Instalación de Apartarrayos.

- **Ubicación (280-11).** Está permitido instalar los apartarrayos en interiores o exteriores, pero deben estar inaccesibles a toda persona no capacitada para manipularlos. A excepción de los apartarrayos aprobados para su instalación en lugares accesibles.
- **Recorrido de las conexiones de apartarrayos (280-12).** Los conductores usados para conectar los apartarrayos a la línea o bus y la tierra, no deben ser más largos de lo necesario, evitando las curvas.

III. 7.3 Conexión de los apartarrayos.

- **Instalación en las acometidas de menos de 1 kV (280-21).** Los conductores de conexión de línea y de tierra, no deben ser menores que conductores de cobre calibre No.14 o de aluminio calibre No.12. El conductor de aterrizaje del apartarrayos debe ser conectado a uno de los siguientes:

1. Conductor de aterrizaje de la acometida.
2. Conductor de aterrizaje del electrodo.
3. Electrodo de aterrizaje para la acometida.
4. Terminal de aterrizaje del equipo en el equipo de acometida.

- **Instalados en el lado de la carga de acometidas de menos de 1 kV (280-22).** Los conductores de conexión de línea y de tierra no deben ser menores en calibre que conductores de cobre calibre No.14 o aluminio calibre No.12. Se permite conectar apartarrayos entre cualquier par de conductores (conductor de aterrizaje, sin aterrizaje, conductor aterrizado). El conductor conectado a tierra y el conductor de aterrizaje sólo se conectan por el funcionamiento normal del apartarrayos durante la sobretensión.

III.8 Equipos de procesamiento de datos y cómputo electrónico (Art. 645).

- **Campo de aplicación (645-1).** Esta parte cubre los equipos, cableado de la fuente de alimentación, cableado de interconexión de los equipos y aterrizaje de sistemas y equipos de información, incluyendo unidades terminales en una sala de cómputo.
- **Requerimientos especiales para salas de cómputo (645-2).** Este artículo se aplica

tomando en cuenta que se cumplen las condiciones siguientes:

1. Se tienen medios de desconexión que cumplen con el artículo 645-10.
2. Se tiene un sistema de aire acondicionado/ventilación y/o calentamiento por separado, que es dedicado para el uso en la sala de cómputo y está separado de otras áreas. Es permitido el uso de cualquier sistema de aire acondicionado/ventilación y/o calentamiento, que trabaje para otras áreas en salas de cómputo, si se tienen compuertas reguladoras de humo/fuego en el punto de penetración del límite del cuarto. Las compuertas reguladoras deben activarse con los detectores de humo y también por la operación del medio de desconexión requerido en el artículo 645-10.
3. Equipo de registro de información, cuando está instalado.
4. Ocupado sólo por el personal necesario para el mantenimiento y operación del equipo de cómputo instalado.

Nota: La sala de cómputo no se usa como almacén de combustibles, mas allá del necesario para la operación diaria del equipo.

5. La sala está separada de otras salas por paredes, pisos y techos resistentes al fuego y aberturas protegidas.
6. La construcción del edificio, salas y áreas ocupadas cumplen con el código de construcción.

• **Circuitos de alimentación y cables de interconexión (645-5).**

- a) Los conductores de un circuito derivado que alimentan una o más unidades de procesamiento de datos, deben tener una capacidad de corriente no menor de 125 % de la carga conectada.
- b) Se permite que el sistema de procesamiento de datos sea conectado a un circuito en derivación por cualquiera de los medios aquí listados (aprobados) para este propósito:
 1. Cable de computadora/procesador de datos, conector de fijación y cable.
 2. Cable flexible y un conector de fijación.
 3. Conjunto de juego de cables. Cuando se instalen sobre el piso deben de ser protegidos contra cualquier daño físico.
- c) Se permite que unidades de procesamiento de datos separadas sean interconectadas por medio de cables y conjuntos de cables aprobados para este propósito. Cuando se instale el cableado por el piso se debe proteger contra cualquier daño físico.
- d) Será permitido colocar los cables de alimentación, comunicación, interconexión y

tomacorrientes, asociados con los equipos de procesamientos de datos bajo tarimas a condición de que:

1. El piso falso o entarimado sea adecuado a la construcción y el área bajo el piso esté accesible.
2. Los conductores de alimentación del circuito derivado a los tomacorrientes o equipo cableado en campo está en tubo de pared gruesa, tubería rígida no metálica, tubería intermedia metálica, tubo eléctrico metálico, ducto metálico, ducto de superficie metálica con cubierta metálica, tubería metálica flexible, tubería no metálica o metálica flexible a prueba de líquidos, cable tipo MI, cable tipo MC o cable tipo AC. Estos conductores de alimentación, se deben de instalar de acuerdo con los requerimientos de la sección correspondiente.
3. Se utilice ventilación bajo el entarimado para el equipo de procesamiento de datos y solamente para el área de procesamiento de datos.
4. Existan aberturas en el entarimado para proteger los cables contra rozaduras y minimizar la entrada de escombros y basura bajo el piso.
5. Cables y otros cubiertos en (2), se deben catalogar como tipo DP, teniendo características apropiadas de resistencia al fuego adecuadas para su uso bajo entarimados de salas de cómputo.

Excepciones:

- a. Cuando están dentro de ductos cables de interconexión.
- b. Se permitirá reinstalar cables de interconexión clasificados con equipo fabricado antes del 1º de julio de 1994.
- c. Otras designaciones de tipos de cables que satisfacen los requerimientos son: tipo TC (art. 340); tipo CL2, CL3 y PLTC (art. 725); tipo FPL (art. 760); tipo OFC y OFN (art. 770); tipo CM y MP (art. 800); tipo CATV (art. 820). A estas designaciones se les permiten las letras adicionales P, R o G.

Nota: Una definición de resistencia al fuego es estableciendo que los cables no propagan el fuego en la parte superior de la bandeja en la "Prueba de flama en charola vertical", referidos en la Norma para Cables Eléctricos, Cables y Cables Flexibles, ANSI/UL 1981-1991.

- e) Asegurar en su sitio los cables de alimentación, comunicaciones, conexiones, interconexión, y cajas asociadas, conectores y tomacorrientes que están catalogados como

parte o para equipo tecnológico informático, no requieren ser asegurados en su lugar.

- **Cables que no están en la sala de cómputo (645-6).** Los cables que se colocan más allá de la sala de cómputo, deben de cumplir con los requerimientos de este código.

Nota: Los circuitos de señalización se ven en el artículo 725, los de sistemas de incendio en el artículo 760, los circuitos de fibra óptica en el artículo 770 y los de comunicación en el artículo 800.

- **El subartículo 645-7** se refiere a penetraciones del límite de protección de resistencia al fuego.

- **Medios de desconexión (645-10).** La sala de cómputo debe estar provista de un medio de desconexión del suministro de energía eléctrica.

- **Fuentes ininterrumpibles de potencia (UPS) (645-11).** Los sistemas UPS en áreas de procesamiento de datos y cómputo electrónico, así como sus circuitos de alimentación y salida, deben cumplir con la sección 645-10, en donde los medios de desconexión deben desconectar también la batería de la carga. No se requiere medio de desconexión para fuentes de potencia de 750 VA o menos, derivados de un UPS o de circuitos de batería integrados a un equipo electrónico.

- **Puesta a tierra (645-15).** Todas las partes metálicas expuestas que no conducen corriente en un sistema informático, deben estar aterrizadas de acuerdo con lo establecido en el art. 250 o deben ser doblemente aislados. Sistemas de potencia derivados en equipos informáticos certificados que alimentan sistemas de cómputo a través de tomacorrientes o conjuntos de cables suministrados como parte del equipo, no se deben considerar separadamente derivados para propósitos del 250-5(d).

Notas:

1. Este equipo certificado proporciona los requerimientos de conexión y el aterrizaje de acuerdo con el subcapítulo 5 de art. 250.
2. Cuando se usan contactos del tipo de tierra aislada (sección 250-74, excepción 4).

III.9 Circuitos de comunicación (Art. 800).

- **Contenido (800-1).** Esta sección tiene disposiciones que se aplican en teléfonos, telégrafos (no incluye radios), alarmas contra robo e incendio, sistemas de estación central; sistemas de teléfonos que no están conectados a alguna central pública, pero que utilizan los mismos métodos, equipos y mantenimiento.
- El **subartículo 800-2** menciona definiciones mostradas en el artículo 100.
- El **subartículo 800-3** trata sobre cables híbridos para fuerza y comunicación.
- **Equipos (800-4).** Los equipos conectados eléctricamente a redes de comunicación deben estar correctamente certificados para este uso específico.
- El **subartículo 800-5** especifica sobre un acceso adecuado al equipo eléctrico localizado detrás de los tableros, especialmente diseñados para permitir el acceso.
- El **subartículo 800-6** indica que la ejecución mecánica de los trabajos de instalación debe ser limpia y profesional.
- En el **subartículo 800-10** se menciona lo relacionado a cables y alambres aéreos de comunicación.
- El **subartículo 800-11** especifica las acometidas subterráneas a edificios.
- En el **subartículo 800-12** se normaliza lo referente a circuitos que necesitan protectores primarios.
- **Conductores de pararrayos (800-13).** Cuando sea posible, se debe mantener una separación de por lo menos 1.83 m entre los conductores a la vista de sistemas de comunicación y conductores del pararrayos.
- El **subartículo 800-30** se refiere a dispositivos de protección.
- El **subartículo 800-31** detalla los requisitos del protector primario.

• El subartículo 800-32 menciona lo referente a los requisitos del protector secundario.

• **Aterrizaje de cables (800-33).** El revestimiento metálico de los cables de comunicación que entran al edificio, se debe aterrizar tan cerca como se pueda en el punto de entrada o interrumpirse tan cerca como sea posible del punto de entrada, por medio de una unión aislada o un dispositivo equivalente. Para nuestros propósitos el punto de entrada debe ser considerado que está en un punto de emergencia, a través de un muro exterior, de una losa de concreto, de una tubería rígida o una tubería metálica intermedia aterrizada a un electrodo de acuerdo con los artículos siguientes.

III.9.1 Métodos de aterrizaje (puesta a tierra).

• **Aterrizaje de cable y protector primario (800-40).** Cuando se requiera que las cubiertas metálicas de los cables, según el párrafo anterior, se pongan a tierra, los protectores primarios se deban aterrizar como se especifica a continuación:

a) Conductor aterrizado.

1. Aislamiento.- El conductor de aterrizaje debe estar aislado y aprobado para este propósito.
2. Material.- El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre u otro material conductor resistente a la corrosión, trenzado o sólido.
3. Tamaño.- El conductor de aterrizamiento no debe ser menor de calibre 14 AWG.
4. Recorrido en línea recta.- El conductor de puesta a tierra del electrodo de puesta a tierra debe instalarse de la manera tan recta y directa como sea posible.
5. Daños físicos.- Cuando sea necesario, el conductor de aterrizaje debe ser protegido de daño físico. Cuando el conductor de aterrizaje se encuentre en un ducto metálico, ambos extremos del ducto deben estar unidos al conductor, a la misma terminal o al mismo electrodo al que se conecta el conductor.

b) Electrodo.

El conductor de aterrizaje se debe conectar como sigue:

1. Al lugar más cercano posible:
 - (1) en el edificio o sistema de electrodos de aterrizaje del sistema;
 - (2) el sistema de tubería metálica aterrizada para agua;
 - (3) medios accesibles externos del servicio de alimentación a la caja;
 - (4) ducto metálico de la alimentación de fuerza;
 - (5) la caja de la

acometida de fuerza; (6) conductor del electrodo de aterrizaje o la cubierta metálica del conductor del electrodo de puesta a tierra; o (7) al conductor de aterrizaje, electrodo de aterrizaje de un edificio o el medio de desconexión de un edificio que está aterrizado a un electrodo.

2. Si el edificio o estructura en cuestión no tiene medio de puesta a tierra como se describe anteriormente o cualquiera de los electrodos descritos en 250-81; o
3. Si la estructura o edificio en cuestión no está aterrizado, como se describió en los puntos anteriores, a una estructura metálica bien aterrizada o a una varilla o tubo no menor de 1.52 m de longitud y 12.7 cm de diámetro enterrada, en la medida de lo posible, en terreno húmedo permanentemente, pero separada de los conductores del pararrayos y al menos 1.83 m de los electrodos de otros sistemas. Las tuberías de agua caliente o de vapor o conductores de varillas de pararrayos no se deben de usar como electrodos de protección.

c) Conexión de electrodos.

La conexión de los electrodos debe cumplir con el subartículo 250-115. Los conectores abrazaderas y zapatas utilizadas para fijar los conductores de tierra y unir los puentes a los electrodos de tierra o a cualquier otro que está ahogado en concreto o enterrados directamente, deben ser los adecuados para esta aplicación.

d) Unión de electrodos.

Se debe conectar un puente no menor de calibre No.6 de cobre o equivalente entre el electrodo de aterrizaje de comunicaciones y el sistema de electrodos de aterrizaje de la alimentación del edificio o estructura atendida, donde se usan electrodos por separado. Está permitido unir todos los electrodos individuales.

Notas:

- Ver la sección 250-86 para las varillas de pararrayos.
- La unión de los electrodos individuales limitará la diferencia de potencial entre ellos y los sistemas de alambrado individuales.

III. 10 Tablas comparativas.

Las siguientes tablas muestran la equivalencia de las diferentes normas consideradas, en cada uno de los puntos mencionados en los puntos anteriores. Como se mencionó, la Norma Oficial Mexicana y el NEC tienen la misma estructura, por lo que en las tablas se indica con una cruz (X) cuando el subartículo es equivalente en estas dos normas. Para el caso de la columna correspondiente a la norma canadiense (Canadian Standard Association), se anota el número del artículo que es equivalente al subartículo de la NOM y la NEC indicado. En su caso, el símbolo "&" señala que no existe equivalencia con el subartículo, esto es porque tal punto se encuentra dentro del CSA formando parte de otros artículos, por lo que se necesita conocer la aplicación específica para buscarlo en el CSA. Como ya se había anotado, el CSA tiene una estructura diferente a las NOM y la NEC

III. 10.1 Tabla comparativa entre normas de los subartículos del Artículo 200. Uso e identificación de los conductores puestos a tierra.

Subartículo y Título	NOM	NEC	CSA	Artículo
200-2. Disposiciones generales.	X	X	&	40
200-3. Conexión al sistema puesto a tierra.	X	X	&	41
200-6 Medios de identificación de los conductores puestos a tierra.	X	X	&	41
200-7. Uso de los colores blanco o gris natural.	X	X	&	41
200-9. Modo de identificación de terminales.	X	X	&	41
200-10. Identificación de terminales.	X	X	&	41
200-11 Polaridad de las conexiones.	X	X	&	42

III.10.2 Tabla comparativa entre normas de los subartículos del Artículo 210. Circuitos derivados

Subartículo y Título	NOM	NEC	CSA	Artículo
210-1. Alcance	X	X	&	42
210-3. Clasificación.	X	X	&	42
210-5. Código de colores para circuitos derivados.	X	X	&	42
210-7. Contactos y clavijas.	X	X	&	43

III.10.3 Tabla comparativa entre normas de los subartículos del Artículo 250. Puesta a tierra.

Subartículo	NEC	CSA	Página
Disposiciones generales.			
250-1. Campo de acción.	X	X	& 43
250-2. Artículos particulares aplicables a las instalaciones de cómputo y telecomunicaciones.	X	X	& 44
Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos.			
250-3. Sistemas de c.d.	X	X	10-102 44
250-5. Circuitos y sistemas de c.a.	X	X	10-114 44
250-21. Corrientes indeseables en los conductores de puesta a tierra .	X	X	10-200 46
250-23. Puesta a tierra de los sistemas de c.a. alimentados por una acometida	X	X	10-204 47
250-25. Conductores aterrizados - Sistemas de c.a.	X	X	10-210 49
250-26. Puesta a tierra de sistemas derivados separadamente de c.a.	X	X	& 49
250-27. Sistemas de conexiones de neutro aterrizado de alta impedancia.	X	X	& 50
Puesta a tierra de ductos y canalizaciones.			
250-32. Ductos y canalizaciones de alimentación.	X	X	10-300 51
250-33. Otros ductos de conductores y canalizaciones.	X	X	10-302 51
Puesta a tierra de los equipos.			
250-42 Fijación de equipos o conectados por métodos de alambrado permanente .	X	X	10-400 52
250-43. Equipos fijados en un lugar o conectados por métodos de alambrado permanente (fijados) específico.	X	X	10-402 52
250-44. Equipos no eléctricos.	X	X	10-406 53
250-45. Equipos conectados con cables y clavijas.	X	X	& 53
250-46. Separación de los pararrayos.	X	X	& 53

Subartículo y título (continuación)	NOI	NEC	OS	Página
Métodos de puesta a tierra (aterri-zaje).				
250-50. Conexiones del conductor del equipo de aterri-zaje.	X	X	&	53
250-51. Trayectoria efectiva de puesta a tierra.	X	X	10-500	54
250-53. Trayectoria de puesta a tierra hacia el electrodo de aterri-zaje en la acometida.	X	X	10-502	54
250-54. Electrodo común de aterri-zaje.	X	X	10-504	54
250-55. Cable de acometida subterránea.	X	X	10-506	55
250-56 Secciones cortas de ductos o charolas (canalizaciones).	X	X	10-508	55
250-57 Equipos fijos o conectados por métodos de alambrado permanente - puesta a tierra.	X	X	10-510	55
250-58. Equipo considerado efectivamente aterri-zado.	X	X	&	56
250-59. Equipo conectado por cordón o clavija.	X	X		56
250-61. Uso del conductor de circuito aterri-zado para puesta a tierra de equipos.	X	X	10-516	57
250-62. Conexiones de circuitos múltiples.	X	X	&	58
Uniones (puenteado).				
250-70. Generalidades.	X	X	&	58
250-71. Equipo de acometida.	X	X	10-604	58
250-72. Método de puenteo del equipo de acometida.	X	X	10-606	59
250-73. Armaduras o cintas metálicas de cable de acometida.	X	X	10-608	59
250-74. Conexión de la terminal aterri-zada del receptá-culo a la caja.	X	X	&	59
250-75. Puenteo de otros gabinetes.	X	X	10-610	60
250-77 Puente flojo en uniones de canalizaciones metálicas.	X	X	10-612	60
250-79. Puente de unión principal y del equipo.	X	X	10-616	61
250-80. Puenteo de sistemas de tubería y acero estructural expuesto.	X	X	10-902	62

Subartículo y Título (continuación)	NOM	NEB	OS/	Página
Sistemas de electrodos de puesta a tierra.				
250-81. Sistemas de electrodos de puesta a tierra.	X	X	10-700	63
250-83. Electrodos artificiales.	X	X	10-702	65
250-84. Resistencia de los electrodos artificiales.	X	X	&	67
250-86. Uso de los electrodos de pararrayos.	X	X	10-710	67
Conductores de puesta a tierra.				
250-91. Material.	X	X	10-802	67
250-92. Instalación.	X	X	10-806	69
250-94. Dimensiones del conductor de puesta a tierra en sistema de c.a.	X	X	10-812	71
250-95. Dimensiones del conductor de puesta a tierra del equipo.	X	X	&	72
Subartículo y Título (continuación)				
250-99. Continuidad del conductor de puesta a tierra del equipo.	X	X	&	73
Conexiones del conductor de puesta a tierra.				
250-112. Al electrodo de puesta a tierra.	X	X	&	74
250-113. A conductores o equipos.	X	X	&	75
250-114. Continuidad y fijación del conductor de aterrizaje del equipo a las cajas.	X	X	&	75
250-115. Conexión a los electrodos.	X	X	&	75
250-117. Protección de la fijación.	X	X	&	76
250-118. Superficies limpias.	X	X	&	76
250-119. Identificación de las terminales del dispositivo alambrado.	X	X	&	76

III.10.4 Tabla comparativa entre normas de los subartículos del artículo 280. Apartarrayos.

Subartículo y Título (continuación)	NEC	NFPA	OS	Página
280-1. Campo de aplicación.	X	X	&	77
280-2. Definición.	X	X	&	77
280-3. Cantidad requerida.	X	X	&	77
280-4. Selección de los Apartarrayos.	X	X	&	77
280-11. Ubicación.	X	X	&	78
280-12. Recorrido de las conexiones del apartarrayos.	X	X	&	78
280-21. Instalación en las acometidas de menos de 1 kV.	X	X	&	78
280-22. Instalación en el lado de la carga de acometidas de menos de 1 kV.	X	X	&	78

III.10.5 Tabla comparativa entre normas de los subartículos del artículo 645. Equipos de procesamiento de datos y cómputo electrónico.

Subartículo y Título	NEC	NFPA	OS	Página
645-1. Campo de aplicación.	X	X	&	78
645-2. Requerimientos especiales para las salas de cómputo.	X	X	&	78
645-5. Circuitos de alimentación y cables de interconexión.	X	X	&	79
645-6. Cables que no están en la sala de cómputo.	X	X	&	81
645-10 Medios de desconexión.	X	X		81
645-11 Fuentes ininterrumpibles de Potencia (UPS).	X	X		81
645-15. Puesta a tierra.	X	X	&	81

III.10.6 Tabla comparativa entre normas de los subartículos del artículo 800. Circuitos de comunicación

Subartículo y Título	NO	NEC	CSA	Página
800-1. Contenido.	X	X	&	82
800-13. Conductores de pararrayos.	X	X	&	82
800-33. Aterrizaje de cables.	X	X	60-700	83
800-40. Aterrizaje de cables y protector primario.	X	X	60-704 60-706 60-708 60-710	83

CAPITULO IV.

Disturbios más comunes en instalaciones de telecomunicaciones y sistemas de cómputo

IV.1 Introducción.

El uso de equipos electrónicos sensibles ha hecho cada vez más necesario contar con sistemas de alimentación y de tierra más confiables y seguros, que permitan el funcionamiento de estos equipos con un mínimo de disturbios. Muchas veces en la práctica no se hace una correcta aplicación de la norma, violándola inclusive o realizando conexiones incorrectas o peligrosas para el personal y equipo.

Desde los inicios del uso de la energía eléctrica se han buscado sistemas de potencia sin interrupciones, sobrevoltajes o distorsiones de onda, pero eliminar o reducir estos disturbios siempre ha sido un problema crítico. Asimismo, en la actualidad han surgido nuevas fuentes de disturbios al tiempo que los equipos se tornan más sensibles a ellos. Algunos de estos disturbios son generados por equipos adyacentes, por cableados incorrectos o por conexiones a tierra incorrectas.

Generalizando, podemos mencionar tres factores principales que afectan la operación de un sistema de energía:

- Una infraestructura inadecuada para la distribución de la energía a través de la instalación, causando fallas de potencia y fluctuaciones en el voltaje.
- Cableados de alimentación mal instalados e instalaciones del equipo mal hechas.
- Descargas atmosféricas frecuentes, combinado con un inadecuado sistema de tierra.

En lo referente a la potencia y al voltaje necesarios para alimentar a los equipos, se reconocen en general dos disturbios: excesivo e insuficiente voltaje. Estos dos disturbios son conocidos con diferentes nombres dependiendo de su duración. Asimismo, se pueden clasificar de

acuerdo con su origen, tales como transitorios por descargas eléctricas o por switcheo, fallas en sistemas de potencia y cargas no lineales. Existen también fuentes de disturbios no asociados con la alimentación del equipo, tales como descargas electrostáticas, interferencia electromagnética, diferencia del potencial en el sistema de tierra y errores de operación.

Para el caso de nuestro estudio, instalaciones de telecomunicaciones y de cómputo, analizaremos los fenómenos de descargas atmosféricas, transitorios por switcheo, descargas electrostáticas y compatibilidad electromagnética, por ser los de mayor relevancia. Esto debido a la frecuencia con que se presentan en las instalaciones, así como a las fallas que pueden provocar en los equipos y al peligro que representan para el personal.

IV.2 Descargas atmosféricas.

La descarga atmosférica es una manifestación de la electricidad presente en la atmósfera, de la cual aún se desconocen muchos aspectos de cómo es generada esta electricidad. Sin embargo, para contrarrestar un rayo y sus efectos es necesario entender las condiciones creadas por la electricidad atmosférica.

Los sobrevoltajes debidos a descargas atmosféricas, son el resultado tanto de impactos directos en los sistemas de potencia como de efectos indirectos. La corriente generada por una descarga alcanza amplitudes desde algunos miles de amperes hasta cientos de miles de amperes, generando un alto voltaje al circular la corriente de la descarga a través de los conductores. Los equipos alimentados por los sistemas de potencia raramente están expuestos a la corriente total generada por una descarga de este tipo, pero indirectamente se inducen sobrevoltajes en el circuito formado por los conductores y la tierra.

A grandes rasgos, una descarga eléctrica se inicia cuando una carga, llamada "leader phase" o "leader current", inicia un recorrido desde una nube hacia la superficie de la tierra. A partir de este momento otras cargas seguirán a la primera de una manera escalonada, golpeando en su recorrido a los electrones liberados de las moléculas de gas atmosférico, generando un canal de aire ionizado que sirve como conductor. Inmediatamente después de que la primera carga impacta en la tierra, se genera una corriente de retorno, es en esta fase donde se producen altas corrientes y se observa un resplandor. La corriente de retorno lleva corrientes del rango de algunos miles de amperes hasta más de 300 kA y es conducida por un enorme potencial de alrededor de cientos de millones de volts. Según un artículo aparecido en la revista *Scientific*

*American*¹ una descarga de este tipo puede alcanzar potenciales de aproximadamente 100 millones de volts. Este rayo viaja a velocidades que pueden aproximarse a la mitad de la velocidad de la luz con una corriente que puede fácilmente destruir cualquier objeto que encuentre en su camino.

Las tormentas son cuerpos eléctricamente cargados en una atmósfera que puede considerarse como semiconductor. Durante condiciones de tormenta la separación de carga dentro de la nube crece como consecuencia del cambio del potencial de la nube, entonces esta carga busca un punto donde la calidad aislante del aire se rompa convirtiéndose en conductor. El punto exacto de ruptura de la rigidez dieléctrica del aire varía con las condiciones atmosféricas.

El potencial en la base de la nube se considera generalmente de 100 volts con un campo electrostático resultante de 10 KV por metro de elevación sobre la superficie de la tierra. La acción de carga o separación de carga dentro de la tormenta normalmente deja la base de la nube con una fuerte carga negativa, aunque en algunos casos puede ser al contrario. La carga negativa resultante en la base de la nube induce una carga en la superficie de la tierra de potencial similar y con polaridad positiva, concentrada exactamente en la superficie debajo de la nube, del mismo tamaño y forma de la nube, como se observa en la figura IV.1. De esta forma, estructuras que se encuentren entre la tierra y las nubes son igualmente cargadas. Sin embargo, el potencial que les rodea es elevado ya que es menor el espacio de aire que los separa de la nube.

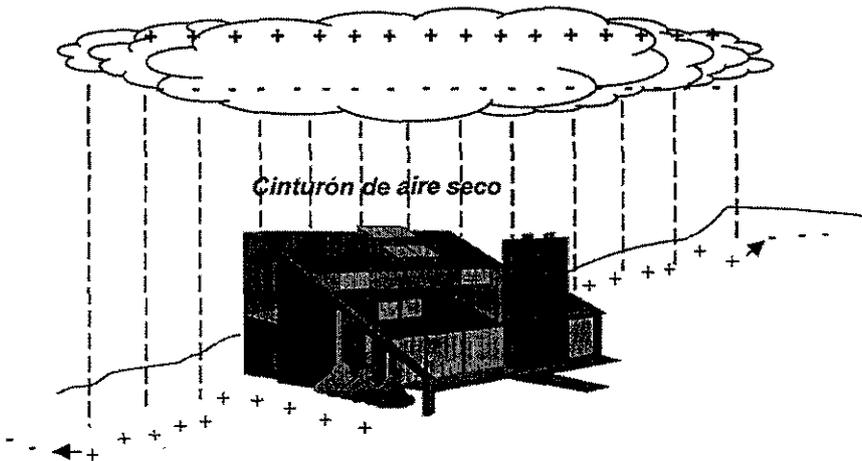


Figura IV.1 Influencia de la nube cargada sobre la superficie de una instalación.

¹ Lightning Control with Lasers. Scientific American Vol. 277, number 2. August 1997

Si la intensidad de la tormenta crece, la separación de carga dentro de la nube seguirá incrementándose, al mismo tiempo que el cinturón de aire seco entre la nube y la tierra se irá humedeciendo. En este momento se forman las llamadas "phase leaders", las cuales son cargas moviéndose desde la base de la nube hacia la superficie de la tierra en intervalos de alrededor de 150 pies, originando que la carga positiva de la tierra sea atraída hacia arriba por medio de corrientes que salen desde el borde de cualquier objeto aterrizado, comúnmente orillas, esquinas, bordes terminales o puntas, como se muestra en la figura IV.2.

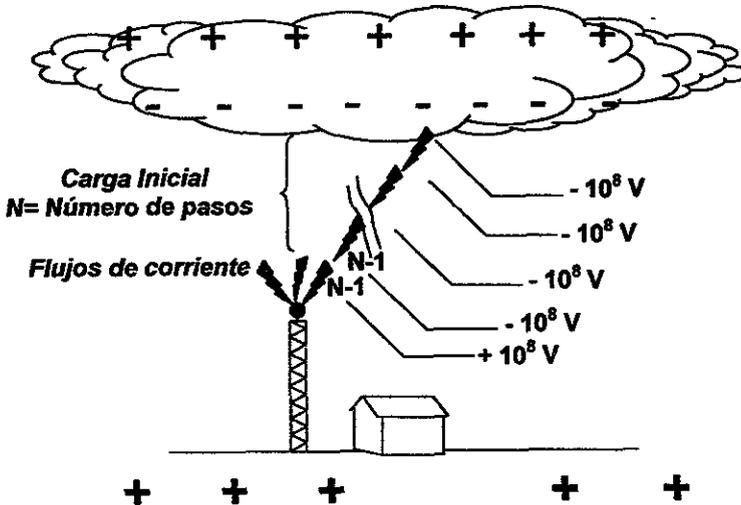


Figura IV.2 Naturaleza del rayo.

Después de que el canal del rayo alcanza la tierra, su función es mantener un canal conductor entre dos cuerpos para neutralizar la diferencia de cargas. Puesto que hubo carga sobre la superficie de la tierra, la corriente del rayo fluye a lo largo de la superficie de la tierra, ver figura IV.3.

Entender este principio es de suma importancia para comprender los conceptos de protección contra los rayos, ya que un sistema de protección contra rayos es en realidad un sistema de neutralización de cargas.

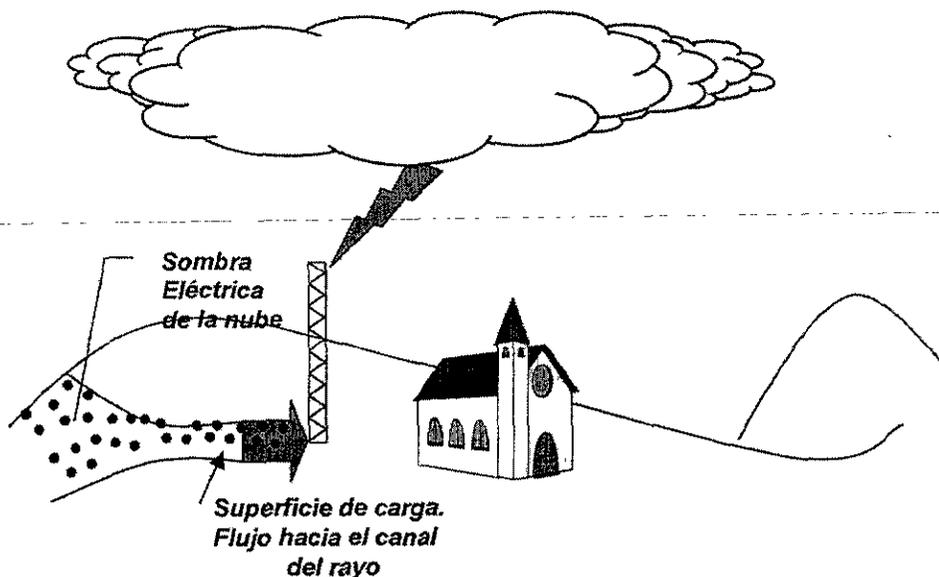


Figura IV.3. Neutralización de la carga.

IV.2.1 Consideraciones en la protección contra rayos.

El peligro de un impacto de rayo para cualquier instalación, es una función relacionada con factores asociados con la propia instalación y su ubicación. Estos factores incluyen localización geográfica, tamaño, tipo y naturaleza de la instalación; además de la naturaleza del impacto del rayo.

Las descargas atmosféricas pueden ser en cierto modo predecibles en una cierta región geográfica. El factor de exposición a las descargas atmosféricas del sistema está en función de su tamaño y del nivel isocerámico del área. El número cerámico determina el promedio de tormentas al año en un área. El mapa de la figura IV.4 es la carta mundial de niveles cerámicos. Las zonas con sombreado claro indican las regiones con nivel cerámico entre 20 y 80, mientras que las áreas con sombreado oscuro indican las regiones con mayor actividad de tormentas a escala mundial con un nivel cerámico entre 80 y 180. Es obvio que a mayor área que ocupe una instalación la posibilidad de incidencia de un rayo aumenta.

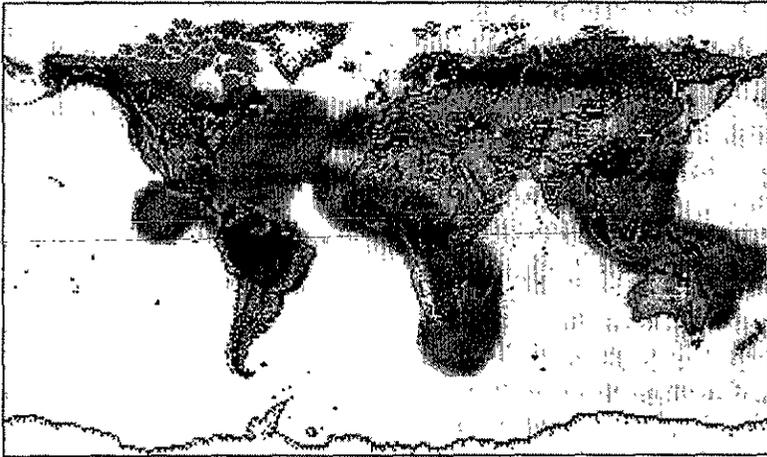


Figura IV.4. Mapa Isocerámico Mundial.

Las características de una estructura, tales como altura, terminación en punta, tamaño, orientación, etc., influyen en el riesgo de ser impactada por rayos, estructuras altas tienden a atraer los rayos. Por ejemplo, puesto que las nubes de una tormenta tienden a viajar a alturas específicas, con su base a unos 5,000 o 10,000 pies (1,524 o 3,048 mts.), las estructuras que se encuentren en áreas montañosas tienden a provocar rayos más fácilmente.

La naturaleza de un impacto por rayo es una función estadística que varía significativamente sobre un amplio rango de valores. Los parámetros más importantes se enlistan en la tabla IV.1

Parámetros de Impacto	
Carga total transferida	2 a 200 Coulombs
Corrientes de pico alcanzadas	200 a 400,000 amperes
Tiempo (duración) a valor medio	10 a 200 microsegundos/rayo
Tiempo de elevación de la corriente a 90%	Unos pocos nanosegundos a 30 microseg.
Número de rayos en un relámpago ²	3 a 26 (promedio <4)

Tabla IV.1.

² Un relámpago se define como el canal ionizado resultante de la descarga eléctrica y puede contener de 1 a 26 o más rayos antes de que se complete.

Para proteger de las descargas atmosféricas, el diseñador debe entender los parámetros relacionados con el fenómeno y diseñar un sistema de protección tal que soporte al fenómeno. Existen dos maneras de solucionar el problema:

1. Remediarlo. Diseñar para desviar el canal del rayo y neutralizar todos los efectos secundarios.
2. Prevenirlo. Diseñar para prevenir la acumulación de la carga en un área determinada.

Para remediar el problema el sistema deberá incluir en su diseño todos los parámetros listados en la tabla IV.1. En cambio un sistema preventivo necesitará solamente drenar un pequeño aumento de carga continuamente. Por ejemplo, el 100% de un rayo en el pico puede ser de 20,000 amperes, en aproximadamente 20 microsegundos. Eso es equivalente a solamente 1/3 de ampere por minuto. Un sistema que continuamente libere la carga podría drenar más de esa cantidad durante una tormenta mediana.

Los transitorios inducidos por descargas atmosféricas en instalaciones de telecomunicaciones y de cómputo pueden ocasionar fallas en el equipo al generar datos o instrucciones erróneas, aún si estos equipos están apagados. En equipos desconectados de la fuente de alimentación, los daños se pueden generar a través de las antenas de transmisión o a través de las conexiones de las líneas de transmisión de datos. Para asegurar una operación confiable de los equipos electrónicos como sistemas de cómputo, enlaces de computadoras, sistemas de voz/datos y demás equipos electrónicos sensibles, se debe diseñar una protección efectiva contra rayos, especialmente en áreas de alto índice de ocurrencias.

Resumiendo, las fuentes de potencia y los componentes semiconductores usados en el equipo electrónico, pueden fallar debido a los sobrevoltajes generados por descargas atmosféricas, esos sobrevoltajes ocasionan efectos tales como:

- Destrucción de la fuente de poder del equipo, incluyendo filtros de interferencias electromagnéticas. Asimismo, pueden dañar los bastidores del equipo. El equipo dañado normalmente está localizado cerca de la fuente.
- Los transitorios generados pueden dañar o destruir semiconductores de potencia en las fuentes de potencia.
- Los transitorios pueden generar falsos contactos originando corto circuitos.
- Los circuitos de alarmas pueden activarse como consecuencia de falsos contactos.
- Daño de semiconductores. La mayoría de estos dispositivos no soportan voltajes que

excedan su rango de operación.

- El sistema puede generar mensajes erróneos, reinicios del equipo, bloqueos y errores de lectura y escritura en los drives de operación.

El sistema de protección contra rayos debe garantizar que la descarga del rayo será drenada lejos de donde se encuentra el equipo electrónico. En instalaciones de telecomunicaciones la protección contra descargas atmosféricas es esencial. Aún cuando se cumplen las normas federales y estatales, se requiere investigación adicional y/o modificaciones de acuerdo con las condiciones locales, requerimientos del equipo y de seguridad.

IV.3 Transitorios por Switcheo.

Los transitorios son impulsos de voltaje de alta velocidad superpuestos sobre la onda senoidal de potencia de c.a. o viajan en las líneas de señales y datos. Son caracterizados por un tiempo de ascenso muy rápido, típicamente en el orden de microsegundos, con una característica de corriente de descarga similar a la de un capacitor. Los transitorios en un sistema eléctrico de distribución se encuentran específicamente caracterizados por lo siguiente:

1. Alto voltaje (de 50 volts a varios miles de kV).
2. Alta corriente (de varios amperes a kiloamperes).
3. Patrones no repetitivos de frecuencia.

La conmutación de cargas (switcheo) de la distribución de la instalación eléctrica es primariamente inductiva por medio de alambres y transformadores. Conmutando estas cargas encendiéndolas y apagándolas se crea un voltaje transitorio debido a los cambios rápidos de corriente. El switcheo es una de las principales causas de disturbios en equipos electrónicos. Cada vez que un circuito formado por inductancias y capacitancias es encendido o apagado, ocurre un transitorio debido a que el voltaje y la corriente no alcanzan instantáneamente su valor final. Estos disturbios son inevitables y dependen del nivel de potencia que demanda la carga al ser conectada o desconectada, asimismo dependen de la corriente de corto circuito del sistema al cual se conecta la carga. El switcheo de grandes cargas puede producir cambios en el voltaje que sobrepasen la capacidad de respuesta del circuito a transitorios de voltaje. El uso de equipo de conversión de potencia y reguladores de voltajes operando en frecuencias altas genera constantes disturbios por switcheo.

Los sobrevoltajes por switcheo son originados por cambios muy rápidos en el flujo de la

corriente dentro de un sistema eléctrico. Físicamente se pueden observar estos sobrevoltajes por el incremento o reducción de los campos eléctricos y magnéticos, gráficamente se observa que la onda de la señal toma varias formas, dependiendo de la configuración del sistema y de las condiciones de operación. Causas comunes de generación de disturbios por switcheo son:

1. Energizar o desenergizar fuentes de potencia o cargas reactivas.
2. Arcos de energía asociados a pérdida de conexión o fallas a tierra.
3. Switcheo de capacitores para corrección del factor de potencia.

La figura IV.5 muestra en forma general una red de potencia formada por auto-inductancias L_L , inductancias mutuas L_M y capacitancias C . Los cambios en la corriente que ocurren en este circuito pueden ser descritos por medio de las leyes de Kirchhoff. Considerando que L_L , L_M y C son invariables con el tiempo, la corriente total que circula por el circuito puede ser dividida en dos componentes: constante y transitoria. El componente transitorio de la corriente genera los siguientes efectos en un circuito como el de la figura mencionada:

1. No provoca discontinuidad en el voltaje y la corriente al momento del switcheo.
2. El voltaje y la corriente comienzan a decaer conforme va transcurriendo el tiempo.
3. El voltaje generado con el disturbio se determina por el voltaje inicial al producirse el switcheo y por el valor de la capacitancia del circuito.

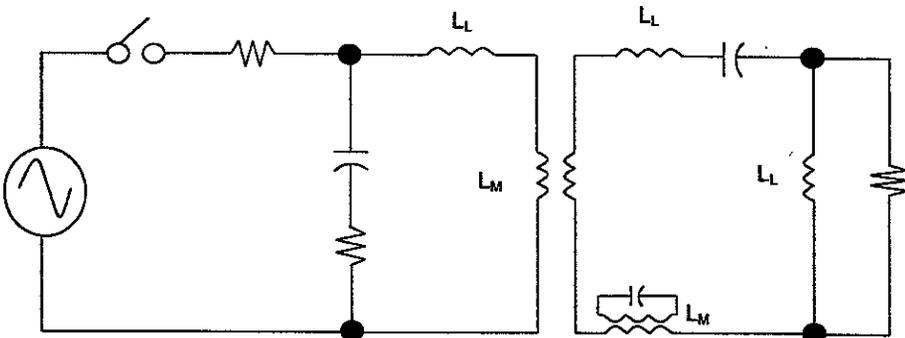


Figura IV.5 Red de potencia general.

Aplicando estos conceptos al caso de un sistema de distribución como el mostrado en la figura IV.6, se establece que:

1. Los valores de las oscilaciones transitorias se determinan por la corriente de switcheo en las inductancias y el voltaje de switcheo en las capacitancias.
2. La corriente y el voltaje de switcheo cambian sinusoidalmente y tienen una fase diferente.
3. El voltaje de switcheo puede ser teóricamente el doble del voltaje de la fuente de alimentación.

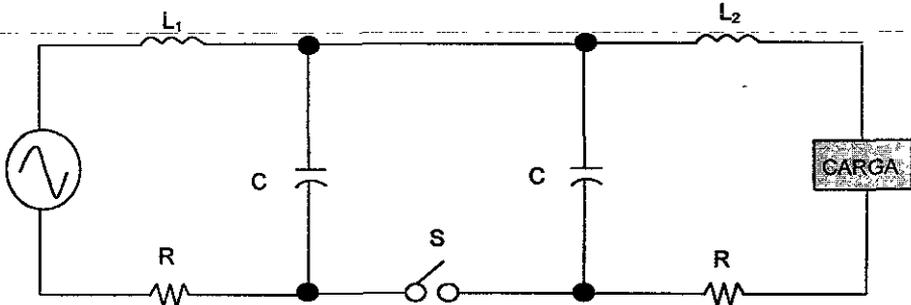


Figura IV.6 Sistema de distribución de c.a. típico de un edificio.

Las gráficas (a) y (b) de la figura IV.7 muestran el comportamiento del sobrevoltaje y la corriente que se generan al ocurrir el switcheo. Como se observa, antes de la interrupción por switcheo el voltaje es cero, al ocurrir el switcheo el voltaje va incrementándose lentamente seguido por una oscilación amortiguada, ver figura IV.7.a. Si el arco de switcheo es inestable (circuito inductivo-capacitivo), entonces la corriente se verá interrumpida y se reiniciará varias veces presentándose, por lapsos, condiciones de circuito abierto, ver figura IV.7.b.

En general, el rápido incremento de la onda de voltaje generado por el switcheo se ve retardado por la discontinuidad de capacitancias e inductancias presentes desde la fuente del switcheo hasta el equipo alimentado; este efecto atenuador del sistema de distribución de c.a. depende del tiempo de incremento del sobrevoltaje. Las amplitudes de los sobrevoltajes se ven reducidas por efecto de las pérdidas en la línea de alimentación (a mayor longitud mayor pérdida). En otras palabras, entre más corta sea la distancia eléctrica entre el equipo y la fuente de switcheo mayor será el efecto de los transitorios generados.

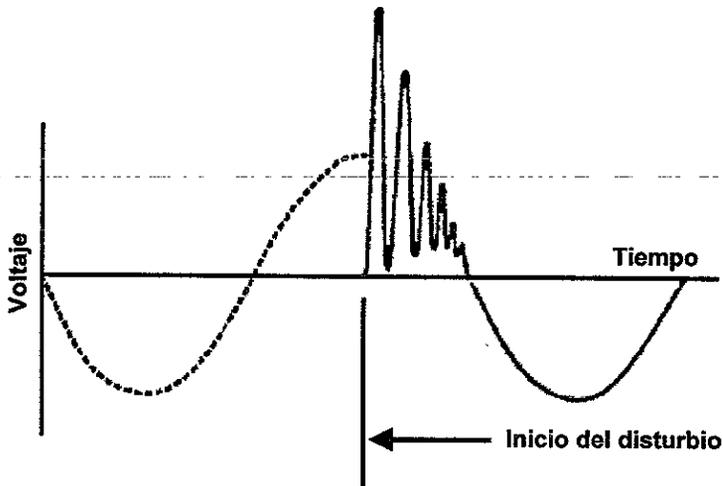


Figura IV.7.a Comportamiento del voltaje al ocurrir un disturbio por switcheo.

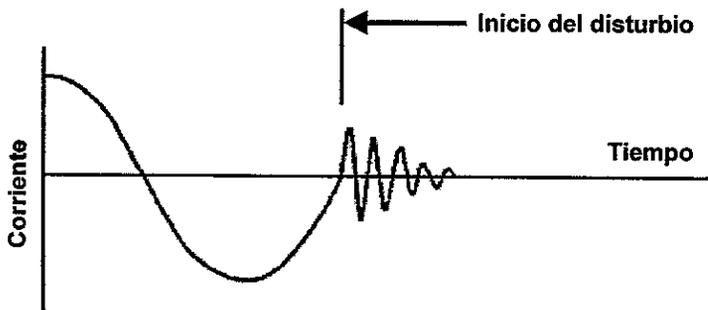


Figura IV.7.b Comportamiento de la corriente al ocurrir un disturbio por switcheo.

Las condiciones de fluctuación del voltaje también pueden generar efectos como:

- Sobre calentamiento o destrucción de componentes por operar con bajo voltaje.
- Daños en diodos de potencia y capacitores a causa de los sobrevoltajes.

Las sobretensiones transitorias entonces son variaciones en la forma de onda de tensión, dando como resultado condiciones de sobretensión durante una fracción de ciclo de la frecuencia fundamental. Como se ha mencionado, las fuentes comunes de estos transitorios, además de las descargas eléctricas, son operación de dispositivos de interrupción y el arqueo por conexiones flojas.

Para equipo eléctrico tradicional, estas sobretensiones son manejadas diseñando el equipo para soportar sobretensiones de magnitudes de varias veces el voltaje pico normal. Al mismo tiempo se instalan pararrayos y capacitores de frente de onda con objeto de asegurar que los voltajes no excedan las condiciones de diseño.

Por otra parte, la caída de tensión momentánea se ha vuelto un problema constante en los últimos años. Esta caída produce efectos como la inestabilidad de relojes digitales y en su caso más crítico la interrupción de procesos en la industria.

IV.4 Descargas electrostáticas.

Las descargas electrostáticas son como un rayo en miniatura. Cuando dos objetos se encuentran a diferentes potenciales y uno se acerca al otro o se tocan, se produce una descarga eléctrica que equilibra la diferencia de voltaje. El operador de una computadora caminando por un piso alfombrado puede acumular carga eléctrica hasta alcanzar un potencial de varios miles de volts, diferentes a los del equipo de cómputo. La referencia del sistema de cómputo es la tierra del edificio de acuerdo con la normatividad, si el operador entra en contacto con el equipo antes de descargarse a tierra, la energía electrostática será igualada a través del equipo por medio del teclado u algún otro componente. Si la trayectoria de descarga se efectúa a través de los componentes del circuito integrado, el resultado puede ser la pérdida de datos o inclusive daño físico al circuito.

Una descarga electrostática contiene una gran nivel de ruido de alta frecuencia, el cual requiere una trayectoria a tierra de baja impedancia. Las descargas electrostáticas generalmente tienen una potencia de referencia alta, pero transportan poca cantidad de energía. Existen diferentes tipos de generación de estas descargas como son: triboelectrificación, inducción de cargas y efecto corona. Estas cargas generalmente son el resultado de la fricción de dos materiales con diferentes energías en la superficie y sin un medio conductor entre ellos. La descarga se efectúa cuando se establece un medio conductor (arco de descarga) entre ellos.

Los sobrevoltajes por descargas electrostáticas pueden dañar principalmente los dispositivos semiconductores en equipos electrónicos sensibles, donde el voltaje de la descarga puede ser del rango de 5 a 40 kV, mientras que la energía puede ser del orden de décimas de mJ hasta decenas de mJ. Estos sobrevoltajes se caracterizan por su alto incremento del voltaje con respecto al tiempo con rangos de decaimiento relativamente lentos, comparados con los rangos en descargas atmosféricas y sobrevoltajes por switcheo.

Cuando ocurre un movimiento entre dos cuerpos, uno de los cuerpos pierde o gana electrones más fácilmente que el otro, particularmente si estos no son similares. En otras palabras, los electrones son desplazados o removidos de un cuerpo y transferidos al otro. El cuerpo que pierde los electrones se carga positivamente mientras que el que gana los electrones adquiere una carga negativa.

La transferencia de electrones se produce rápidamente y disminuye al tiempo que las energías encuentran el punto de equilibrio. El efecto de generación de electricidad estática formada de esta manera es llamado efecto triboeléctrico, donde el voltaje generado puede variar entre 100 y 35,000 volts, como se muestra en la tabla IV.2, y su amplitud dependerá de la velocidad de movimiento o separación de los tipos de materiales, humedad, características de superficie y la geometría de la superficie.

Método de generación de estática	Voltaje máximo (V)	Voltaje mínimo (V)
Caminando sobre alfombra	35 000 V	1 500 V
Caminando sobre piso de vinilo (pvc)	12 000 V	250 V
Operador de equipo en banco de trabajo	6 000 V	100 V
Levantar una bolsa de plástico sobre mesa de trabajo	20 000 V	1 200 V
Silla de trabajo rellena de poliuretano	18 000 V	1 500 V
Circuito integrado en tubo de plástico no antiestático	3 000 V	500 V

Tabla IV.2 Voltajes electrostáticos típicos que se alcanzan en diversas situaciones donde hay electrificación por contacto directo³.

³ DOD-HDBK-263. Electrostatic Discharge Control Handbook. Department of Defense (U.S.), mayo 1980.

Una vez que la carga es generada, su distribución dependerá de la resistividad y del área de superficie del material. Entre más conductivo sea el material la carga se distribuirá más rápido; entre más extensa sea la superficie por donde se desplaza la carga, menor será la densidad de carga y el nivel del voltaje residual. Al colocar un objeto con una carga electrostática en una superficie estática disipativa o superficie conductiva, la carga se disipa gradualmente o decae. Aunque este decaimiento pareciera ser instantáneo, puede tomar desde varios centésimos de segundo hasta varios segundos. El tiempo de decaimiento generalmente se mide cargando una sección de material con un cierto voltaje de carga estática y midiendo el tiempo que tome el voltaje en decaer a cierto nivel dado, como por ejemplo 10% de su valor original, este tiempo de decaimiento está directamente relacionado con la conductividad del material.

IV.5 Compatibilidad electromagnética.

En la actualidad nuestra vida está dominada por el uso de la energía eléctrica, con un gran aumento en el uso de sistemas eléctricos, electrónicos y electromagnéticos, los cuales generan una alta tasa de emisiones electromagnéticas. Es decir, nuestra vida se desarrolla en un espectro electromagnético saturado.

La energía eléctrica desde su generación hasta su distribución interactúa con una gran variedad de sistemas, tales como sistemas de telecomunicaciones y de cómputo. Cuando esta interacción altera el funcionamiento de uno de los sistemas se plantean problemas tanto tecnológicos como económicos. Es decir, si un sistema funciona deficientemente debido al ambiente electromagnético es necesario protegerlo, presentándose un problema tecnológico al tiempo que incrementa los costos de operación del sistema.

El estudio de los fenómenos relacionados con las emisiones electromagnéticas y la interacción entre sistemas que operan con energía eléctrica se conoce como compatibilidad electromagnética. Según el diccionario del IEEE⁴ la compatibilidad electromagnética es la habilidad que tiene un sistema o equipo eléctrico, electromecánico o electrónico de funcionar satisfactoriamente en el ambiente electromagnético en el cual fue creado, sin introducir perturbaciones en ese ambiente ni en el de otros sistemas, así como tolerar, dentro de un determinado nivel, las perturbaciones producidas por otros sistemas. Internacionalmente se denomina por las siglas EMC (Electromagnetic Compatibility)

⁴ IEEE Standard Dictionary of Electrical and Dictionary Terms, ANSI/IEEE Std. 100.

En general podemos listar tres elementos para definir cualquier problema de compatibilidad electromagnética: en primer lugar debe haber una fuente de emisiones electromagnéticas (emisor), un receptor que no pueda funcionar adecuadamente debido a estas emisiones y finalmente una vía entre emisor y receptor tal que permita la interferencia electromagnética. Como fuentes de emisiones electromagnéticas se encuentran radio transmisores, líneas de transmisión, circuitos electrónicos, sistemas de alumbrado, motores eléctricos y, en general, cualquier fuente que utilice o genere energía electromagnética; como receptores podemos mencionar radio receptores, circuitos electrónicos, personas y cualquier dispositivo que utilice o sea sensible a la energía electromagnética. Por otra parte, el método de acoplamiento electromagnético entre emisor y receptor pueden ser del tipo conductivo, inductivo, capacitivo, radiado o alguna combinación de ellos.

Otros fenómenos relacionados con el estudio de la compatibilidad electromagnética son:

Interferencia electromagnética (EMI): Deterioro de una señal electromagnética debido a una perturbación electromagnética.

Susceptibilidad Electromagnética (EMS): Grado de sensibilidad de un dispositivo, equipo o sistema a las EMI, es decir, el nivel de susceptibilidad a partir del cual los sistemas funcionan correctamente en un ambiente de interferencias.

Pulsos Electromagnéticos (EMP): Con este término se identifican las EMI con carácter impulsivo, emitidas por descargas eléctricas naturales o generadas por el hombre.

Descargas Electrostáticas (ESD): Fenómeno de transmisión o flujo de cargas eléctricas en forma discontinua y aleatoria de un cuerpo cargado a otro descargado. Este fenómeno es muy común en el manejo de dispositivos semiconductores.

Interferencias de Radio Frecuencias (RFI): Interferencias que se emiten en el rango de frecuencias de radio, internacionalmente se especifica este rango desde 9 kHz hasta 300 GHz.

El análisis de la compatibilidad electromagnética depende de los niveles de perturbación de las interferencias del sistema generador de emisiones electromagnéticas y de la susceptibilidad del sistema afectado. Dichas interferencias requieren de un medio de transmisión que, como se ha

mencionado, pueden ser radiadas, inducidas o conducidas. Las interferencias radiadas utilizan como medio de transmisión el espacio libre y se generan en campos lejanos, este fenómeno es común entre antenas. Las interferencias inducidas también utilizan el espacio libre para transmitirse pero se presentan en campos cercanos, por ejemplo estas interferencias son comunes entre conductores. Las interferencias conducidas requieren de un medio físico como medio de transmisión, por ejemplo los cables de alimentación, cables de interconexión o cableado hacia el sistema de tierra.

El ruido electromagnético es una de las perturbaciones electromagnéticas que afecta a todo sistema eléctrico y electrónico, en especial a los equipos de telecomunicaciones y de cómputo dada su alta sensibilidad. Estas perturbaciones son utilizadas como criterios de fiabilidad de los sistemas, lo cual se realiza comparando el nivel de señal útil con el ruido (razón señal a ruido) dentro de un intervalo de frecuencia conocido como ancho de banda de ruido. En los sistemas de radiocomunicación se consideran varios tipos de ruidos para el cálculo de la razón señal-ruido. Para los sistemas de banda ancha, el ruido se considera de dos tipos: el interno (receptor) y el externo (la antena o el sensor de recepción). El ruido interno normalmente se considera del tipo Gaussiano y es el utilizado para calcular el ancho de banda de ruido del sistema. El ruido externo es señal electromagnética radiada de origen natural (atmosférica) o de fuentes que radian intencionalmente (sistemas de radio comunicación) y no intencionalmente, como sistemas de energía eléctrica de generación y distribución.

IV.5.1 Enfoque de la Compatibilidad Electromagnética.

Para contrarrestar los efectos de la compatibilidad electromagnética se manejan tres enfoques diferentes:

a) Diseño.

Diseñar los dispositivos, aparatos y sistemas sin ninguna consideración de compatibilidad y *posteriormente suprimir las emisiones indeseables, reduciendo la degradación en el funcionamiento de los dispositivos.*

b) Especificaciones.

Imponer especificaciones y normas rígidas durante la planeación y diseño de los equipos y/o sistemas. Aunque este enfoque no asegura completamente la compatibilidad electromagnética cuando los dispositivos estén en condiciones de operación, es importante

resaltar que las normas y especificaciones respecto a este fenómeno de los aparatos, dispositivos y sistemas son indispensables.

c) Responsabilidad.

Los ingenieros, técnicos y usuarios deben responsabilizarse de la planeación, diseño, instalación y operación de los aparatos y sistemas para asegurar una compatibilidad electromagnética. Este enfoque permite hacer uso eficiente del espectro electromagnético, el cual es un recurso natural de interés económico y social muy importante para la vida moderna.

IV.5.2 Compatibilidad electromagnética de los sistemas de radiocomunicación.

En radiocomunicación la compatibilidad electromagnética es la capacidad de los transmisores, receptores y todo el sistema para operar tal como fueron diseñados en un ambiente radioeléctrico dado, sin que su funcionamiento se vea afectado ni que haya degradado el desempeño de otros sistemas. Es importante considerar las fuentes potenciales de interferencia electromagnéticas (EMI), los mecanismos probables de acoplamiento y la susceptibilidad de los radio receptores.

Como se mencionó anteriormente cualquier dispositivo, aparato o sistema electromagnético, eléctrico o electrónico puede ser una fuente potencial de interferencia, así como también es susceptible a ser interferido. Podemos clasificar las fuentes de interferencia en:

- a) Por el origen: Generadas por la actividad humana o naturales.
- b) Por el tipo de disturbios: Coherentes o incoherentes, banda ancha o angosta.
- c) Por la función de la fuente: Transmisor o fuente intencional o no intencional.

En un medio electromagnético la energía cinética actúa en el campo magnético, mientras que la energía potencial actúa en el campo eléctrico. Las ondas mecánicas para propagarse necesitan que el medio tenga dos propiedades: inercia y elasticidad. La elasticidad es necesaria para proporcionar una fuerza que tiende a restaurar una partícula desplazada del medio a su posición primitiva y la inercia es necesaria para que la partícula desplazada transmita su impulso a una partícula contigua. Así, en una onda mecánica viajera, una parte del medio perturba a la parte adyacente transfiriéndole energía. Esta porción del medio perturba a su vez a otra parte, causando así un flujo de energía en una dirección dada lejos del punto emisor.

El medio en el que las ondas electromagnéticas se propagan no necesita poseer inercia y elasticidad, sino más bien la capacidad de almacenar energía en los campos eléctricos y magnéticos. Normalmente en un medio electromagnético se definen los vectores E como la intensidad de campo eléctrico (análoga a la energía potencial) y H como la intensidad de campo magnético (análogo a la energía cinética) con magnitud y dirección en todos los puntos del espacio.

Las ondas electromagnéticas al no ser ondas elásticas se pueden propagar en el vacío. La propagación de las ondas electromagnéticas se realiza al variar los campos eléctricos y magnéticos tanto en el espacio como en el tiempo. En términos técnicos, la propagación de una onda (mecánica o electromagnética) es el resultado que la energía cinética de un punto se convierta en energía potencial en el punto adyacente y viceversa. La razón de avance de las perturbaciones o velocidad de propagación está determinada por las constantes del medio.

De acuerdo con el movimiento de las perturbaciones con respecto a la dirección de propagación podemos mencionar que las ondas electromagnéticas son transversales, debido a que las variaciones de los campos eléctricos y magnéticos ocurren en una dirección perpendicular a la dirección de la propagación.

En equipos de telecomunicaciones y de cómputo, los procesadores usados operan a frecuencias de reloj, en un rango de 5 megahertz hasta frecuencias mayores de 60 megahertz. En este rango de frecuencia el cableado de control se convierte en un circuito de radio, en lugar de acarrear únicamente señales de control, el cableado puede exhibir resonancia, acople capacitivo o inductivo y, por consiguiente, efecto pelicular o de superficie. La resonancia ocurre cuando la longitud de los cables es igual a la longitud de onda, y son más fuertes en múltiplos de $1/4$ de longitud de onda.

El reloj y las frecuencias de datos de un sistema, cuando son transmitidas por el aire, se pueden convertir en ruido eléctrico para otro sistema que inadvertidamente las reciba. Este ruido eléctrico, actuando en la fuente de energía de los equipos electrónicos basados en microprocesadores, puede causar perturbaciones momentáneas y/o sostenidas en el funcionamiento del equipo, pérdida de memoria y aún degradación o destrucción de los componentes electrónicos.

Capítulo V. Recomendaciones para mejorar la protección del personal y del equipo

V.1 Introducción.

Los sistemas electrónicos y eléctricos utilizados actualmente en telecomunicaciones y computación, pueden ser más sensibles a los disturbios en c.a. que las cargas convencionales manejadas en instalaciones industriales o comerciales.

Los efectos ocasionados por disturbios de potencia en equipos sensibles son de una amplia variedad, incluyendo errores en datos, caída del sistema, pérdida de la memoria del software, etc. En muchos casos es difícil determinar el origen de los disturbios, ya sea por la magnitud de la instalación o por el diseño de la misma. Por lo que protecciones como el sistema de tierra y sistema contra descargas atmosféricas, deben estar perfectamente diseñadas para prevenir estos disturbios o por lo menos disminuir sus efectos.

Un correcto funcionamiento del equipo electrónico se logra, entre otras cosas, teniendo una correcta instalación del mismo y siguiendo los estándares, normas y especificaciones necesarios. Particularmente importantes son el suministro de energía con que se alimenta dicho equipo y el sistema de tierra con que se proteja la instalación. Las incompatibilidades entre los equipos y el sistema de tierra ocasionan un alto número de disturbios, pero la más alta prioridad en la instalación siempre se debe dar a la seguridad del personal.

El presente capítulo enlista una serie de recomendaciones para la instalación y manejo de los equipos electrónicos modernos, de tal manera que se disminuyan los disturbios descritos en el capítulo anterior. Estas recomendaciones se hacen necesarias para obtener un correcto funcionamiento de los equipos electrónicos sensibles, que conforman todo tipo de instalaciones de telecomunicaciones y de cómputo, de acuerdo con códigos, estándares y regulaciones nacionales e internacionales.

V.2 Instalación Típica de Telecomunicaciones y de Cómputo.

Una instalación de telecomunicaciones cuenta con una amplia gama de equipos, los cuales podemos clasificar en:

1. **Fosa de cables.**- Es el área dentro de la instalación en la que entran los cables externos al edificio. La fosa de cables está equipada con tubos y soportes metálicos que se utilizan para soportar los cables. Existen diferentes tipos de fosa de cables, dependiendo del tipo de cables que se instale, estos pueden ser cable telefónico, coaxial, de c.a., fibra óptica, etc.
2. **Equipo c.d.**- El conjunto de equipos de c.d. consta de rectificadores, convertidores, baterías, distribuidores de c.d. e inversores.
3. **Equipo de c.a.**- Los equipos de fuerza de c.a. que se manejan dentro de las instalaciones de telecomunicaciones son: subestaciones, transformadores, máquinas de emergencia, tableros de protección y distribución.
4. **Equipo de aire acondicionado.**- El equipo de cómputo, de conmutación y de transmisión deben trabajar bajo ciertas condiciones ambientales, por lo que el clima artificial es básico para el buen funcionamiento de los equipos.
5. **Equipo de transmisión.**- Los equipos de transmisión pueden ser de microondas, radio, fibra óptica, PCM, SDH, etc. En algunos casos estos equipos pueden estar a la intemperie, expuestos al medio ambiente y por lo tanto más propensos a recibir descargas eléctricas, como por ejemplo las torres de transmisión de microondas o celulares.
6. **Equipo de conmutación.**- Este equipo es de máxima importancia dentro de una instalación de telecomunicaciones, ya que es el equipo encargado de manejar el tráfico de llamadas, además de controlar el proceso de facturación. Este equipo se encuentra aislado de todos los demás equipos y salas.
7. **Equipo de cómputo.**- Debido a la alta relación entre las telecomunicaciones y las informática, en la actualidad es indispensable contar con salas de cómputo especiales para el control y supervisión de los equipos. Por lo que una instalación de telecomunicaciones cuenta con una o varias salas de cómputo para estos propósitos.

8. **Equipo misceláneo.-** Aparte de los equipos ya mencionados, una instalación de telecomunicaciones utiliza una gran variedad de equipos para su buen funcionamiento. Existen equipos tales como multiplexores, equipo de interconexión digital, etc.

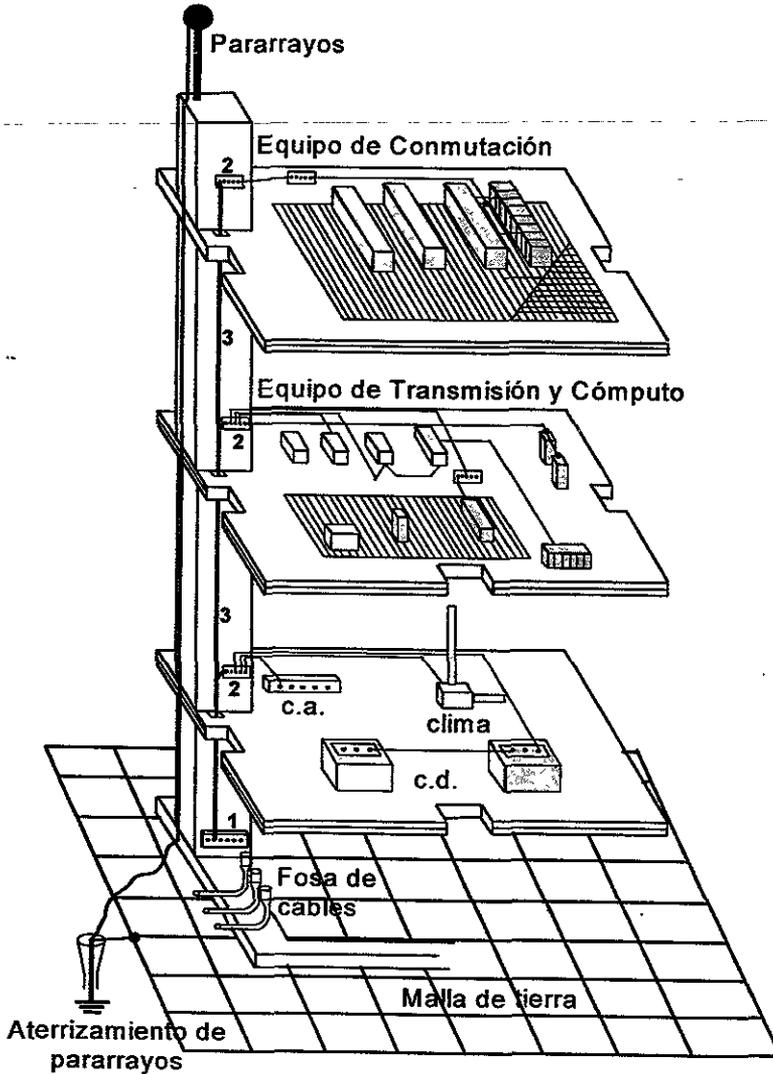


Figura V.1 Edificio de telecomunicaciones con sistema de tierra.

La figura V.1 muestra en forma general los principales equipos de una central de telecomunicaciones y su interconexión con el sistema de tierra. El punto 1 en el dibujo indica la Barra Principal de Tierra, el punto 2 se refiere a las barras de tierra instaladas en cada piso y finalmente el punto 3 se refiere al cable vertical del edificio. Esto tres conceptos, junto con el sistema de tierra general se explicaran en los siguientes incisos.

V.3 Sistema de tierra para una instalación de telecomunicaciones.

Los edificios de telecomunicaciones modernos requieren de una infraestructura efectiva para soportar una amplia variedad de sistemas electrónicos indispensables para el manejo de todo tipo de información como voz, datos, vídeo, alarmas de control, seguridad, audio, etc. Los requerimientos especificados en este capítulo, aunados a una correcta aplicación de los conceptos básicos de la teoría de redes de tierra, ayudarán en el diseño de un sistema de tierra en instalaciones de telecomunicaciones, especialmente pensado para el equipo específico que se maneja en este ramo.

V.3.1 Funciones principales.

Las funciones básicas que debe cumplir todo sistema de tierra son:

- a) Proveer un medio seguro para proteger al personal y al equipo de los peligros de una descarga eléctrica bajo condiciones de falla (descargas atmosféricas y corto circuito).
- b) Proporcionar un circuito de mínima impedancia para la circulación de las corrientes de falla, debidas a condiciones anormales de operación.
- c) Evitar que durante la circulación de estas corrientes a tierra, se produzcan diferencias de potencial entre los diversos equipos puestos a tierra.
- d) Evitar la inducción de ruido en los equipos de telecomunicaciones.

V.3.2 Puesta a tierra.

La puesta a tierra de sistemas, circuitos, equipo, canalizaciones y cubiertas metálicas de cables, debe ser permanente y continúa, los elementos que la constituyen deben tener una capacidad suficiente para conducir cualquiera de las corrientes originadas en disturbios y ser de impedancia suficientemente baja para evitar diferencias de potencial que puedan dañar tanto a los equipos como al personal, y para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente del circuito.

La puesta a tierra consiste básicamente en conectar a tierra las partes metálicas no conductoras de corriente, que alojan a los sistemas o aparatos que utilizan energía eléctrica para su funcionamiento. Esto incluye todos los medios de canalización, cajas de registro, gabinetes metálicos, estructuras que soporten equipos eléctricos, carcasas de motores y generadores, tanques metálicos de transformadores y, en general, todas las estructuras metálicas, como se observa en la figura V.2.

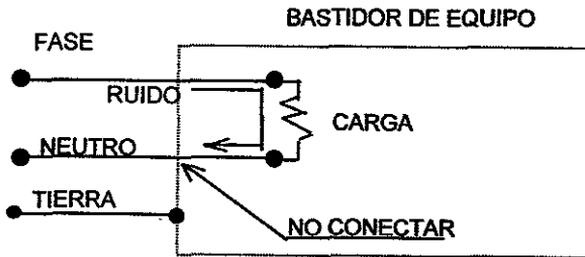
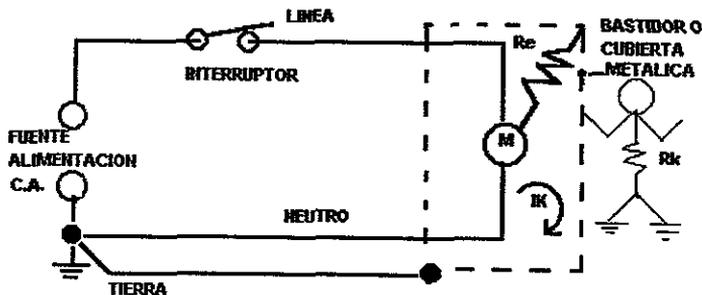


Figura V.2 Puesta a tierra del equipo de corriente alterna.

Un circuito eléctrico debe conectarse a tierra para limitar las sobretensiones debidas a fenómenos transitorios del propio equipo o a contactos accidentales con otras fuentes de energía con mayor tensión (condiciones anormales), como se muestra en la Figura V.3.



Donde:

- Re** = Resistencia entre equipo y cubierta metálica.
- Rk** = Resistencia del cuerpo humano.
- Ik** = Corriente de falla.
- M** = Motor.

Figura V.3 Conexión correcta a tierra.

El sistema de puesta a tierra para una instalación de telecomunicaciones está constituido por cinco componentes principales:

1. Sistema de Electrodo de Tierra o Malla de Tierra.
2. Barra Principal de Tierra (BPT).
3. Cable Vertical (CV).
4. Barra de Tierra (BT).
5. Ventana de Tierra (VT).

Estos cinco componentes proveen la base para el diseño de la trayectoria de puesta a tierra hasta el equipo.

V.3.3. Sistemas de electrodo de tierra o malla de tierra.

La malla de tierra está constituida por los siguientes elementos, según los puntos 250-81 al 250-86 de la NOM:

- a) Red o malla de conductores enterrados a una profundidad mínima de 0.6 m.
- b) Electrodo de tierra conectados a la red de conductores y enterrados a la profundidad mínima de 0.6 m, para obtener el mínimo valor de resistencia a tierra.
- c) Conductores de puesta a tierra, a través de los cuales se hace la conexión a tierra de las partes de la instalación o del equipo que requiera dicha conexión.

Los electrodos son varillas de hierro con un recubrimiento de cobre electrolítico y de sección circular resistente a la corrosión y con resistencia mecánica, de tal manera que permita su instalación en todo tipo de terreno, ver figuras V.4a y V.4b. Deben instalarse los electrodos de tierra en las aristas que se encuentren sobre la periferia de la malla, en los equipos de fuerza y en las uniones con otras colas de tierra.

Considerando la cantidad de electrodos que resulten del cálculo del sistema de tierra, se debe construir registros para la inspección de la malla de tierra en puntos estratégicos sobre los electrodos para tomar lecturas periódicas de la resistencia a tierra de la malla.

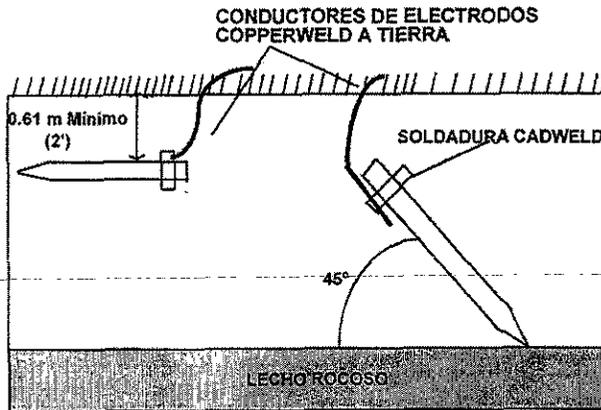


Figura V.4a. Electrodos de puesta a tierra.

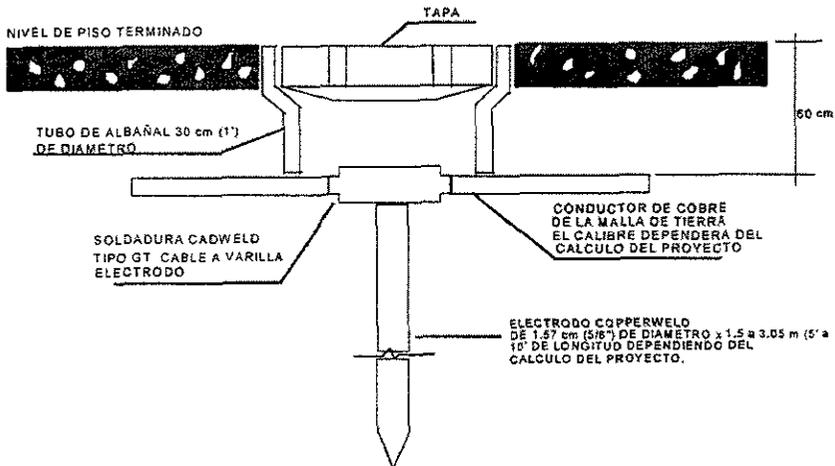


Figura V.4b. Registro de un electrodo copperweld.

El sistema principal de electrodos de tierra es un sistema perimetral como el que se muestra en la figura V.5. Se recomienda construir con cable de cobre desnudo calibre No. 1/0 AWG mínimo y con electrodos de tierra (copperweld).

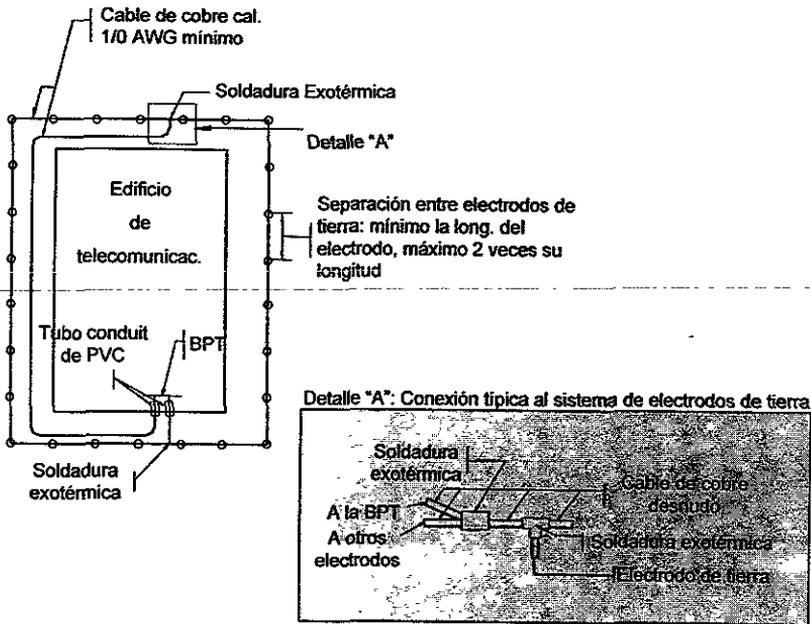


Figura V.5 Sistema de Electrodos de Tierra.

Todo el equipo dentro de un edificio de telecomunicaciones debe ser referenciado a tierra por medio de este sistema, el cual permite el contacto con la tierra y provee un punto de potencial cero al equipo. Dado que este es el punto más débil en el sistema, es imperativo mantener una baja resistencia entre el sistema y el subsuelo. Se recomienda mantener el sistema de tierra con una resistencia máxima de 5 ohms.

El sistema de electrodos de tierra mostrado, es adecuado para proveer la referencia en edificios nuevos, sin embargo, en instalaciones existentes se debe emplear el sistema ya instalado, verificando que éste cumpla con el valor de resistencia máxima recomendada. En caso contrario, será necesario reforzar el sistema de electrodos para que cumpla con esta característica. Cuando por restricciones físicas no se pueda establecer un anillo perimetral completo, se debe implementar un sistema modificado de electrodos de tierra. Este sistema modificado debe cumplir los requerimientos descritos anteriormente. La figura V.6 muestra un sistema típico de electrodos de tierra modificado, al cual se le deben agregar los electrodos que sean necesarios para cumplir con los requerimientos descritos.

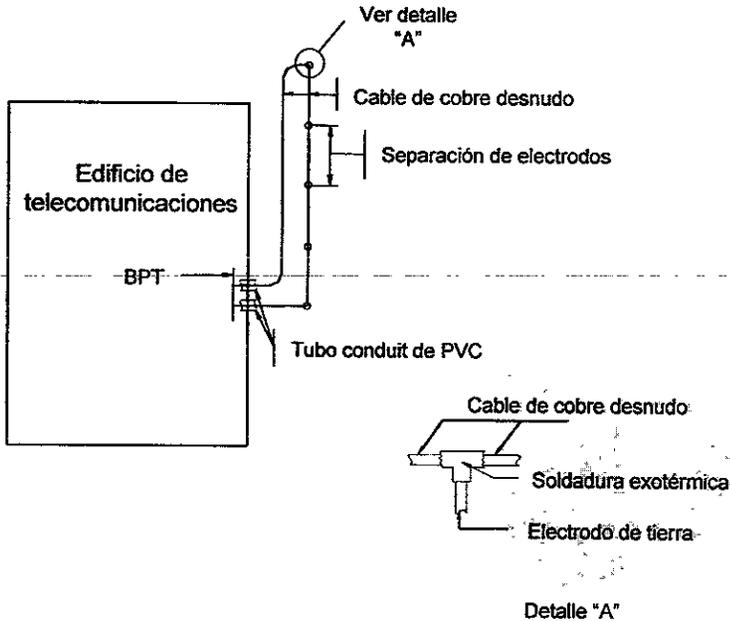


Figura V.6 Sistema modificado de Electrodos de Tierra.

Asimismo, es conveniente que el sistema de electrodos de tierra o el sistema modificado de electrodos de tierra, utilicen la tubería del agua como reforzamiento, lo cual se conoce como electrodo de tierra suplementario (Artículo 250-81 de la NOM). Si la tubería de agua se utiliza como un electrodo de tierra suplementario, se debe tener cuidado de que el medidor de agua sea puenteado con un conductor de calibre igual al conductor de puesta a tierra del sistema de c.a.

Dos cables desnudos, pertenecientes al sistema de electrodos, se deben introducir al edificio, de tal forma que queden localizados, dentro de lo posible, debajo de la Barra Principal de Tierra (BPT) de tal manera que puedan conectarse sin dificultad a la barra.

La NOM en su Artículo 250-83 sugiere que cuando se utilicen múltiples sistemas de electrodos de tierra, por ejemplo tubería de agua, sistema de tierra para la subestación, etc., éstos deben conectarse sólidamente entre ellos y tratarse como un solo sistema. El calibre mínimo para unir estos sistemas será calibre No. 1/0 AWG, según se estipula en las secciones 250-70 a la 250-80.

V.3.4. Barra Principal de Tierra (BPT).

La barra principal de tierra es el centro de la actividad del sistema de tierra del edificio. Es el punto común de la conexión para los elementos generadores de transitorios y la carga, lo mismo que para las tierras de los equipos de las áreas aisladas y no aisladas. La configuración de la BPT que se muestra en la figura V.7, facilita la concentración y disipación de altas sobrecorrientes generadas afuera del cableado de la planta.

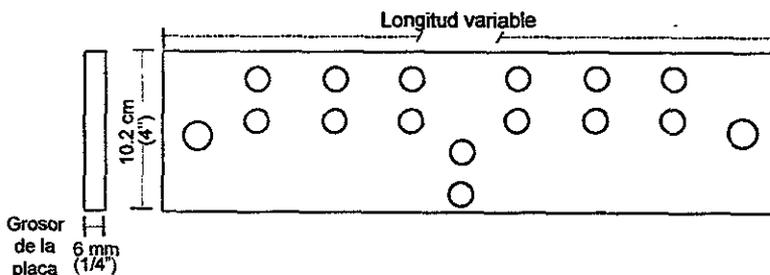


Figura V.7 Ejemplo de la BPT.

La barra principal de tierra sirve como una extensión del sistema de electrodos de tierra del edificio. La BPT también sirve como el punto principal de conexión para el cable vertical y el equipo localizado en la misma área o cuarto. El potencial de tierra, el cual se asume de cero volts, es establecido por el sistema de electrodos de tierra. Dicho potencial se prolongará a todos los puntos necesarios de la central a partir de la BPT. Esta barra debe ser instalada en una zona de fácil acceso para que el personal capacitado pueda realizar mantenimientos.

La BPT consiste de una barra de cobre, pre-barrenada con posiciones para los tipos de conectores a ser usados y debe estar aislada de la pared. Sus dimensiones dependerán de los requerimientos del equipo a ser conectado, considerando el crecimiento futuro, recomendando un grosor mínimo de 6 mm con un ancho de 100 mm y con un largo variable, como se indica en la figura V.7.

Las extensiones de esta barra son las barras de tierra, normalmente debe haber una BPT por edificio.

Cuando existan múltiples sistemas de electrodos de tierra reforzando al sistema principal o modificado de electrodos de tierra, se debe establecer una localización conveniente para la

BPT. Típicamente, la BPT se encuentra en el sótano o en el piso más bajo del edificio. Los puntos a considerar para localizar la BPT son:

- La localización del interruptor principal de c.a. Según la tabla 94 de la sección 250 de la NOM, para poder utilizar los calibres especificados para el conductor de puesta a tierra del sistema de c.a., la longitud total de este conductor no debe exceder 30.5 m (100').
- La localización del (los) cable(s) vertical(es).
- La localización del punto de entrada al edificio de los conductores que provienen del sistema de electrodos de tierra.
- La localización de la tubería de agua principal.
- Accesibilidad hasta y desde la BPT para la colocación y enrutamiento de los conductores de tierra.

Las conexiones típicas realizadas a la BPT se enlistan a continuación, debiendo ser continuas y sin empalmes. Ver figura V.8.

- Conductor que se conecta a la tubería de agua.
- El Tablero de Protección General (TPG).
- El Cable Vertical (CV).
- Conductores que se prolongan hasta el Sistema de Electrodos de Tierra.
- A la Barra de Tierra del Tablero de Distribución General (BTDG).
- A la Barra de Tierra de Fosa de Cables (BTFC).

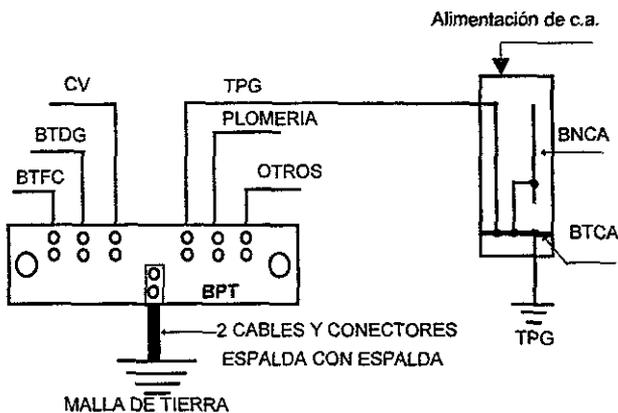


Figura V.8 Posición de Conductores en la BPT.

Para una identificación y/o revisión visual más rápida, se recomienda que todos los conductores de puesta a tierra conectados a las barras de tierra y a los bastidores de los equipos, tengan etiquetas de identificación, de acuerdo a lo indicado en las secciones 200-6 a 200-11 de la NOM.

V.3.5 Cable Vertical (CV).

El cable vertical es un conductor que interconecta las barras de tierra de los diferentes pisos con la barra principal de tierra, distribuyendo la referencia a tierra. Su función básica es la de reducir o igualar las diferencias de potencial entre los sistemas de telecomunicaciones conectadas a las barras de tierra. El cable vertical se conecta desde la barra principal de tierra, extendiéndose hacia todos los pisos y conectando las barras de tierra de cada uno de estos niveles. Para lograrlo, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- Instalar en forma vertical un conductor continuo (sin empalmes) desde la barra principal de tierra hasta el último piso del edificio. Se recomienda un calibre mínimo del No.6 AWG, aunque actualmente grandes edificios de varios niveles utilizan como norma un calibre de 750 MCM, dada la cantidad del equipo que se instala en estos edificios. La figura V.9 muestra la manera convencional de instalar el cable vertical a través del edificio.

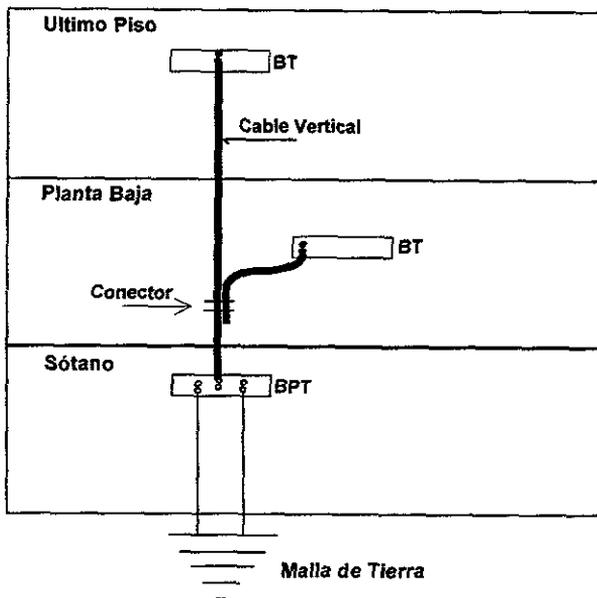


Figura V.9 Trayectoria del C.V. y ubicación de las BT's en varios pisos.

- Un cable vertical únicamente puede dar cobertura a los equipos que se encuentren dentro del área de 30.5 metros (100'), como se muestra en la figura V.10. Cuando el equipo instalado se encuentre fuera del radio de cobertura del área, se debe instalar otro cable vertical adicional para cubrir las áreas restantes.

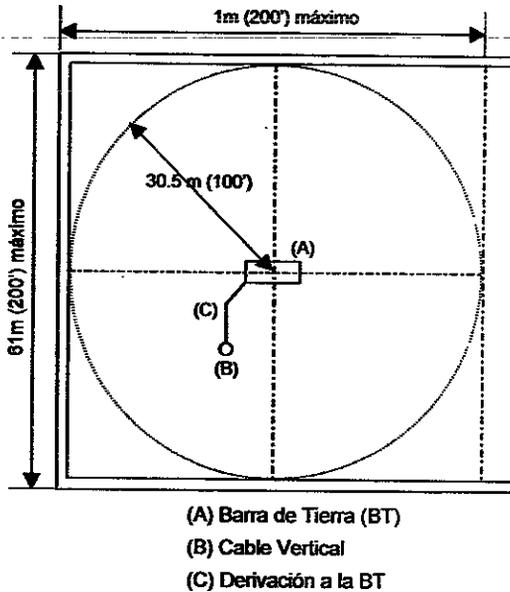


Figura V.10 Área máxima de cobertura del Cable Vertical y la Barra de Tierra.

Cuando existan varios cables verticales, éstos deben estar unidos cada tercer piso a través de un igualador horizontal (IH) del mismo calibre que el CV. La unión se debe hacer directamente a las BT's, como se observa en la figura V.11.

Cuando las columnas del edificio son de acero estructural, sin empalmes o placas soldadas, se consideran éstas como buenas trayectorias para descargas atmosféricas. La corriente de una descarga atmosférica a través de esta trayectoria podría elevar el potencial de la estructura del edificio a miles de volts con relación al potencial de los bastidores de los equipos, a menos que los dos sistemas se integren. En este caso, una conexión con un cable del mismo calibre se instala entre la estructura del edificio o paredes al CV de puesta a tierra o a las BT's, dependiendo del piso donde se está efectuando la conexión.

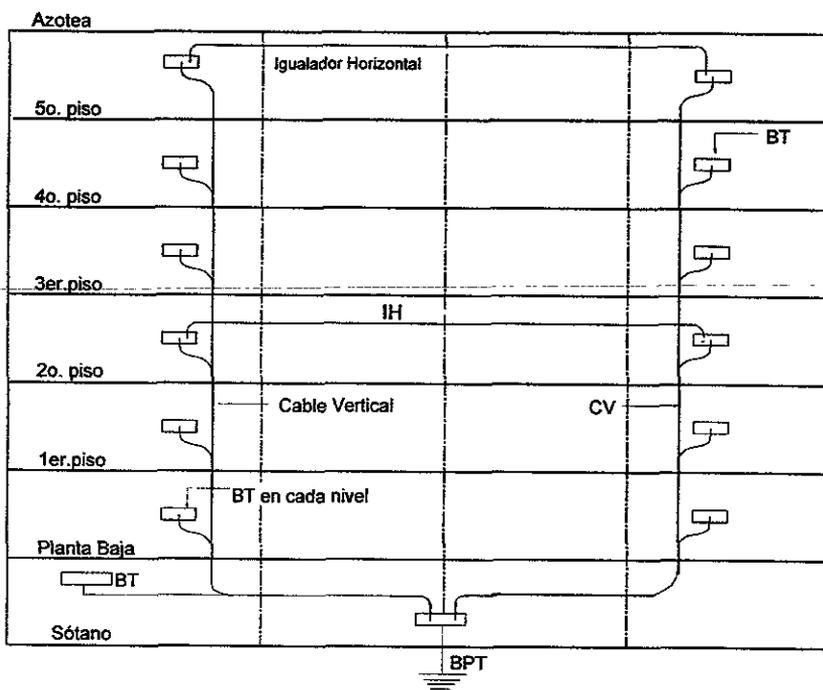


Figura V.11 Método de unión entre cables verticales cada tercer piso.

V.3.6 Barra de Tierra de Piso (BT).

Las Barras de Tierra de piso (BT) son las encargadas de establecer el potencial de tierra en cada uno de los pisos de la central. Consiste normalmente de una barra de cobre pre-barranada con perforaciones para conectores.

Dado que la BT proporciona al mismo tiempo la referencia a tierra a los equipos, se debe establecer una localización conveniente de ésta, para lo cual se deben tomar en consideración los siguientes puntos:

- La máxima distancia del conductor, entre la BT y el equipo más alejado, no debe exceder a 6.1 m y no debe exceder el perímetro de un cuadrado superpuesto en un círculo de 30.5 m de radio desde la BT.
- El lugar ideal para la instalación de la BT en pisos con equipo es aproximadamente en el centro del área, lo cual proporcionará longitudes aproximadamente iguales de los cables igualadores horizontales. Cuando la BTP no se pueda localizar en el centro, se recomienda

localizarla lo más cerca posible de los distribuidores principales, tableros de fusibles o interruptores, para proveer una trayectoria directa a tierra.

- La derivación del CV y la BTP no debe exceder 61cm, con el objeto de minimizar la impedancia.

V.3.7 Ventana de Tierra (VT).

Los modernos equipos de conmutación digital requieren de la incorporación del concepto de Plano Aislado, que consiste básicamente en la puesta a tierra a través de un punto único denominado Ventana de Tierra. La ventana de tierra es una zona de transición tridimensional consistente de una esfera imaginaria con un radio máximo de 91.5 cm (3'), la cual es la interface entre el plano integrado y el plano aislado de tierra. Físicamente la VT está representada por una o varias barras de cobre interconectadas, denominada Barra de Ventana de Tierra (BVT).

V.3.7.1 Plano No-Aislado de Tierra.

Es un conjunto de estructuras metálicas que se fijan al piso, paredes y techo sin aislamiento y que están intencionalmente puestos a tierra en más de una conexión. Es usual hacer conexiones múltiples de los bastidores a la referencia de tierra para reducir la caída de voltaje a niveles aceptables. La caída de voltaje ocurre cuando existe flujo de corriente a través de esos bastidores durante la ocurrencia de fallas en los sistemas de fuerza de c.a. o c.d., o cuando un rayo impacta el edificio. Las estructuras metálicas de edificios, tuberías de agua, piso falso, gabinetes y charolas metálicas, forman un plano no-aislado de tierra cuando están unidos por conexiones múltiples intencionales o accidentales.

Un plano no-aislado de tierra es el utilizado para equipos de conmutación analógica que tiene multiconexiones a tierra de herrajes, paredes, techos, camas de cables, bastidores de equipos de radio de microondas y bastidor del distribuidor general.

V.3.7.2 Plano Aislado de Tierra.

Es un arreglo de bastidores interconectados intencionalmente a tierra, a través de una sola conexión. Este plano, tomado como unidad conductiva en todas sus superficies metálicas y cables de puesta a tierra, está aislado del contacto de cualquier punto de la estructura metálica y/o del concreto del edificio.

Durante la ocurrencia de fallas de c.a., c.d. o cuando una descarga de rayo circula en el edificio, ninguna de esas corrientes puede fluir al plano aislado de tierra a causa de la conexión a tierra en un solo punto.

Un plano aislado de tierra es utilizado en un sistema de conmutación digital, el cual es necesario proteger de disturbios eléctricos, por lo que no deberá tener conexión eléctrica alguna con pisos, paredes, techos, equipos de clima, alumbrado, contactos eléctricos, tuberías, herrajes y estructuras metálicas.

Cada proveedor de equipo de conmutación digital tiene sus propias especificaciones de conductores de puesta a tierra, evitando que se generen corrientes circulantes entre los bastidores de conmutación. Los equipos de conmutación digital se pueden conectar a la ventana de tierra en forma serial o radial siendo la conexión radial la más recomendable.

Las siguientes son recomendaciones a seguir en la instalación de la VT:

- Debe instalarse una VT por cada planta de corriente directa.
- La BVT debe instalarse dentro del área de cobertura radial de 30.5 m (100') que cubre el CV.
- La VT tiene una cobertura máxima para tres pisos que contengan equipo digital, siempre y cuando ésta se encuentre localizada en el piso intermedio.
- La BVT se divide en dos secciones : Plano Aislado y Plano No-Aislado de Tierra, a partir del punto de conexión a la BT (figura V.12).
- La VT tiene un radio de acción de 91.5 cm (3'), es decir, todos los elementos y/o equipos que estén contenidos en el plano aislado deben pasar por este radio de acción.

Para evitar que las descargas atmosféricas y las corrientes de falla circulen por la BVT, se debe aislar del plano no-aislado.

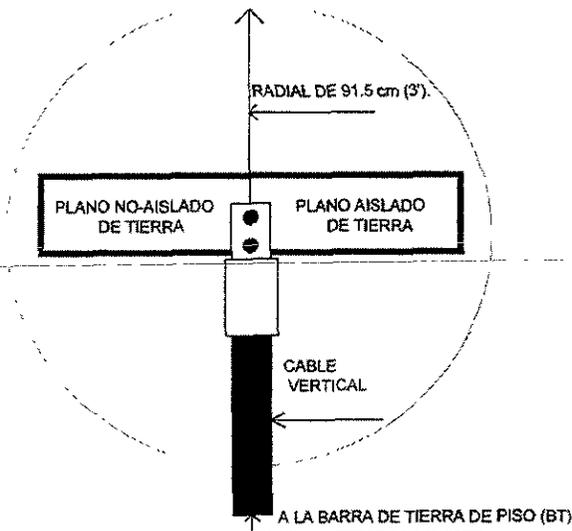


Figura V.12 Ventana de Tierra.

V.3.8 Puesta a tierra de equipos.

Las siguientes recomendaciones siguen los lineamientos marcados por la NOM y NEC en sus secciones 250-32 y 250-33, así como de las secciones 250-42 a la 250-46.

V.3.8.1 Corriente Alterna (c.a.).

La NOM en sus partes D, E y G del artículo 250, especifica conexiones a tierra de las cubiertas metálicas, tuberías, conductos y equipos asociados con sistemas de distribución eléctrica, ya sea que estén conectados eléctricamente o no. Esta tierra de seguridad o tierra del equipo se hace por medio del conductor de conexión a tierra o por medio de un puente de unión. El conductor de conexión a tierra o puente de unión es unido al conductor del neutro y al conductor del electrodo de tierra o a la cubierta del equipo de servicio en entrada o en la terminal X_0 de una fuente de potencia derivada separadamente tal como un transformador.

Mientras que el neutro (conductor conectado a tierra) y el conductor de tierra (conductor de conexión a tierra) tienen una unión común en la fuente de energía, éstos tienen diferentes funciones. El neutro es un conductor que transporta corriente y es necesario para completar el circuito eléctrico. La trayectoria del circuito eléctrico va desde la fuente (terminal de fase del transformador) a través del conductor de fase, al lugar de carga, luego del lugar de carga a

través del neutro, al punto común del transformador (terminal X_0). El conductor de tierra no es un conductor que transporta corriente, excepto en casos en que se llegue a generar una falla temporal de corriente (NOM 251-21).

El propósito de conectar el equipo a tierra es doble. El fin primario es el de seguridad. Bajo condiciones de corriente de falla a tierra, el conductor de tierra del equipo limita el voltaje a tierra en las cubiertas y otros elementos conductivos del sistema eléctrico, los cuales no están destinados para conducir corriente. La tierra del equipo facilita la operación de dispositivos de protección, proporcionando una trayectoria de retorno de baja impedancia a la fuente común – X_0 del transformador- para corrientes de falla. El propósito secundario es proveer una referencia estable para los equipos electrónicos, para la fuente de suministro de c.d. y la lógica del sistema electrónico. También provee un punto común de conexión para el blindaje de cable de datos, para proteger los datos de lógica contra cualquier ruido inducido de alta frecuencia.

Cualquier conexión de baja resistencia (fuga) o conexión de resistencia cero (falla) entre un conductor de fase y un conductor a tierra, cubierta o chasis de equipo, produce una corriente eléctrica, como se ve en la figura V.13. Una corriente de fuga a través de una conexión de baja resistencia puede ser drenada sin consecuencias serias. Las corrientes de fuga, sin embargo, pueden ser suficientes para presentar peligro para el personal. Las fallas de algunos dispositivos de microprocesadores, los cuales conectan fase a tierra, pueden generar corrientes de fuga peligrosas. Toda corriente originada en la fuente de energía debe retornar a esa fuente. Las corrientes de fuga retornan por medio de la tierra y el voltaje del equipo será entonces la cantidad de corriente (A) multiplicada por la resistencia de la trayectoria de tierra al punto común de la fuente de energía ($E=IR$). Una conexión de resistencia cero (corto circuito o falla) producirá que la corriente total presente de falla fluya al punto de falla.

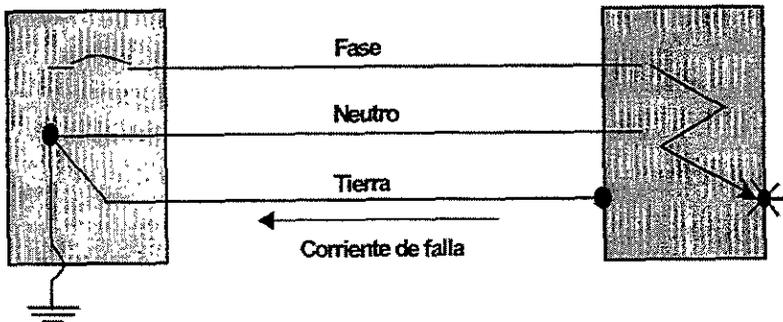


Figura V.13 Retorno de corriente de falla.

V.3.8.1.1 Calibre de la tierra de seguridad.

La cubierta de metal a la entrada de alimentación debe ser unida a la barra del neutro y al conductor del electrodo de tierra, por medio de un puente de unión principal, de acuerdo al punto NOM 250-79. Específicamente indica que el calibre mínimo permisible del puente de unión se determina de acuerdo con la tabla 250-94 de la NOM. Esta tabla también especifica el calibre mínimo permisible para el conductor del electrodo de tierra. El puente de unión y el conductor de electrodo de tierra deben ser del mismo calibre.

De acuerdo con la NOM, sección 250-79(c) el puente de unión principal debe calibrarse de acuerdo a la tabla 250-94. Este debe ser un cable 1/0 AWG de cobre o un conductor de aluminio 3/0 AWG. Sin embargo, la sección 250-51(2) indica que la trayectoria efectiva de puesta a tierra debe tener suficiente capacidad de conducción de corriente para transportar con toda seguridad cualquier corriente de falla que pueda circular por él. Por lo que puede ser necesario incrementar el calibre del conductor de tierra dado en la tabla 250-94 o limitar la corriente de falla que pueda ser transportada en el conductor, para satisfacer esta condición. El calibre correspondiente del conductor de tierra de un sistema de c.a., con o sin conexión a tierra no será menor del indicado en la tabla correspondiente (250-94). Al diseñar sistemas eléctricos de distribución para sistemas electrónicos modernos, el conductor de tierra de seguridad (conductor de conexión a tierra) nunca debe ser menor que los conductores de fase. Siempre se especifica como mínimo que los conductores de conexión a tierra sean del mismo tamaño AWG que los conductores de fase.

V.3.8.1.2 Neutro.

El conductor de neutro está diseñado como un conductor que transporta corriente. El neutro es la trayectoria de retorno para la corriente del sistema monofásico de distribución eléctrica y la trayectoria de regreso para corrientes de fase desequilibradas en los sistemas trifásicos conectados en estrella. Toda la corriente de fase de un sistema monofásico debe regresar por el conductor de neutro. En un sistema bifásico o trifásico en estrella que alimentan cargas lineales, las corrientes de retorno del neutro resultan de un desequilibrio en la carga o corriente de los conductores de fase. Si la corriente que fluye en cada uno de los conductores de fase es la misma, la suma vectorial de estas corrientes en el neutro será cero. Las dos o tres corrientes de fase de retorno se cancelan y como consecuencia no se detecta ningún flujo de corriente en el neutro. Cualquier desequilibrio en las cargas lineales de un sistema polifásico producirá una corriente en el neutro, la cual es igual a la suma vectorial de las corrientes desequilibradas de

fase.

El neutro es llamado conductor conectado a tierra. Este conductor debe ser unido al conductor del electrodo de tierra en la fuente de potencia eléctrica de la planta.

Para estar en conformidad con la NOM, sección 645-5, cuando se alimentan cargas no lineales, tales como computadoras, sistemas de cómputo, procesadores de datos o equipo similar, el neutro debe ser del mismo calibre AWG que los conductores de fase. La capacidad de corriente de operación de los conductores de fase y neutros se debe ajustar a un 80% de la capacidad de corriente.

En lo referente a la conexión a tierra de la acometida de baja tensión, NOM 250-5 y 250-23, se recomienda:

- a) La conexión a tierra de la acometida en alta tensión se debe hacer en un sólo punto de conexión entre apartarrayos, crucetas de hierro galvanizado y pantallas de tierra de los cables de potencia.
- b) La conexión a tierra de la acometida en baja tensión se debe hacer con un conductor de cobre desnudo, temple semiduro, de calibre acorde a la capacidad del interruptor general, conectado a un electrodo Copperweld, el cual se debe interconectar a la malla de tierra. El punto de unión entre el conductor neutro y el conductor de puesta a tierra se localizará en el gabinete del interruptor general.

V.3.8.2 Corriente Directa (c.d.).

Esta parte especifica los requerimientos para la protección del personal y el equipo, energizados por rectificadores, bancos de baterías o generadores de c.d. Los edificios de telecomunicaciones, los sistemas remotos digitales de conmutación y las instalaciones celulares son parte de esta categoría. Los sistemas de conexión a tierra de un solo punto minimizan los efectos de las perturbaciones eléctricas que de lo contrario causarían daños a los equipos digitales de conmutación.

Durante disturbios eléctricos, el voltaje puede variar grandemente en puntos diferentes del sistema de tierra del edificio, si los gabinetes energizados con c.d. están unidos en varios puntos a lo largo del sistema, pueden generarse voltajes potenciales entre estos equipos,

pudiendo ocasionar daños en los cableados de datos o en el circuito digital. Conectando a tierra todo el equipo del edificio a un solo punto, minimizará el daño de los potenciales de voltaje. Un solo punto de conexión a tierra en el edificio se logra terminando todos los elementos de tierra a la barra principal de tierra (BPT). Un área aislada de tierra contiene equipo sensitivo digital aislado de todas las tierra externas a excepción de una conexión única que se hace a la barra de cobre llamada barra de ventana de tierra (BVT).

Muchos equipos de telecomunicaciones requieren para su funcionamiento de energía de c.d. a voltajes generalmente de -24 y -48 V, con positivo (retorno) conectado a tierra. La obtención de c.d. se logra por medio de los equipos de rectificación, los cuales alimentan a los equipos telefónicos y bancos de baterías que sirven como reserva de energía y filtro de ruido eléctrico.

Los equipos de conmutación digital son altamente sensibles a perturbaciones eléctricas, por lo que debe realizarse la correcta puesta a tierra de los rectificadores, baterías y tableros de distribución de c.d., observándose las siguiente recomendaciones:

- a) La barra positiva de retorno debe estar aislada de los bastidores.
- b) Se debe considerar la instalación de los bastidores de distribución de c.d. dentro de la sala de conmutación para alimentar estos equipos y cumplir con las caídas de tensión permisibles, como se muestra en la figura V.14.



Figura V.14 Caidas de tensión permisibles.

V.3.8.3 Conmutación.

En los últimos años ha evolucionado la naturaleza de los servicios, conformando una red digital de telecomunicaciones a través de la cual se impulsa la demanda de los usuarios y a la vez se ofrecen nuevos servicios.

Esta no es la única situación a la que dirigen sus expectativas los diseñadores de nuevos equipos digitales, ya que la complejidad en las redes de telecomunicaciones no se limita a establecer y liberar llamadas, sino que también se ven afectados por las variaciones en el suministro de energía, aunado a las afectaciones por descargas electrostáticas y situaciones de falla por corto circuito, lo que ha obligado a los diseñadores a incorporar sistemas de protección a tierra e incluir los conceptos de "Plano Aislado," "Plano No-Aislado" y "Ventana de Tierra" los cuales reducen estos efectos.

Las siguientes recomendaciones describen las normas a observar en aplicación de estas nuevas técnicas de puesta a tierra en las centrales digitales.

- a) Las centrales digitales, incluyendo sistemas de conmutación de unidades remotas de línea (URL's), deben tener un plano de tierra aislado.
- b) Es requisito indispensable tener aislados los bastidores de conmutación de: equipos de clima, paredes, techos, pisos, alumbrado, contactos, tuberías, herrajes y cualquier estructura metálica que se encuentre dentro de la sala de conmutación que no pertenezca a la estructura propia de los equipos de conmutación digital, con la finalidad de proteger los equipos digitales de perturbaciones eléctricas, cortos circuitos, ruido e inducciones en las comunicaciones.

V.3.8.4. Torres de Microondas y Celulares.

- a) En ninguna torre de microondas, se usarán los tornillos de anclaje de sus bases para la puesta a tierra.
- b) Se debe instalar un anillo alrededor de la base de la Torre de Microondas.
- c) El anillo que interconecta las patas de las torres de microondas, se debe conectar en dos puntos diametralmente opuestos como mínimo por seguridad, al anillo perimetral de la azotea, como se observa en la figura V.15.
- d) Cuando se tenga más de una torre instalada en la azotea, éstas se interconectarán al anillo perimetral como se ve en la figura V.16.

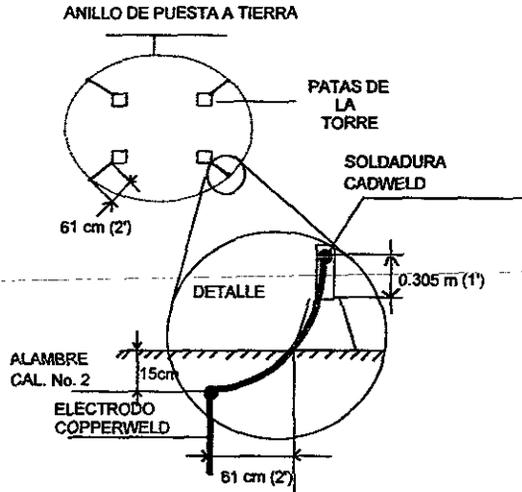


Figura V.15 Anillo alrededor de la base de la torre de microondas.

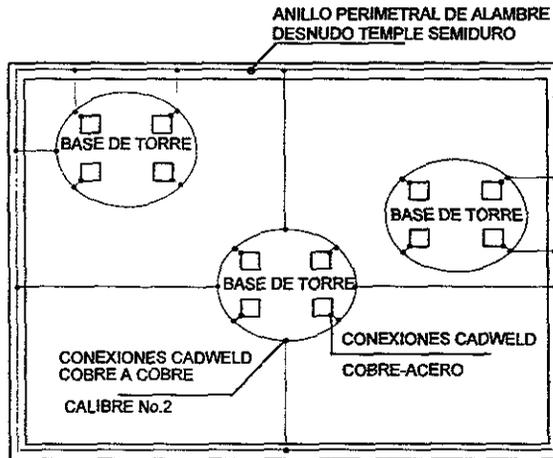


Figura V.16 Conexión de torres al anillo perimetral en azotea.

V.3.8.5 Pararrayos.

- a) Si la torre de microondas es mayor de 30.5 m (100') de altura, no requiere del conductor de puesta a tierra. Para la conexión a tierra del pararrayos se utilizará la estructura de la torre, misma que servirá de conductor, conectándose en su base a la malla de tierra con alambre desnudo.

- b) En torres menores de 30.5 m (100') de altura, el conductor de puesta a tierra que baja del pararrayos debe ser de alambre desnudo continuo hasta los electrodos de tierra.
- d) El conductor de puesta a tierra del pararrayos debe instalarse evitando todo tipo de curvas.
- e) Los pararrayos deben instalarse en el mástil de la torre.

V.3.8.6 Equipo de Radio, Equipo Óptico y Multiplexores.

- a) La puesta a tierra de los equipos de transmisión se debe realizar a través del panel de conexiones eléctricas del equipo. Este panel está provisto de tres terminales:
 - Una terminal de alimentación o negativo.
 - Una terminal de retorno de baterías o positivo.
 - Una terminal de puesta a tierra.
- b) No debe unirse la terminal del retorno de baterías con la terminal de puesta a tierra.
- c) Para los equipos de transmisión que no estén aislados, se conecta su retorno (positivo) a la barra de ventana de tierra en el lado del Plano No-Aislado.

V.3.8.7 Repetidores de Microondas.

La filosofía descrita en el punto V.2.8.6 es aplicable en repetidores de microondas, exceptuando la instalación de la BVT y la BT.

- a) El equipo de transmisión, en repetidores de microondas, tendrá una BPT que se instalará lo más cerca a la acometida o al tablero de distribución general de c.a., como se muestra en la figura V.17.

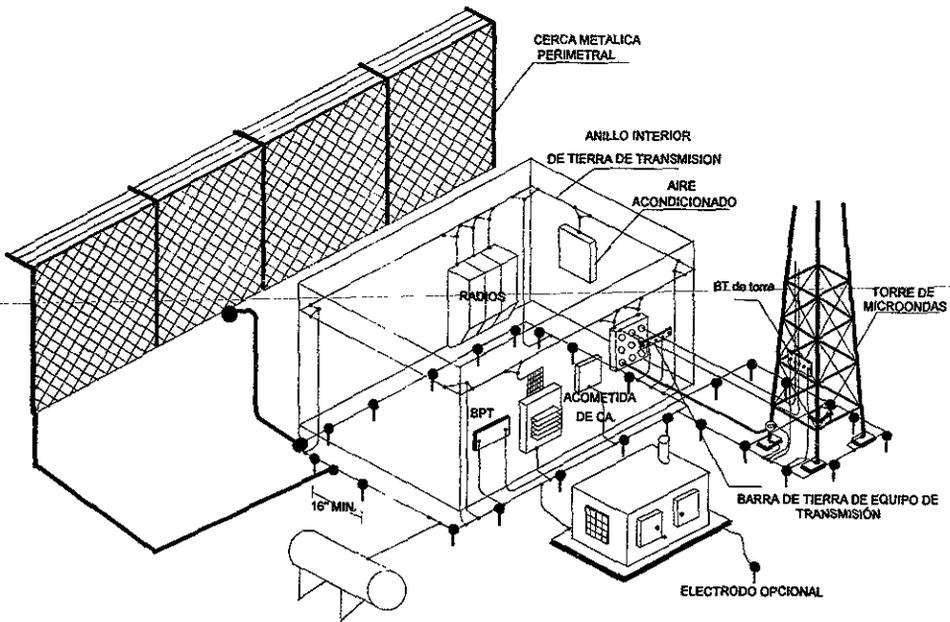


Figura V.17 Repetidor de Microondas.

b) A la malla ciclónica perimetral del terreno se conectarán todas las estructuras metálicas que se encuentren en el exterior, como son: anillo de tierra de la torre de microondas, juegos de puesta a tierra de las líneas de transmisión a través de una barra para el equipo de transmisión, tanques de combustible, cerca ciclónica, retenidas de la torre si se encuentran dentro de un radio de 15.2 m (50'), acometida de c.a. Asimismo, se conectarán los conductores de puesta a tierra que provengan del interior del contenedor o caseta, como es la BPT, como se detalla en la figura V.18.

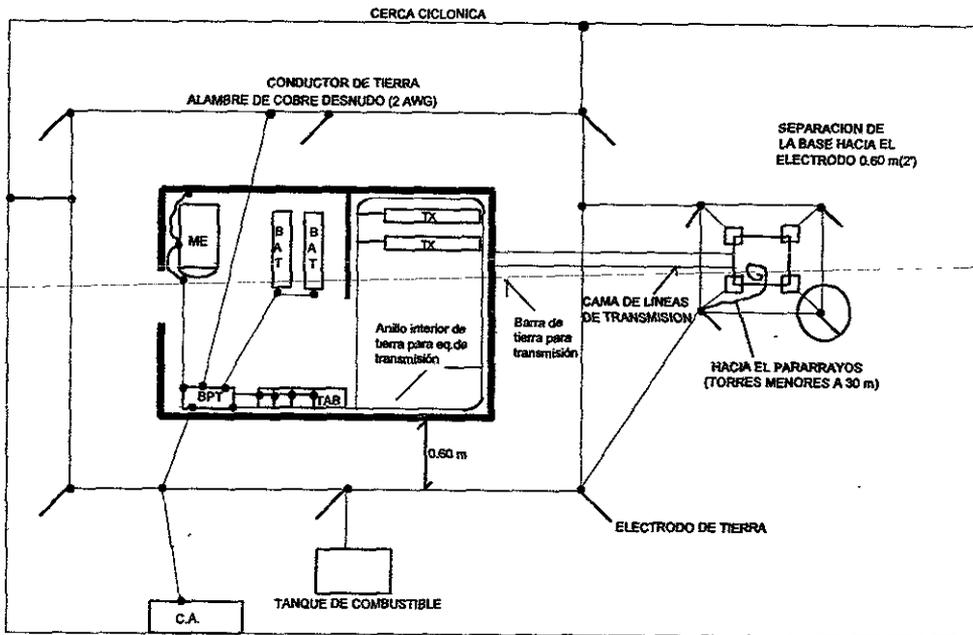


Figura V.18. Repetidor de Microondas.

V.3.8.8 Conexión a tierra para Sistemas de Cómputo.

La puesta a tierra de los sistemas de cómputo se debe hacer a través de un punto único de conexión a tierra, como es la barra de ventana de tierra (BVT). Es conveniente usar como BVT la barra de tierra del bastidor de distribución de c.a. que alimenta al equipo de computación, o se puede colocar una BVT externa cerca del bastidor de c.a. y conectarlo a la barra de tierra del bastidor, ver figura V.19.

En un edificio de telecomunicaciones, la BVT se conecta a la BT. La BVT del equipo de cómputo también se puede conectar a la malla de tierra de la instalación o al anillo exterior de la puesta a tierra, el cual debe contar con sus electrodos copperweld correspondientes.

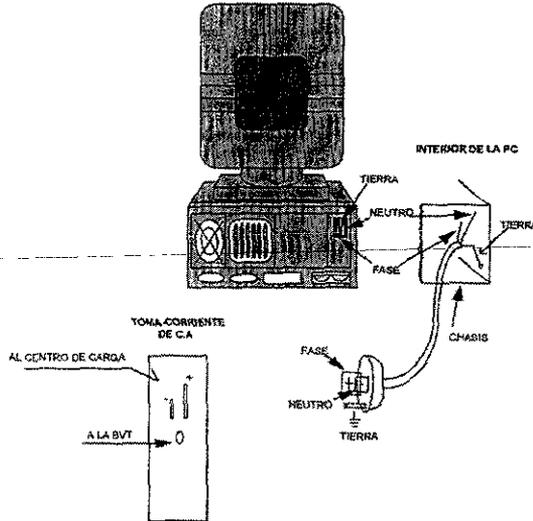


Figura V.19 Detalle de conexión interna de las PC's y los toma-corrientes de c.a. de alimentación.

Las reglas del plano aislado de tierra, también se aplican a los sistemas de cómputo, esto es:

- Una ventana de tierra es de 0.915 m (3') de radio.
- El área máxima que puede dar servicio una ventana de tierra es de tres pisos.
- Los conduits de c.a. se deben conectar a la ventana de tierra.
- Los conductores de c.d. deben correr en pares, es decir, negativo y positivo juntos y pasar por la VT.

V.3.8.8.1 Tierra aislada en una sala de cómputo.

El término "tierra aislada" se refiere a un cable o alambre aislado, separado y dedicado, conectado a tierra, instalado para sala de computadoras. Este conductor de conexión a tierra es un conductor adicional para la seguridad como se ilustra en la figura V.20. Esta tierra aislada se utiliza para proporcionar un sistema libre de interferencias electromagnéticas y de referencia cero de tierra para las fuentes de potencia de c.d. y las líneas de datos. La sección 250-74 de la NOM permite que un conductor de puesta a tierra de equipo, separado y aislado, corra desde el punto de unión neutro-tierra al equipo o a los toma de corriente aislados para el equipo. Este conductor debe instalarse conjuntamente con los conductores de alimentación del circuito, el neutro y el conductor de tierra de seguridad.

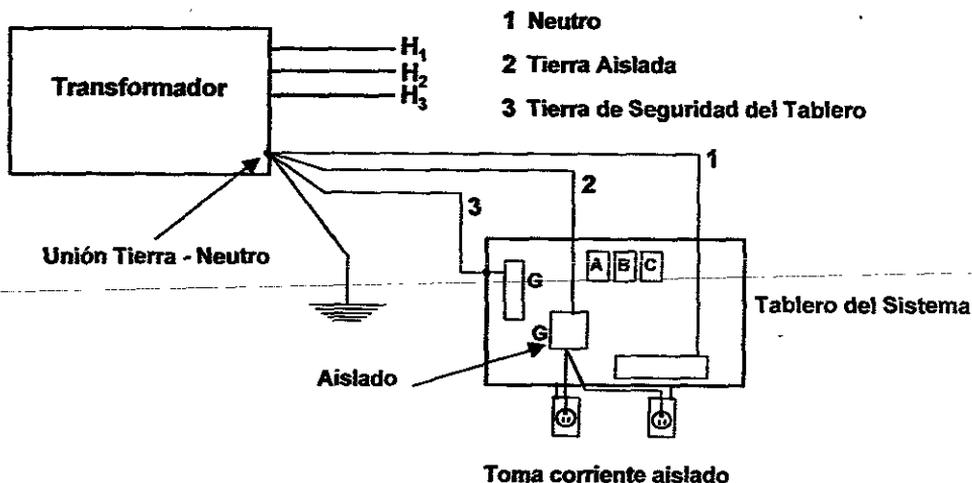


Figura V.20 Técnicas para la tierra del sistema.

El conductor de tierra aislada no se conecta a ningún conducto o tablero de distribución por los cuales se desplaza, como se indica en la figura V.21. Este conductor termina en las terminales aisladas o el cable aislado principal de tierra u otra "tierra aislada" o enchufe, o a la tierra aislada (lógica) del equipo y en el punto único de unión de la fuente de alimentación. En la figura V.21, la barra de tierra aislada conecta, a través del bastidor primario, la nueva fuente de energía (bastidor de alimentación principal). No se realiza ninguna conexión al bastidor primario.

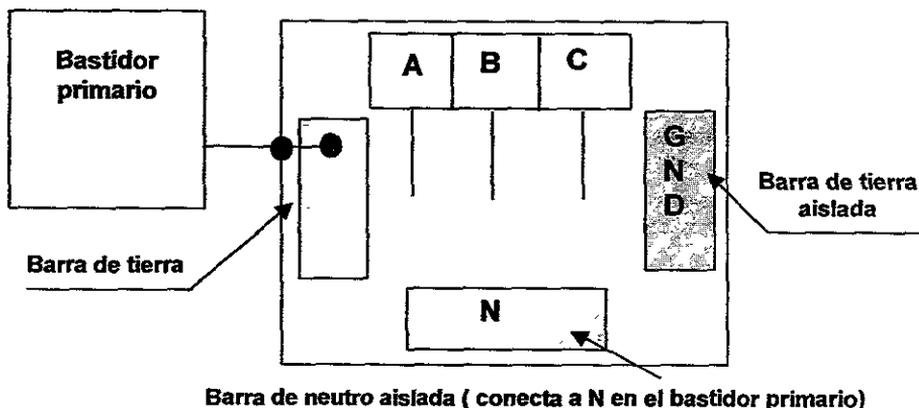


Figura V.21 Bastidor del sistema de tierra aislado.

V.3.8.8.2 Técnicas de conexión a tierra para la operación confiable del equipo de cómputo.

El aspecto más importante para la confiabilidad de operación de los sistemas de cómputo, y en general cualquier otro sistema electrónico sensible, es el de establecer un punto único de referencia a tierra. El sistema de tierra general de la instalación debería ser la referencia inicial para una sala de cómputo, aunque es más conveniente establecer un punto único de unión neutro-tierra exclusivo para la sala de cómputo. En muchos casos el fabricante de un equipo electrónico especifica un sistema "dedicado" a tierra, que no es otra cosa que un "plano aislado" como el especificado en el punto V.3.7.2., o específicamente la tierra aislada del punto V.3.8.8.1. Comúnmente, durante la instalación de los equipos, se interconecta erróneamente la tierra aislada con la tierra de seguridad en un punto único del bastidor del equipo. Esta conexión no funciona como tierra aislada sino como tierra común, es decir, se tiene una conexión común a la entrada de potencia c.a., a la salida de la fuente de potencia c.d. (referencia lógica) y a la armadura metálica del equipo. Como los conductores de conexión a tierra, aislada y de seguridad, se conectan a este punto, entonces el sistema dedicado (aislado) se pierde.

El calibre del conductor es crítico para los circuitos electrónicos modernos. El conductor de la tierra del sistema debe ser continuo, de calibre completo y aislado de color verde. Para aplicaciones en sistemas electrónicos modernos, el conductor de la tierra del sistema se usa como la señal de referencia cero, para toda la lógica digital y la fuente de potencia de c.d. de la computadora. Los circuitos lógicos de las computadoras, de bajo nivel y alta velocidad, requieren de una impedancia baja y una referencia a tierra libre de ruidos eléctricos. Entre mayor es el tamaño del conductor de tierra del sistema, más baja es la impedancia de retorno a tierra, disminuyendo con esto los ruidos eléctricos en la referencia a tierra.

Ningún sistema de cómputo puede operar eficientemente sin un sistema a tierra de baja impedancia. Un sistema mecánico de tierra usando conductores convencionales con deficientes conexiones es inoperante. Si la seguridad fuese el único factor de importancia, cualquier trayectoria metálica a tierra sería satisfactoria, siempre y cuando la tierra del edificio este construida bajo las normas de seguridad respectivas, pero como tierra para equipo electrónico sensible es poco funcional.

V.3.8.8.3 Conexión tierra-neutro.

Los conductores de conexión a tierra y neutro deben ser unidos conjuntamente en un solo punto. Idealmente este punto sería el secundario de un transformador reductor o un transformador aislado, situado adentro o adyacente al equipo electrónico de cómputo. La segunda opción sería en el centro de carga o panel de distribución de la sala de cómputo. El neutro nunca debe ser conectado a tierra en el panel del equipo, ésta es una violación a las normas de seguridad. Al conectar el neutro en el bastidor del equipo, se crea un bucle de tierra en el circuito de potencia, inyectando ruido de modo común directamente al equipo de cómputo y sus periféricos. La corriente del neutro se divide en esta conexión y fluirá en ambos conductores, produciendo ruidos eléctricos y un punto de alto peligro para la seguridad del personal. El neutro nunca debe ser conectado a la armadura del equipo y la corriente de retorno nunca se debe permitir en los conductores de conexión a tierra. Nunca se debe conectar en serie ni los neutros ni las tierras. El cableado de cada circuito dentro de un tablero de distribución, y preferiblemente cada pastilla de alimentación o unidad del equipo alimentado por tal tablero, debe hacerse de tal forma que no se comparta ni el neutro ni el conductor de tierra, con cualquier otro circuito, enchufe o equipo.

La relación del voltaje en los conductores del neutro y tierra, pueden ser una buena indicación de la calidad del sistema de tierra. En una instalación de alta seguridad, todas las conexiones deben ser de mínima resistencia y su número mantenerse en un mínimo. Tampoco deben existir corrientes fluyendo en el conductor a tierra. Si el neutro transporta una corriente, habrá un voltaje generado entre el neutro y los conductores de tierra. Este voltaje representa una caída de voltaje en el neutro.

Un voltaje neutro-tierra elevado puede causar interrupción en la operación del equipo y errores de datos cuando este ruido se acopla con la fuente de potencia de c.d. La salida de la fuente de alimentación c.d. puede tener capacitores de desacople, conectados entre la tierra de c.d. de referencia y el conductor de conexión a tierra de c.a., para reducir el ruido de salida de c.d. La tierra de referencia de c.d. está también acoplada al neutro por medio de la capacitancia a través de los diodos en los rectificadores. Cualquier frecuencia de ruido entre los conductores neutro y tierra en el lado del voltaje de c.a. de la fuente de potencia c.d. puede ser acoplada a través de estas capacitancias a la potencia de salida c.d. que alimenta el circuito integrado del equipo electrónico.

Los fabricantes de equipos electrónicos especifican un máximo voltaje neutro-tierra para sus

respectivos equipos. Puede estar especificado en volts RMS o en volts pico a pico. El diseño del sistema de distribución para cualquier equipo electrónico debe tener en consideración el voltaje pico a pico, el tamaño del neutro debe escogerse de tal manera que asegure una caída de voltaje de menos del voltaje pico a pico requerido en el punto de instalación del equipo.

En cualquier instalación de sistema de cómputo, es recomendable instalar un Sistema Derivado Separadamente para potencia eléctrica (NOM 250-5(d) y 250-26). En estos tipos de instalaciones es importante controlar la potencia, el ruido eléctrico, la temperatura, humedad, etc. Un sistema derivado separado no solo aísla la instalación del resto de la planta, sino también permite un punto controlado de unión neutro-tierra y proporciona un mejor control de los problemas de distorsiones por armónicas y del ruido eléctrico. Un sistema derivado separado crea un nuevo neutro.

Es recomendable energizar cada instalación de sistemas de cómputo con su propio transformador dedicado. Este transformador debería preferiblemente bajar el voltaje de servicio trifásico al voltaje típico de computadora. Sin embargo, el transformador puede del tipo elevador o de una relación 1-1. El neutro o la barra del neutro deben ser conectados al sistema de electrodo de tierra del edificio con un conductor de puesta a tierra.

El transformador dedicado, correctamente conectado a tierra, actúa entonces como una fuente de potencia separada. Todas las conexiones a tierra en este sistema deben tener como referencia, el nuevo punto único neutro-tierra en el transformador. Dos sistemas a tierra emanan del punto único de unión neutro-tierra:

1. Un sistema de puesta a tierra para seguridad como el requerido por la NOM,
2. El sistema de conexión a tierra de señal aislada (tierra aislada), permitida por la sección 250-74, excepción no. 4.

El conductor de puesta a tierra aislado debe ir desde el punto de conexión a tierra al equipo – junto con el de fase, neutro y tierra de seguridad –, sin hacer ningún contacto con metales de por medio. El objetivo de esta tierra aislada es la reducción de interferencias electromagnéticas en el circuito de puesta a tierra. Este conductor es la referencia de voltaje del sistema electrónico de c.d. y, por consiguiente, la referencia de datos.

Cuando un fabricante especifica una tierra aislada, usualmente no proporciona una terminal de tierra aislada para su equipo, solo proporciona una terminal de tierra y está unido a la entrada de la fuente de potencia c.a., al chasis, al gabinete y a la referencia cero de datos. En este caso

la tierra de seguridad no debería estar conectada a la terminal de conexión a tierra. La tierra aislada debería ser el único conductor de conexión a tierra conectado a la terminal de tierra y el gabinete del equipo debería estar aislado del piso y de otros metales que pudieran entrar en contacto con la tierra de seguridad. La tierra aislada es en este caso la tierra de seguridad. No siendo ésta la situación ideal, se prefiere a la alternativa donde la tierra de seguridad y la tierra aislada son unidas al equipo en contra del propósito de proveer una tierra aislada libre de ruido.

Cuando se instale una fuente ininterrumpida de potencia (UPS) o una fuente de potencia de respaldo, se debe colocar un transformador en el lado de la carga del UPS. El UPS o la fuente de respaldo no son fuentes derivadas separadamente, a menos que haya un transformador proporcionado a la salida como parte del diseño del fabricante. Si no existe tal transformador como parte del UPS, entonces es recomendable añadir un transformador. Cuando se utiliza un UPS, una instalación típica sería un UPS de 480 V de entrada y salida trifásica, un transformador reductor, 480 volts tipo delta a 208/120 V en estrella que alimente al tablero de distribución del sistema de cómputo y sus periféricos, ver figura V.22.

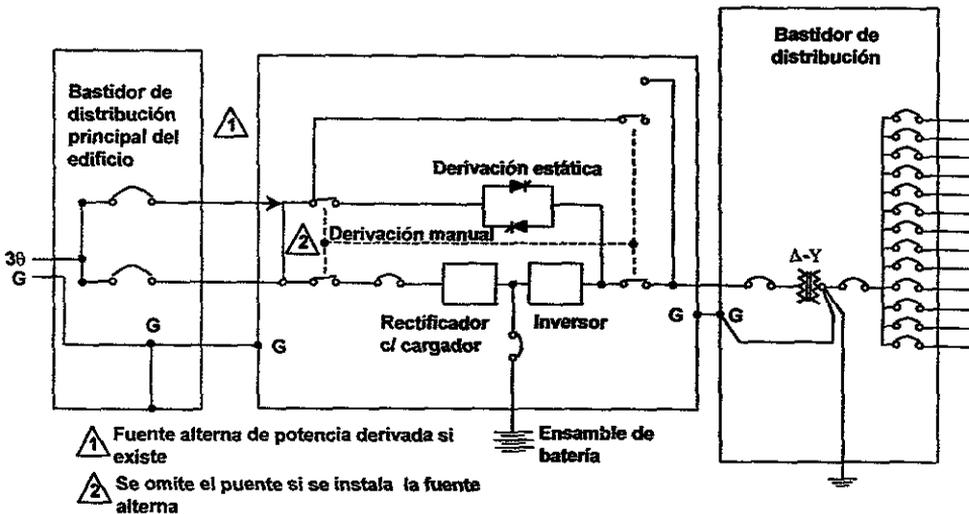


Figura V.22 Instalación de una fuente de potencia ininterrumpida (UPS).

V.4 Conexión a tierra para protección contra rayos.

La protección contra rayos debe asegurar que la descarga del rayo sea dirigida lejos de donde se encuentra el equipo sensible. Un sistema convencional de protección contra descargas atmosféricas, se basa en esta premisa. Para lograr este objetivo, el sistema deberá desarrollar las funciones siguientes:

1. Capturar el rayo.
2. Desviar la energía del rayo.
3. Establecer una baja impedancia hacia tierra.
4. Eliminar cualquier efecto secundario: carga estática, corrientes transitorias.

V.4.1 Tipos de sistemas de protección.

Existen cuatro métodos diferentes de sistemas de protección contra rayos: varillas pararrayos convencionales, varillas pararrayos radiactivas, Jaula de Faraday y varillas pararrayos láser. Todos estos sistemas están basados en el principio de desviar el rayo. Cada uno de estos sistemas está constituido por 3 elementos principales: La terminal, el conductor de bajada y la tierra.

Existen 3 diferentes tipos de protección contra rayos:

1. Sistemas de conducción.
2. Sistemas de atracción.
3. Sistemas de disipación.

De los tres sistemas mencionados, el sistema de más uso es el sistema de conducción, usado en la varilla de aire convencional o Barra de Franklin y el sistema Jaula de Faraday. Los sistemas de conducción y atracción tratan de atraer la descarga del rayo. Para lograrlo, estos sistemas proveen una trayectoria de descarga de baja impedancia a tierra, manteniendo la corriente lejos de la estructura que protegen. El sistema de conducción usa varillas de pararrayos y el sistema de atracción usa un isótopo radioactivo o un iniciador iónico para atraer el rayo. El sistema de disipación usa una gran cantidad de pequeños puntos metálicos para crear un campo pasivo ionizado que trata de descargar continuamente el campo eléctrico creado por la tormenta. La idea es la de 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.

Pruebas hechas a los tres sistemas demuestran que el sistema de conducción es igual o mejor que los otros dos sistemas y es al momento el único aprobado. En pruebas realizadas al sistema radioactivo contra la varilla de terminal convencional (Barra de Franklin), se demostró que ésta es mucho más efectiva para capturar el centelleo o el inicio de la descarga, con las terminales de los dos sistemas colocados a la misma altura. Es decir, las sustancias radioactivas no mejoran en mucho los efectos de atracción de la varilla del pararrayos.

V.4.1.1 Varilla de pararrayos convencional.

La terminal de aire para un sistema de varilla pararrayos, puede ser cualquier punta afilada o una varilla sin punta, instalada a una altura determinada, para proteger cualquier instalación dentro del llamado "cono de protección". El concepto básico es que cualquier instalación u objeto dentro de este cono está protegido contra un impacto directo, ver figura V.23. La terminal de aire es para atraer y desviar la descarga atmosférica. La eficacia está calculada sobre la base de la probabilidad de captura del rayo debido a su configuración. Las varillas generan los flujos de corriente que se mueven hacia arriba y que contactan a la carga inicial del rayo cerrando el circuito del mismo. Aún no está determinada la eficacia de una punta afilada contra una punta achatada, aunque si resulta claro la eficacia de la varilla para atraer el rayo. La eficacia de las varillas no es del 100%: para una altura menor a 100 metros la probabilidad de captura es menor del 95%, para alturas mayores a 100 metros el porcentaje de captura disminuirá conforme aumenta la altura.

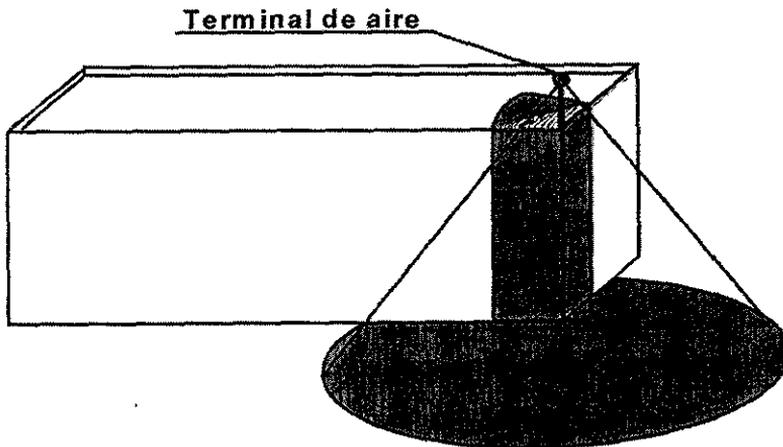


Figura V.23 Eficacia de la terminal de aire.

El conductor que baja del pararrayos es comúnmente un cable de cobre desnudo de gran longitud, que va de la terminal de aire a tierra. Las características de la impedancia resultante varían dependiendo de los parámetros físicos. Con un promedio de la corriente del rayo en aumento a una relación de más de 10, 000 amperes por microsegundo, que representan una alta impedancia para la corriente del rayo, se desarrollan diferenciales de voltaje de hasta un millón de volts. Por ejemplo, considerando que el impacto de un rayo en promedio es de 20,000 amperes, aplicado a un sistema de tierra con una resistencia de 10 ohms, se tendrá una diferencia de potencial de 200,000 volts en el punto de aterrizaje.

V.4.1.2 Varilla de pararrayos radiactiva.

Este tipo de varillas se basa en el uso de isótopos radioactivos en la terminal de aire para atraer los rayos. La terminal de aire radiactiva es simplemente una terminal sofisticada, por lo general de diseño puntiagudo, alrededor de la cual se instala o empotra un elemento radioactivo. El número de elementos se diseña para controlar el alcance del pararrayos o según el área a proteger. Estas varillas aún no están completamente aprobadas. Basándose en pruebas realizadas, se ha llegado a la conclusión que no se tiene ningún efecto significativo sobre la conducción de rayos con el uso del material radioactivo, incluso bajo ciertas circunstancias las varillas convencionales tienen mayor alcance sobre las radiactivas. El uso de este tipo de varillas está prohibido en países como Francia, España y Portugal. Los fabricantes de este tipo de varillas, incluyen como conductor de bajada a tierra conductores coaxiales de baja impedancia, los cuales logran una mejoría en la reducción de la impedancia con respecto al sistema de varillas convencional. Estos conductores coaxiales trabajan bien a menos que su rango de aislamiento sea excedido; cuando esto sucede se destruye el cable, con el consecuente incremento de los costos de mantenimiento.

V.4.1.3 Jaula de Faraday.

La Jaula de Faraday es un blindaje electrostático construido para envolver la instalación a proteger, como se observa en la figura V.24. La jaula ofrece la ventaja del blindaje a radiofrecuencias (electrostático), cuando la malla de alambre es más cerrada. Cuando los alambres están más separados, la atenuación de la RF se reduce a menores y más bajas frecuencias. Este sistema atenúa los transitorios atmosféricos en relación directa a la densidad de la matriz de alambre. Las desventajas de la Jaula de Faraday están relacionadas con su costo y el factor de no tener impacto con los pulsos electromagnéticos relacionados con la descarga atmosférica.

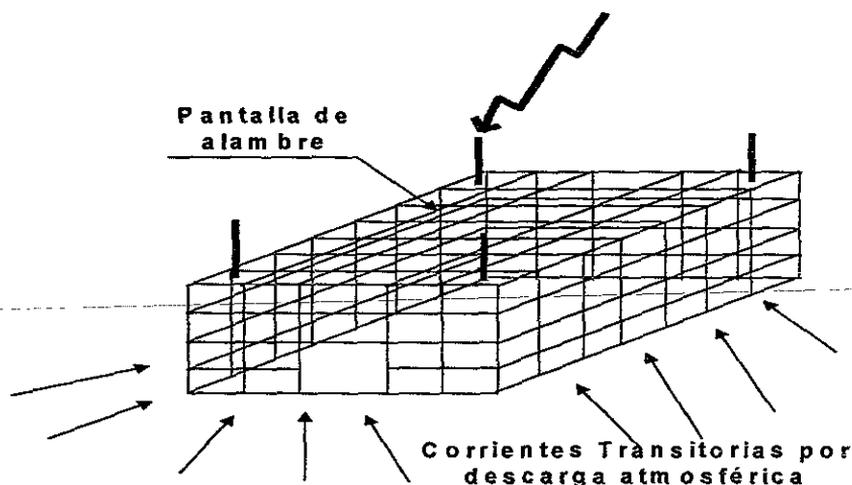


Figura V.24 Jaula de Faraday.

V.4.1.4 Sistema de rayo láser.

El uso del rayo láser como una terminal de aire se ha propuesto en los últimos años, sin embargo, aún está en proceso de implementación. El láser produce una ionización de multifotones en gran escala en el lugar correcto y en el tiempo deseado. Esto es, tiene la capacidad de desviar la carga inicial del rayo hacia abajo, formando un sendero para el rayo para distancias de varios kilómetros. Así como en una terminal de aire, esto representaría una mejoría sobre los otros sistemas, es decir, una alta probabilidad de captura del rayo. La desventaja es que el sistema estaría compuesto del conductor de bajada y la malla de tierra convencional, además de su alto costo, y que se encuentra en una etapa inicial de desarrollo.

V.4.1.5 Arreglo de disipación.

El sistema de disipación se diseña para prevenir un impacto de rayo en un área protegida y en el propio sistema. Esto se logra reduciendo el potencial entre el área protegida y las nubes, de tal manera que el potencial no sea lo suficientemente alto como para formar un rayo. El sistema de protección libera la carga inducida por una tormenta a un nivel en el que se hace imposible una descarga eléctrica. La reducción de la carga se efectúa aprovechando el campo electrostático y el principio de "punta de descarga". La mayor parte de la energía de la tormenta (90%) se disipa a través de los llamados "medios de disipación natural", un disipador multipunto será simplemente una extensión de ese fenómeno, a través de un medio más eficiente. La

disipación natural es el resultado de la ionización producida por los árboles, el pasto, las cercas y objetos similares, naturales o hechos por el hombre, que están expuestos al campo electrostático creado por las nubes de la tormenta. Un sistema de disipación se basa en la premisa de que el fenómeno de punto de descarga puede ser intensificado, proporcionando un mecanismo para reducir significativamente la carga inducida en un área determinada, disminuyendo de esta manera la diferencia de potencial entre esta área y sus alrededores, a medida que se carga la nube. Este sistema se compone de tres elementos: el disipador (o ionizador), un colector de corriente de tierra y los conductores de servicio, como se observa en la figura V.25.

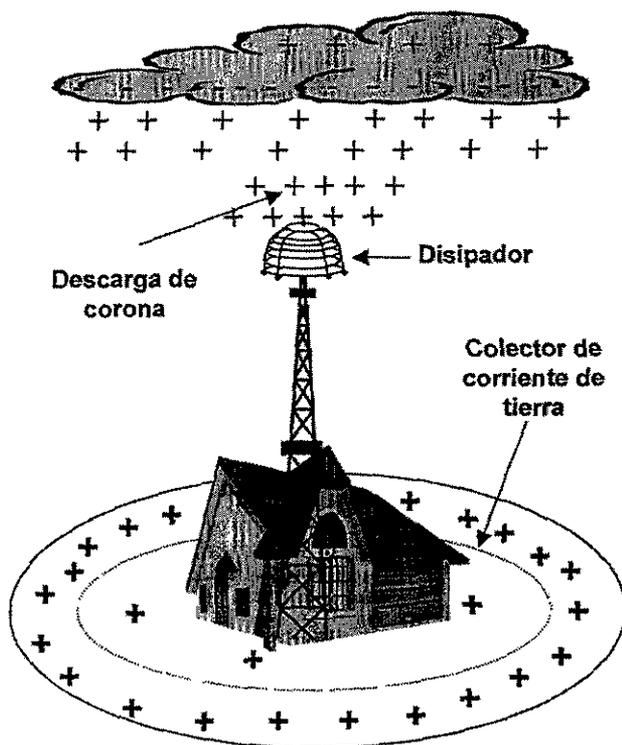


Figura V.25 Arreglo de disipación.

V.4.2 Recomendación para un sistema de protección contra rayos.

El punto más vulnerable en una descarga directa de rayo, se encuentra en la parte más alta de una estructura. La torre metálica o las antenas que sobresalgan de la estructura son las más

susceptibles de recibir descargas. Al instalar una terminal, para recibir la descarga del rayo sobre la cumbre de una torre de telecomunicaciones, las descargas de rayos directos pueden ser atraídos a un punto lejano de las antenas y sus cables para minimizar el riesgo de daño a equipos. Los rayos pueden entonces ser atraídos hacia el conductor para la segura transferencia de su energía a tierra. Una vez que el rayo ha sido capturado es necesario trasladar la corriente hacia la tierra, teniendo en cuenta que se debe minimizar la conducción de corrientes producidas por el rayo a conductores secundarios: tales como cables coaxiales de alimentación, ya que estos pueden transportar energía del rayo directamente a tableros de equipo electrónico sensible. Es esencial contar con un sistema de tierra de baja impedancia para disipar el rayo hacia la masa de tierra de manera efectiva. Los sistemas de tierra o malla de tierra son primordiales en el diseño integral de la instalación, por lo que, basados en lo expuesto en el inciso V.4, se hacen las siguientes recomendaciones para la malla de tierra:

- Un anillo de tierra debe rodear el edificio de telecomunicaciones con un solo punto de conexión a tierra dentro de la instalación, o dos dependiendo de las dimensiones del edificio.
- El uso de un sistema radial para la protección contra rayos, como se muestra en la figura V.26, deja que la energía del rayo se difunda para que cada conductor tome una porción de la corriente. Esto ayuda a bajar la impedancia y, en consecuencia, los gradientes de voltaje serán bajos, reduciendo el peligro de diferencias de voltaje que pudieran afectar a personas o equipos.
- Pueden usarse compuestos especiales orgánicos para bajar la impedancia de tierra en lugares donde la resistencia de tierra es alta.

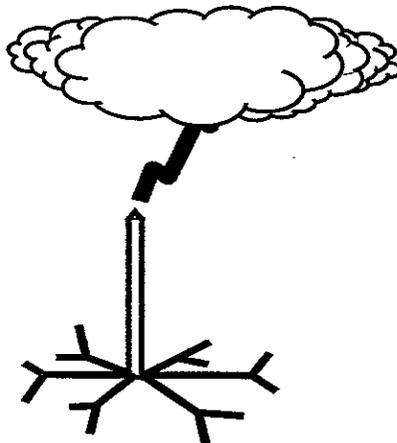


Figura V.26 Sistema de tierra radial.

El método más comúnmente utilizado como protección es el sistema de conducción, a través de varillas pararrayos en la estructura del techo, el cual acepta descargas de rayos en su área inmediata. Estas varillas son ubicadas en puntos altos para formar un sistema interceptor completo. Las terminales son de 10 a 60 pulgadas o más de altura y deben estar espaciadas a distancias no superiores a 20 pies entre sí cuando su altura es menor de 24 pulgadas. Se recomienda no instalar las varillas a una distancia mayor de 24 pulgadas de las esquinas y otros objetos con punta. Las chimeneas, ventiladores, astas de banderas, torres, tanques de agua y otras proyecciones deben protegerse con varillas. El contorno de la zona protegida por una de las antenas de captación se define como un arco que tiene un radio máximo de 150 pies y es tangente a la tierra, como se observa en la figura V.27. En esta figura se representa un edificio de 150' de altura. La circunferencia del arco 2 descansa sobre la varilla del nivel intermedio y es tangente a la superficie vertical de la varilla superior. El arco 3 descansa sobre 2 o más varillas. El área debajo de los arcos está protegidos por el sistema.

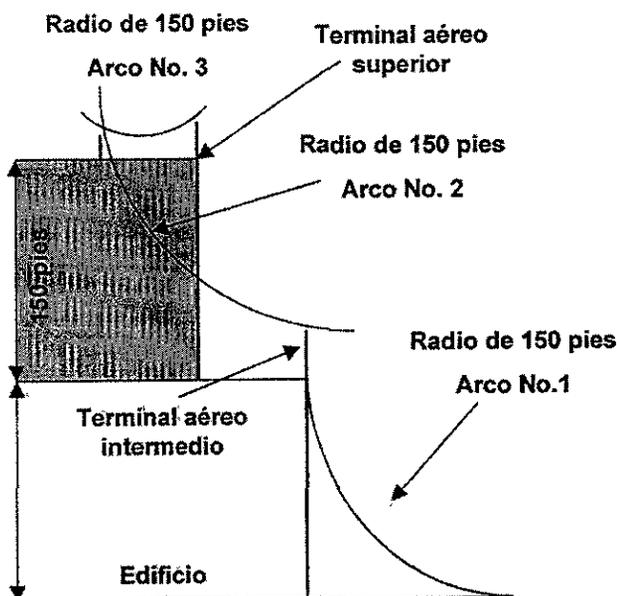


Figura V.27 Radio de protección contra rayos.

Las protecciones contra descargas atmosféricas en edificios modernos, utilizan el sistema de blindaje Jaula de Faraday, el cual facilita la supresión de sobrevoltajes. Además, se recomienda la instalación de supresores de voltajes transitorios para la protección del equipo electrónico sensible. Tal protección comúnmente es considerada como parte integral del sistema contra

descargas atmosféricas. Estos supresores se instalan a la entrada de la alimentación de energía del edificio, en cada uno de los alimentadores, aunque comúnmente se instalan asociados a equipo específicos como equipos de procesamientos de datos, computadoras de control, etc.

V.5 Protección contra sobretensiones transitorias.

Aún cuando a una estructura se la provea con un sistema de protección de descarga de rayo directo, todavía hay riesgo que sobrevoltajes transitorios puedan llegar a través de cables externos. Como se ha mencionado, sobretensiones transitorias de alta energía pueden aparecer por acoplamiento capacitivo o inductivo derivado de descargas de rayo próximas a la instalación, así como también de switcheo de equipos y por distribución irregular de alimentación. Una eficiente derivación y filtración de los transitorios de potencia en el punto de entrada de los cables de alimentación es esencial para minimizar el riesgo de daño físico de los equipos como también para prevenir pérdida de tiempo operativo con la consiguiente pérdida económica.

Los derivadores simples de descargas eléctricas, instalados en el tablero principal, pueden no proveer una adecuada protección. Para proteger equipo sensible es necesario limitar el voltaje residual al nivel de tolerancia del equipo interno. Para equipo que opera en un voltaje de 220V, un daño a los componentes puede ser el resultado de transitorios con valores máximos como de 700 V. Mientras que algunos dispositivos en paralelo pueden controlar sobrevoltajes bajo un nivel especificado, son ineficientes en prevenir la onda de energía rápida (di/dt) antes de que se active el limitador de voltaje. Los niveles de variación de corriente pueden ser tan altos como de 10 kA/ μ s (10×10^9 A/s) de la descarga inicial de un rayo y en un orden mayor para descargas subsecuentes en rayos múltiples.

Los filtros paso bajas adecuadamente diseñados, instalados después del protector primario, reducirán el voltaje máximo residual y reducirán la razón de incremento de corriente y voltaje que llega al equipo. Los filtros reductores de sobretensiones proveen una atenuación de sobretensiones en varias etapas, derivando y filtrando en las líneas de alimentación.

Los dispositivos protectores de sobretensiones coaxiales son importantes para proteger contra transitorios que vienen de torres directamente a equipos de medición y transmisión a través de cables de alimentación de radiofrecuencias.

La protección de líneas telefónicas, de datos y señalización que llegan a una estación de microondas, pueden también ser un problema para la protección integral. Los Transitorios de hasta 20 kA inyectados a líneas de telecomunicación y señalización pueden dañar y destruir equipos sensibles, llegando a cortar la transmisión de información. Los protectores de línea de telecomunicaciones son diseñados para proteger equipos terminales y de interfaz contra transitorios transportados en las líneas de telecomunicación.

Los circuitos de una fase que usan solo bloqueadores de gas proveen protección de costo efectivo para terminales electromecánicas menos sensibles o para componentes del tipo discreto además de circuitos suplementarios con protección incorporada. Los protectores de multifase que emplean bloqueadores de gas en primera etapa y semiconductor no-acoplado en la segunda etapa, pueden brindar mejor bloqueo de voltajes transitorios comparados con protectores de una sola etapa. Estos dispositivos son más adecuados para equipos análogos sensibles y para circuitos digitales PCM operando a frecuencias de hasta 8 Mbits/s o a 12 MHz.

V.6 Conexión a tierra para descargas electrostáticas (ESD).

V.6.1 Control de humedad.

A niveles altos de humedad se forma sobre las superficies una película delgada de agua. Esta película de superficie provee una trayectoria conductiva para cualquier carga generada sobre la superficie, por ésto disipa cualquier carga electrostática. Además, la humedad en el aire tiende a neutralizar las cargas de superficie, al tiempo que añade lubricidad para prevenir las cargas de fricción. En general, a menor humedad mayor será el potencial electrostático. Por esta razón, añadiendo humedad al aire disminuimos la generación de cargas electrostáticas. Pero, ciertos voltajes no pueden ser eliminados, aún a niveles altos de humedad. Además, no es recomendable mantener una alta humedad, por la incomodidad del personal y partes de los equipos pueden dañarse y corroerse. El nivel óptimo de humedad relativa, en áreas de protección contra descargas electrostáticas, y considerando los factores expuestos, debe estar en el rango del 50% al 60% de humedad relativa (H.R.). En ciertas regiones geográficas es difícil y caro mantener un nivel al 60%, por lo que se deben utilizar ionizadores de aire.

V.6.2 Superficies de trabajo.

Las superficies de trabajo que entran en contacto con objetos y personal, deben estar protegidas contra descargas electrostáticas en el área donde los objetos sensitivos a estas

cargas pueden colocarse. El objetivo de una superficie protegida es el de drenar las cargas estáticas de cualquier conductor colocado encima de ellas. La descarga debe suceder rápidamente para prevenir daños, pero lo suficientemente lenta como para prevenir un arco de descarga, el cual también puede causar daño.

Actualmente se utilizan tres diferentes categorías de materiales para estas superficies: conductivos, disipadores de estática y antiestáticos. Los materiales conductivos tienen una resistencia menor de 10^5 ohms por m^2 , los materiales disipadores de estática entre 10^5 y 10^9 ohms por m^2 y los materiales antiestáticos entre 10^9 y 10^{14} ohms por m^2 . Se ha comprobado que los materiales disipadores de estática son ideales porque las mesas antiestáticas toman demasiado tiempo para disipar una carga estática, y las mesas con superficies conductivas disipan las cargas estáticas demasiado rápido.

Deben utilizarse, además, bandas atadas a las muñecas del personal. Las superficies de trabajo deben ser conectados a la tierra suave, esto es, por medio de una conexión a tierra que esté en serie con una resistencia especificada. Esta resistencia debe estar ubicada en el punto de contacto o cerca de la superficie del banco de trabajo y ser lo suficientemente grande para limitar cualquier corriente de fuga igual o menor a 5 mA, teniendo en consideración la fuente de voltaje más alta que esté al alcance de los operarios conectados a tierra y todas las resistencias paralelas a tierra, tales como las bandas de muñeca, las superficies de los bancos de trabajo y los pisos conductivos. Típicamente esta resistencia es de $1\text{ M}\Omega$. La figura V. 28 muestra un banco típico de trabajo conectado a tierra para las descargas electrostáticas.

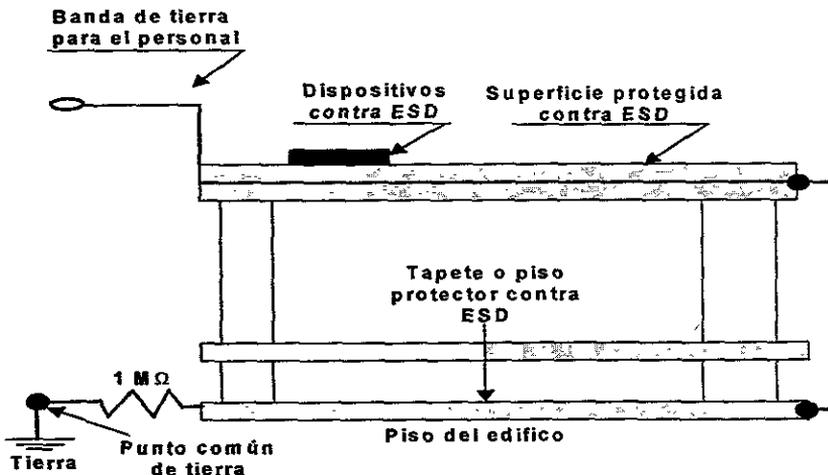


Figura V.28 Mesa de trabajo conectada a tierra para descargas electrostáticas.

V.6.3 Pisos protegidos contra descargas electrostáticas.

Casi cualquier tipo de piso, ya sea pintado, concreto sellado, con acabado de madera, de vinilo o alfombrado, puede ser el causante de problemas de descargas electrostáticas. Consecuentemente los pisos deben estar cubiertos con cobertores de protección contra las descargas electrostáticas. Los tapetes deben ser tratados con un agente tópico antiestática, si se desea una protección completa.

Al igual que las superficies para los bancos de trabajo, también existen pisos protectores conductivos, disipativos de estática o de materiales antiestáticos. Estos materiales están disponibles en forma de tapetes, losetas de vinilo y otras formas. Las losetas de vinilo conductivas han sido usadas por mucho tiempo en hospitales, ya que está diseñada para conducir cargas a tierra y de loseta a loseta. Pueden, además, aplicarse acabados conductivos en el piso. Cualquier protección usada debe estar libre de grasa, ya que la acumulación de ésta reduce la conductividad. De la misma forma que los protectores de las superficies del banco de trabajo, los tapetes y pisos conductivos, deben tener una resistencia limitadora de corriente en el cable de tierra. Cuando los pisos conductivos son usados, el personal debe usar zapatos conductivos, cobertores de zapatos o zapatos con tacones conductores de tierra, ya que los zapatos de uso regular pueden tener una conductividad inadecuada.

V.6.4 Agentes tópicos contra estática.

Los agentes tópicos contra estática, son químicos que al ser aplicados a la superficie del material aislante, reduce su habilidad para generar estática. Esto se logra de dos maneras diferentes:

- Estos agentes aumentan la superficie con propiedades lubricantes y así reducen el coeficiente de fricción del material, provocando menos corrientes por fibrilación.
- Aumentan la conductividad de la superficie, drenando las cargas.

V.7 Recomendaciones para disminuir interferencias electromagnéticas.

Los equipos y dispositivos electrónicos pueden ser muy sensibles a interferencias electromagnéticas conducidas o radiadas. Este ruido eléctrico maneja altas frecuencias que pueden dañar los dispositivos y los datos dentro de los mismos dispositivos o a través de los cableados. La mayoría de los equipos electrónicos deben contar con un filtro de interferencias electromagnéticas. Este filtro detiene la mayoría del ruido conducido desde las líneas de

potencia hasta la fuente de alimentación. Las interferencias electromagnéticas radiadas penetran al sistema a través de sus componentes metálicos o a través de las líneas de datos.

La puesta a tierra del sistema no es normalmente suficiente para observar las exigencias de la compatibilidad electromagnética. El sistema de puesta a tierra tiene la función complementaria de servir como tierra de referencia y de atenuar las perturbaciones en instalaciones con equipos eléctricos y electrónicos sensibles e interconectados. Un buen sistema de tierra interpuesto entre la fuente emisora de interferencia electromagnética y los aparatos electrónicos o las instalaciones que deben protegerse, amortigua las perturbaciones, actuando como conductor de retorno de las corrientes. Esto significa que las perturbaciones pueden describirse como corrientes, incluso cuando se derivan de un campo de energía electromagnética radiada, que se transforma en intensidad en un conductor de un aparato sensible o en una parte de la instalación que sirva como antena. Desde el punto de vista de la compatibilidad electromagnética, las instalaciones y los aparatos electrónicos modernos son sensibles frente a corrientes y voltajes muy inferiores a los que comúnmente se utilizan para el cálculo de los dispositivos de seguridad.

De acuerdo con la compatibilidad electromagnética, la configuración de una red de tierra mallada es la más eficaz. En edificios antiguos, en los que es difícil instalar una red mallada, se precisan otras medidas y una consideración exacta de las cuestiones de la compatibilidad electromagnética. A este respecto, las recomendaciones para EMC no deben reemplazar la práctica común de la puesta a tierra. Dado que una instalación puede extenderse por varios pisos, cada piso debe poseer su propio sistema de puesta a tierra en forma de una red mallada, y dichos sistemas deben conectarse entre sí y a la barra principal de tierra. Una central de telecomunicaciones es un ejemplo típico de tales sistemas de puesta a tierra, tal como se explicó en el inciso V.2.

Un medio probado para disminuir el acoplamiento entre fuentes de interferencia electromagnética y un equipo sensible, consiste en aumentar la distancia de seguridad. Este principio debe aplicarse igualmente en la puesta a tierra mallada, definiendo zonas diferentes, por ejemplo una zona electrónica, zona de máquinas, etc. Estas zonas se enlazan mutuamente, previendo la separación máxima posible entre las fuentes perturbadoras y los aparatos sensibles. Para mejorar el comportamiento de la EMC de la instalación es muy recomendable conectar los diferentes aparatos a los puntos nodales de la puesta a tierra mallada.

V.7.1 Acoplamiento.

El acoplamiento inductivo o magnético es un fenómeno de lazo cerrado, el cual puede ser reducido reorientando el área que contiene el lazo cerrado. El acople capacitivo se reduce por medio de una protección de apantallamiento o blindaje. Este blindaje cubre el procesador, el equipo y las líneas de datos. El blindaje se conecta a tierra o es conectado para proveer la trayectoria más corta para el retorno de la señal a fuente o punto de origen. Cuando la energía que se irradia de un cable retorna a través de otro circuito, la señal resultante se convierte en ruido indeseable. Un voltaje de nivel tan pequeño como de 1Volt/metro puede ser dañino para este equipo, por lo que la sensibilidad requerida para estos circuitos los hace susceptibles a niveles extremadamente bajos de interferencia, a menos que estén adecuadamente apantallados.

V.7.2 Malla de referencia de señales.

Proporcionar una trayectoria de baja impedancia para la energía de las radiofrecuencias parásitas puede ayudar a solucionar la mayor parte del problema de ruido potencial. Tal trayectoria se puede proporcionar por medio de la instalación de una malla o rejilla de referencia de señal. Esta malla puede proveer la trayectoria de baja impedancia para las frecuencias de 60 Hz o menores, hasta las de nivel de radiofrecuencias para asegurar que todo el equipo conectado y sus cubiertas se encuentran a un mismo potencial. La malla de referencia actúa como un blindaje que evita la interacción del equipo.

Una malla de cobre puede ser construida debajo del piso falso en una sala de equipo electrónico sensible, interconectando conductores de cobre sin aislamiento para formar una malla, soldando todos los puntos de interconexión. Existen en el mercado también mallas prefabricadas.

V.7.3 Blindaje o apantallamiento.

Los métodos seleccionados para eliminar los problemas de interferencias de radiofrecuencias, dependerán de las características físicas del sitio, lo mismo que la magnitud del campo presente. Algunos problemas de interferencias pueden ser corregidos simplemente haciendo conexiones a tierra separadas a la estructura o armadura del equipo afectado o moviendo el equipo a otra sala. Casos más serios pueden requerir la compra o construcción de una cubierta apantallada, incorporando potencia filtrada y ventilación blindada.

Una vez determinados los niveles de radiación, se puede fijar temporalmente papel aluminio en paredes, puertas, ventanas y gabinetes, tomando nuevas lecturas de los niveles de radiación para determinar la efectividad de este blindaje parcial. Generalmente este papel provee de 20 a 40 dB de atenuación a 100 MHz. Así se pueden hacer varias pruebas con diferentes elementos hasta asegurar un adecuado blindaje. En la mayoría de los casos se recomienda que todas las paredes, techos, piso, puertas y ventanas sean blindados. El material de blindaje debe ser ~~unido permanentemente para asegurar efectividad en el blindaje. El blindaje debe entonces conectarse a tierra.~~

V.7.4 Conexión a tierra para líneas de datos e instrumentación.

Las cubiertas metálicas conectadas a tierra, conductos eléctricos y el alambre o láminas de aluminio trenzadas que rodean a los conductores y el equipo electrónico, ofrecen un blindaje contra los campos eléctricos externos tales como interferencias electromagnéticas (EMI) e interferencias de radiofrecuencias (RFI). La efectividad de este blindaje varía con la frecuencia, el espesor y la conductividad del metal y, por sobre todo, la geometría del sistema.

El blindaje actúa como terminal para el acoplamiento electrostático de un campo conductor con otro donde existe un potencial diferente. Cuando este blindaje se coloca entre el cuerpo externo y los circuitos que protegen, las corrientes inducidas mediante capacitancias parásitas en el blindaje, fluyen en el blindaje y no en los circuitos que protegen. Esto es bastante efectivo a frecuencias bajas e intermedias. Sin embargo, a altas frecuencias, donde el blindaje mismo puede resonar o aperturas en la cubierta o en el blindaje pueden admitir longitudes de onda más cortas, el problema de interferencia requiere un tratamiento más especial. Un transitorio que alcanza su valor pico en un microsegundo, contiene componentes de alta frecuencia iguales o superiores a 250 kHz.

Los campos electromagnéticos pueden llegar a inducir corrientes en cualquier material conductor. Esta corriente inducida trata de neutralizar el campo magnético que las creó. Los blindajes de corrientes inducidas, para protección contra estos campos, dependen de la alta conductividad y del espesor proporcionado por metales tales como el cobre, aluminio y la plata. Los conductos de acero tienen una conductividad muy inferior a estos materiales, pero pueden proveer una protección adecuada si el espesor es suficiente.

Los campos magnéticos pueden ser dirigidos alrededor de los circuitos mediante materiales

magnéticos en forma de blindajes hechos de acero. El blindaje a través de corrientes inducidas y propiedades magnéticas, no depende de una conexión a tierra, pero se conecta a tierra para evitar el peligro de una descarga eléctrica y simultáneamente aprovechar las propiedades electrostáticas del blindaje del material seleccionado.

V.7.4.1 Conexión a tierra para blindaje de baja frecuencia.

Una correcta puesta a tierra del cable se debe hacer en un solo extremo, como lo muestra la figura V.29. Si se conecta a tierra en ambos extremos se produce un bucle de tierra que fluirá en el blindaje, debido a que cada punto de tierra tendrá un potencial diferente, ver figura V.30. Esta corriente inducida un voltaje en la señal o líneas de datos, produciendo datos erróneos.

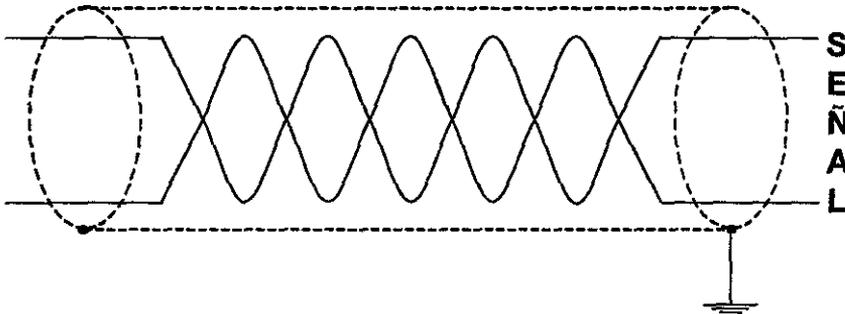


Figura V.29 Blindaje para interferencias electromagnéticas (EMI).

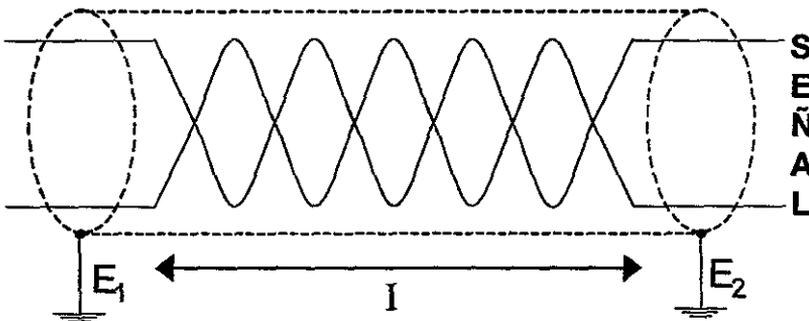


Figura V.30 Conexión doble a tierra del blindaje.

V.7.4.2 Conexión a tierra para blindaje de alta frecuencia.

El blindaje de interferencias electromagnéticas (RFI) de alta frecuencia debe ser conectado a tierra a intervalos frecuentes para minimizar las reflexiones de línea. En la figura V.31 se muestra un blindaje RFI separado. El blindaje exterior puede cubrir un número práctico de cables de señales con blindajes internos si está eléctricamente aislado de éstos, y puede ser conectado a tierra en varios puntos sin la necesidad de introducir un gradiente de voltaje de baja frecuencia en sus envolturas internas.

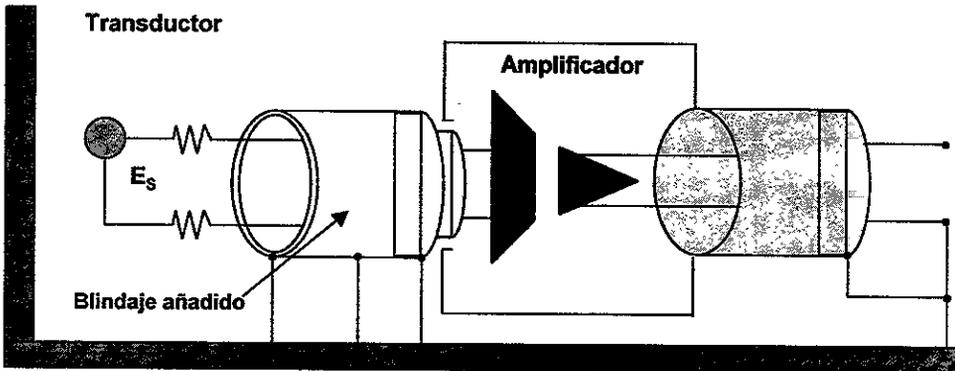


Figura V.31 Blindaje añadido para la reducción de ruido de radiofrecuencias (RF).

Capítulo VI. Conclusiones

El análisis de los disturbios principales como descargas atmosféricas, descargas electrostáticas y la compatibilidad electromagnética, que son los fenómenos que se presentan más comúnmente en instalaciones de cómputo y telecomunicaciones, así como los conceptos relacionados con el diseño de sistemas de tierras y el análisis de la normatividad existente, nos han mostrado que para una adecuada protección del personal y el equipo se requiere una protección integral, la cual no puede ser proporcionada por un sólo aparato de protección.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, del presente trabajo concluimos que para una protección adecuada de estas instalaciones se deberán tomar en consideración los siguientes puntos importantes:

1.- El caso más peligroso para el personal y el equipo es la disipación adecuada de la energía liberada por una descarga atmosférica que impacta la instalación. La única forma de garantizar que estas cargas no circulen aleatoriamente en los equipos es proveerlas de un camino externo, que garantice su circulación fuera de la instalación. Para realizar esto las instalaciones deberán estar provistas de un sistema de pararrayos, con conductores para trasladar la corriente de descarga sin peligro hacia tierra.

2.- Una vez que la energía es conducida hacia tierra, un sistema de puesta a tierra de baja impedancia es esencial para una adecuada disipación de la carga liberada por la descarga hacia la masa de la tierra y, además, servir como tierra de referencia y de atenuar las perturbaciones en todos los equipos electrónicos sensibles de la instalación. El sistema de puesta a tierra para este tipo de instalaciones deberá servir como trayecto de corriente a tierra con una diferencia de tensión lo más baja posible entre dos puntos cualesquiera de la instalación. Es indispensable realizar un análisis del terreno, previo a la instalación, para asegurar que se cuenta con una calidad de subsuelo adecuada, y así tener una resistividad conveniente; en caso de que no se tenga, recurrir a métodos artificiales para reducir la resistividad a valores aceptables.

3.- Debido a la sensibilidad de los equipos electrónicos en este tipo de instalaciones, no es

recomendable utilizar tomas de tierra independientes. Se deberá usar una conexión a tierra para todo el equipo electrónico, la cual deberá ser interconectada a la red de tierras de la instalación para garantizar una superficie equipotencial para todo el sistema.

Para realizar esto se deberán usar las barras principales de tierra, las cuales nos permitirán realizar la clasificación y sectorización de los diferentes tipos de circuitos así como la adecuada conexión al sistema de tierra.

4.- Desde el punto de vista de las normas y estándares aplicables a este tipo de instalaciones, concluimos que la Norma Oficial Mexicana (NOM) considera aspectos muy generales para la adecuada operación y protección de este tipo de instalaciones. Sin embargo, se puede asegurar, desde el punto de vista de la normatividad, que cumpliendo como mínimo la Norma Oficial Mexicana o el National Electric Code, se tendrá una instalación segura; para que la instalación funcione de una manera eficiente se deberán cumplir además las recomendaciones específicas que el fabricante establece para el equipo en cuestión. Se recomienda usar como complemento las Normas NEC y CSA ya que consideran aspectos importantes para la protección de los equipos.

5.- Desde el punto de vista de los equipos electrónicos usados en la instalación, es importante trabajar con los proveedores de éstos, para mejorar la capacidad de adaptación de este equipo a los principales disturbios mencionados. Es importante señalar que la contaminación electromagnética del medio ambiente es un fenómeno que requiere un estudio más profundo ya que los daños asociados a ésta pueden tener una implicación grande en los ámbitos económicos y de salud.

Los puntos antes mencionados representan de una manera general las características más importantes de operación que definen un sistema de protección y puesta a tierra para la protección del personal y equipo en instalaciones de cómputo y telecomunicaciones. Es importante considerar que, basados en la complejidad de los sistemas y las instalaciones, las soluciones deberán ser específicas y realmente adaptadas a los requerimientos locales y a las características de la instalación y operación, todo esto sin olvidar que cuando una falla ocurre interrumpe un proceso con el resultado de tiempo muerto de producción y pérdida de ingresos.

Apéndice. Casos de Aplicación.

Caso 1

Supongamos una semiesfera metálica de 25 cm de radio enterrada a ras del suelo en un terreno de 3000 Ω -cm de resistividad. Calcular la resistencia entre ella y una cáscara metálica concéntrica de radio 300 cm.

Solución:

Aplicando la fórmula correspondiente: $R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_1} \right)$

donde: $r_A = 25$ cm
 $r_1 = 300$ cm
 $\rho = 3000$ Ω -cm

Sustituyendo valores en la fórmula: $R = \frac{3000}{2\pi} (0.040 - 0.00333) = 17.522 \Omega$

Caso 2: Diseño de un sistema de tierra.

Se cuenta con un terreno con las siguientes características:

Área a cubrir por la red 60 m x 80 m.

Terreno de arena silícea con una resistividad de 300 Ω -m.

La resistividad superficial es de 2000 Ω -m.

La corriente de falla calculada es de 1900 A con una duración de 0.7 seg.

Se utilizará una malla construida con conductor 4/0 AWG (0.014 m) enterrada a una profundidad de 60 cm.

a) Datos obtenidos:

$$A = L_1 \times L_2 = 60 \times 80 = 4800 \text{ m}^2$$

$$\rho = 300 \text{ } \Omega\text{-m}$$

$$\rho_s = 2000 \text{ } \Omega\text{-m}$$

$$I_g = 1900 \text{ A}$$

$$T = 0.7 \text{ seg.}$$

$$h = 0.60 \text{ m}$$

$$d = 0.014 \text{ m}$$

b) Cálculos preliminares:

- Valor máximo tolerable de potencial de contacto.

$$E_{cTol} = \frac{116 + 0.174\rho_s}{\sqrt{T}} = \frac{116 + 0.174(2000)}{\sqrt{0.7}} = 554.586 \text{ V}$$

- Valor máximo tolerable del potencial de paso.

$$E_{pTol} = \frac{116 + 0.696\rho_s}{\sqrt{T}} = \frac{116 + 0.696(2000)}{\sqrt{0.7}} = 1802.405 \text{ V}$$

Suponiendo una malla rectangular de 60 m x 80 m y un espaciamento inicial de 5 m, tendremos un arreglo preliminar de 13x17 conductores.

Entonces:

$$D = \text{espaciamento entre conductores} = 5 \text{ m}$$

$$n_1 = 13$$

$$n_2 = 17$$

- Longitud de la red (conductor enterrado):

$$L = n_1(L_2) + n_2(L_1) = 13 \times 80 + 17 \times 60 = 1040 + 1020 = 2060 \text{ m}$$

- Cálculo de la resistencia de malla.

$$R_g = \rho \left\{ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left[1 + \frac{1}{1 + h \cdot \frac{20}{A}} \right] \right\} = 300 \left\{ \frac{1}{2060} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 4800}} \left[1 + \frac{1}{1 + 0.6 \sqrt{\frac{20}{4800}}} \right] \right\}$$

$$R_g = 300 \left\{ \frac{1}{2060} + \frac{1}{309.838} \left[1 + \frac{1}{1.0387} \right] \right\} = 2.0458 \Omega$$

- Elevación máxima de potencial:

$$E_g = R_g (I_g) = 2.0458(1900) = 3887.44 \text{ V}$$

c) Cálculo de las tensiones de malla y de paso de la red:

- Tensión de malla.

$$E_m = \frac{K_m K_i \rho I_g}{L}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ L n \left[\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{1}{\sqrt{1+h}} L n \left[\frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \right\}$$

n = Cantidad de conductores paralelos en una de las direcciones

$$n = \sqrt{n_1 n_2} = \sqrt{13 \times 17} = 14.86$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ L n \left[\frac{5^2}{16(0.6)(0.014)} + \frac{(5+2(0.6))^2}{8(5)(0.014)} - \frac{0.6}{4(0.014)} \right] + \frac{1}{\sqrt{1+0.6}} L n \left[\frac{8}{\pi[2(14.86)-1]} \right] \right\}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \{ L n [186.011 + 68.642 - 10.714] + 0.791 L n 0.0887 \}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \{ L n 243.938 + 0.791 L n 0.0887 \} = \frac{1}{2\pi} \{ 5.496 - 1.916 \} = 0.5697$$

$$K_i = 0.656 + 0.172n = 0.656 + 0.172(14.86) = 3.2119$$

entonces,

$$E_m = \frac{K_m K_i \rho I_g}{L} = \frac{(0.5697)(3.2119)(300)(1900)}{2060} = 506.309 \text{ V}$$

- Tensión de paso:

$$E_s = \frac{K_s K_i \rho I g}{L}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right\}$$

Siendo n el número máximo de conductores, para nuestro ejemplo n=17.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2(0.6)} + \frac{1}{5+0.6} + \frac{1}{5} (1 - 0.5^{17-2}) \right\} = \frac{1}{\pi} (0.833 + 0.1785 + 0.199) = 0.3857$$

$$K_i = 0.656 + 0.172(17) = 3.58$$

entonces,

$$E_s = \frac{K_s K_i \rho I g}{L} = \frac{(0.3857)(3.58)(300)(1900)}{2060} = 382.067$$

d) Comparación de Voltajes.

Tenemos que:

$$E_m = 506.309 \text{ V}$$

$$E_s = 382.067 \text{ V}$$

$$E_{cTol} = 564.586 \text{ V}$$

$$E_{pTol} = 1802.405 \text{ V}$$

Comparando los valores obtenidos:

$$E_m < E_{cTol}$$

$$E_s < E_{pTol}$$

Como los voltajes de malla y de paso calculados son menores a los tolerables, concluimos que la red resulta segura. El siguiente paso es optimizar el diseño de la malla preliminar.

En realidad la longitud de la red es $L_c + L_v$, donde L_v es la longitud de los electrodos o varillas de fierro, pero para nuestro ejemplo se consideró $L_v = 0$, es decir, una malla sin electrodos o

varillas de tierra. La práctica común recomienda colocar varillas de electrodos de tierra, con lo cual nuestra longitud de red (L) se incrementaría; dando como resultado una disminución de los valores de Em y Es, haciendo a la red más segura. En caso de que los potenciales de paso y de contacto en la malla sean mayores a los potenciales tolerables, se requerirá revisar el diseño preliminar. Para lo cual se puede realizar algunas de las siguientes acciones: Incluir más conductores paralelos, disminuir el espaciamento entre conductores, aumentar el área de la malla, incrementar la profundidad de la malla y seleccionar un conductor con un área mayor.

Caso 3. Método de las esferas ficticias para la colocación de apartarrayos en estructuras altas. Tomado del Segundo Curso de Seguridad Eléctrica. CAMBRE.

Este método se utiliza para cuando la altura (h) de la terminal del pararrayos al plano de referencia es mayor que el radio de la esfera ficticia (R) según la tabla A3-1.

I	20	25	-	-	-
II	30	35	25	-	-
III	45	45	35	25	-
IV	60	55	45	35	25

Tabla A3-1

Aplicando este método, la ubicación de una terminal de pararrayos es correcta si, ningún punto del espacio a ser protegido está en contacto con la esfera de radio R, cuando esta gira hacia la tierra alrededor y sobre la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. Por lo tanto, la esfera tocará solamente la tierra y/o el sistema captor y los conductores de bajada del rayo serán colocados en todos los puntos o segmentos de la estructura a proteger en contacto con la esfera ficticia, como se muestra en la figura A3-1.

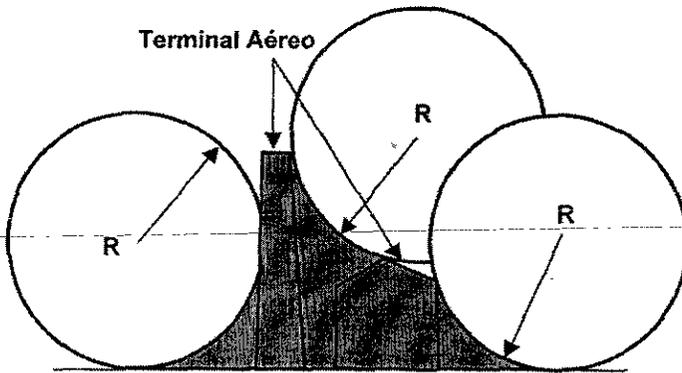
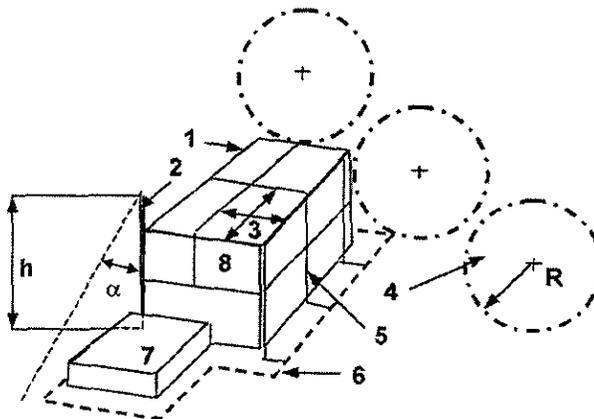


Figura A3-1

Las figuras A3-2 y A3-3 muestran la aplicación de la esfera rodando en diferentes estructuras.



1	Cable de intercepción del rayo	6	Electrodo de tierra
2	Varilla de intercepción del rayo	7, 8	Estructuras a proteger
3	Malla de protección	h	Altura de la terminal aérea sobre el nivel de tierra
4	Esfera	α	Angulo de protección
5	Conductor de bajada	R	Radio de la esfera de acuerdo a la tabla A3-1

Figura A3-2

La zona sombreada en la figura A3-3 es el área expuesta a los rayos, por lo tanto es la zona

que necesita protección de acuerdo con la tabla A3-1.

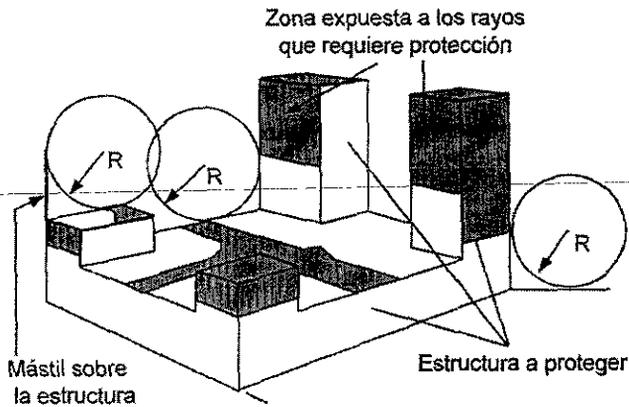


Figura A3-3

Las figuras A3-4, A3-5, A3-6 y A3-7 ejemplifican casos según la tabla A3-1.

La figura A3-4 muestra un edificio de 45 mts. de altura en donde al hacer rodar la esfera de $R = 20$ mts. hasta la tierra, nos pone en contacto con la zona marcada en trazo grueso, que debe por lo tanto ser cubierta con captores, conductores y bajadas a tierra. Con ello logramos el nivel I de protección.

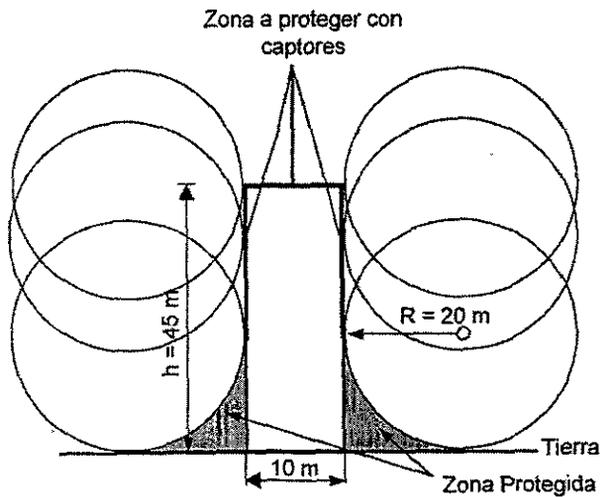


Figura A3-4

La figura A3-5 muestra el mismo edificio donde hacemos girar la esfera de $R = 30$ mts. hasta tierra, poniéndonos en contacto con una zona menor, que debe ser cubierta con captores, conductores y bajadas a tierra. Con esto logramos un nivel de protección inferior al anterior ejemplo, es decir, un nivel II.

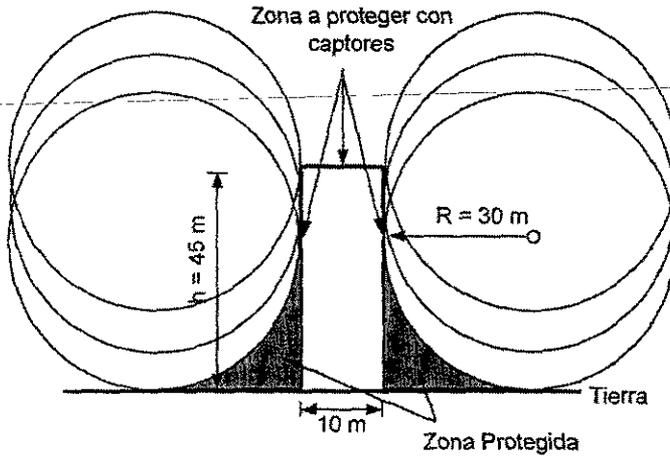


Figura A3-5

La figura A3-6 muestra un edificio de 60 mts de altura. La esfera de $R = 20$ mts. toca 40 mts del edificio, al hacerla rodar hasta tierra, debiendo ser protegidos para lograr el nivel I de protección

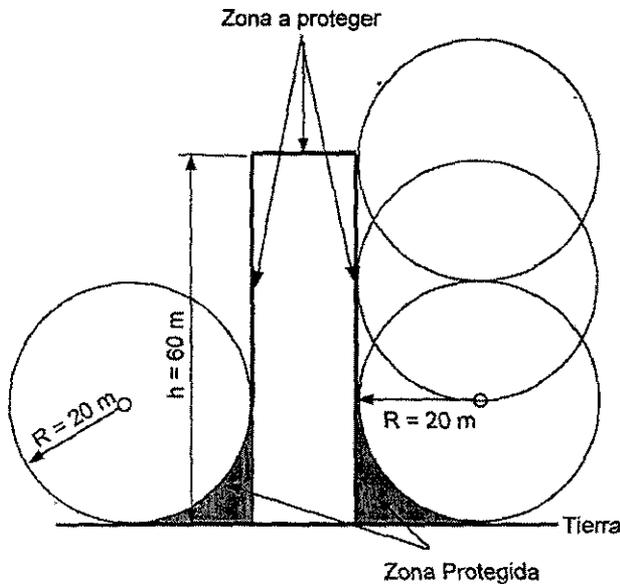


Figura A3-6

Si protegiéramos con una esfera de $R = 30$ mts. y la hacemos rodar hacia tierra, la zona protegida abarcaría 30 mts. de altura del edificio, el resto deberá cubrirse con captores y conductores a tierra, pero el nivel de protección alcanzado será el II, como se muestra en la figura A3-7.

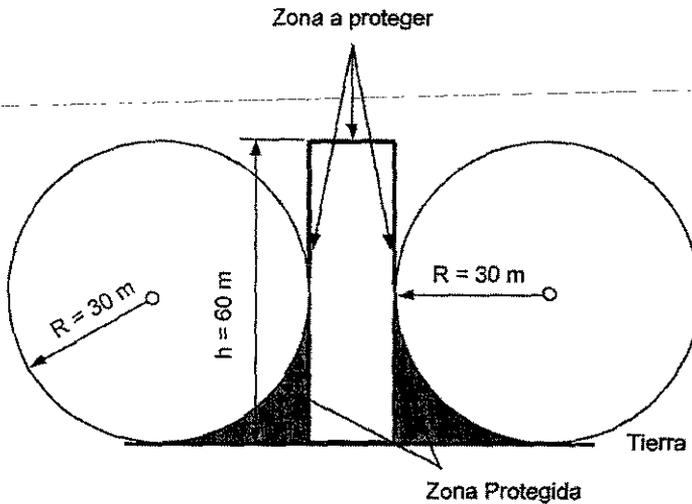


Figura A3-7

Caso 4. Problema de Transitorios. Adaptación del estudio realizado por INGETEL para TELMEX en el RMO La Pera Mor.

Una compañía de telecomunicaciones ha estado experimentando daños y mala operación en sus equipos electrónicos y de potencia en una sus instalaciones. Por tal motivo instaló equipo analizador de potencia para determinar los disturbios que se presentan en el suministro de la energía. El sitio en cuestión es un Repetidor de Microondas (RMO) ubicado en el estado de Morelos, México. Este RMO cuenta con dos salas independientes: una de ellas conteniendo el tablero de distribución de corriente alterna, 2 bancos de baterías, plantas de emergencia y una planta de rectificación; todo este equipo necesario para suministrar -48 V de corriente directa ininterrumpida, necesarios para la operación del equipo de comunicación. La otra sala contiene el equipo de telecomunicaciones formado por sistemas de radioenlaces de diferentes proveedores.

Se instaló un equipo Analizador de Línea de Potencia BMI Modelo 8800 monitoreando la potencia de corriente alterna en el sistema trifásico (220/127 V) del RMO. De acuerdo con este

monitoreo se obtuvieron gráficas del comportamiento de la potencia como las que se muestran a continuación.

PH B-NEUT IMPULSO
 302 V pico
 238 Posición de fase
 0.7 Tiempo de incremento microseg.
 18 mJoules (estimados) a 50 ohms

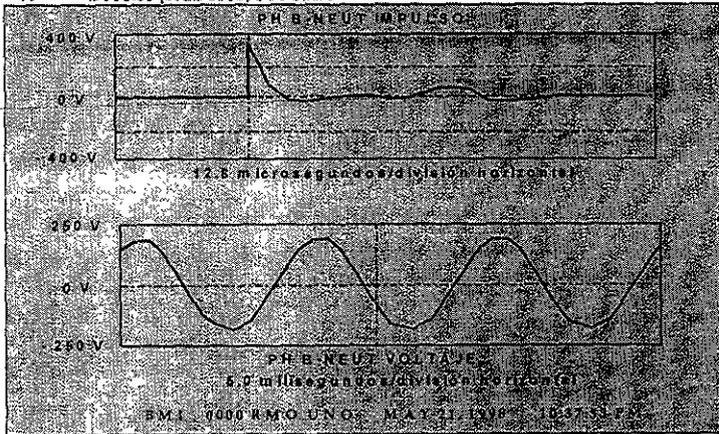


Figura A4-1

PH B-NEUT IMPULSO
 258 V pico
 95 Posición de fase
 0.7 Tiempo de incremento microseg.
 19 mJoules (estimados) a 50 ohms

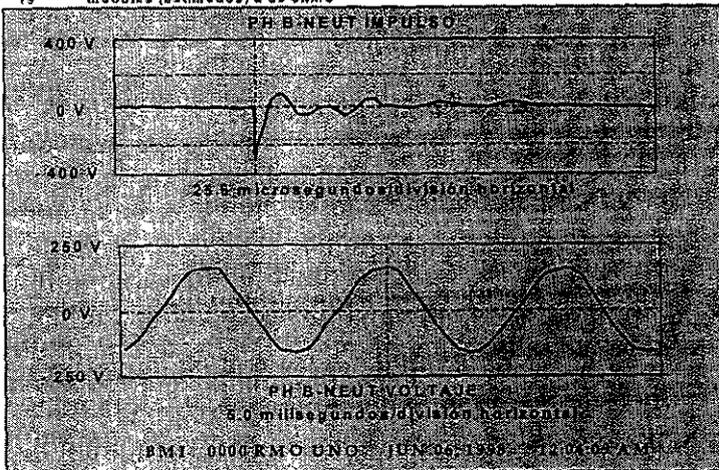


Figura A4-2

PH C-NEUT IMPULSO
 371 V pico
 260 Posición de fase
 5,0 Tiempo de incremento microseg.
 640 mJoules (estimados) a 50 ohms

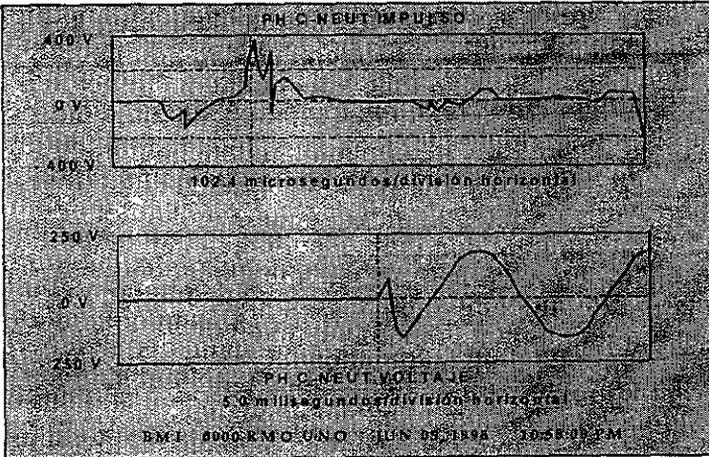


Figura A4-3

PH B-NEUT IMPULSO
 261 V pico
 34 Posición de fase
 0.7 Tiempo de incremento microseg.
 280 mJoules (estimados) a 50 ohms

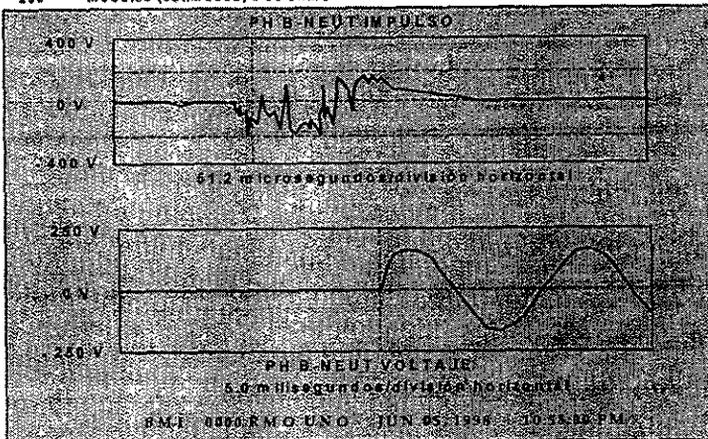


Figura A4-4

PH C-NEUT IMPULSO

318 V pico
 286 Posición de fase
 3.8 Tiempo de incremento microseg.
 790 mJoules (estimados) a 50 ohms

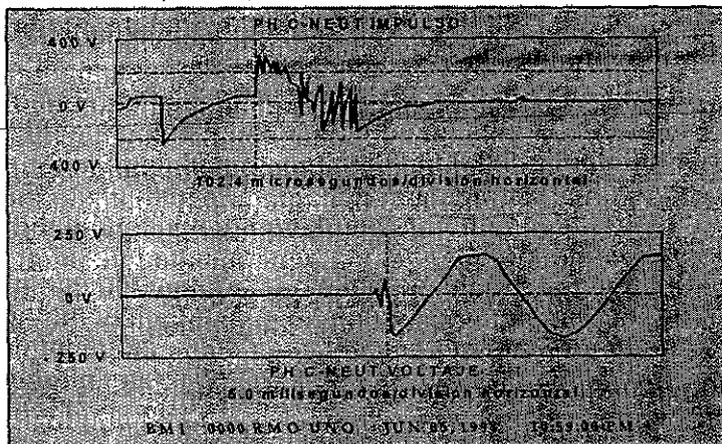


Figura A4-5

Con base en la información contenida en los datos suministrados por los analizadores, se observa que el circuito de potencia de corriente alterna monitoreado está plagado de sobrevoltajes transitorios que ocurren a valores suficientes como para afectar y/o dañar equipo electrónico sensible. Se puede observar en las gráficas obtenidas que se registraron transitorios excediendo amplitudes de 200 volt/pico. Un impulso se detectó cerca del pico de onda senoidal; este voltaje combinado con el valor del voltaje de onda senoidal instantáneo pasó por las cargas de equipo. La actividad transitoria en estos niveles afectaría la operación del equipo sensible y eventualmente podría ocasionar daños a los circuitos del equipo si el problema no se resuelve.

Los sobrevoltajes transitorios hacen referencia a la muy corta duración de los voltajes que pueden inducirse en cualquier punto a lo largo de la onda senoidal de c.a. Estos alcanzan rápidamente sus valores de voltaje máximo y pueden aproximarse a miles de volts en casos extremos. Al analizar los efectos dañinos de los transitorios, es importante saber en dónde, sobre la onda senoidal de c.a., se induce el transitorio. Los valores de voltaje transitorio se añaden a los voltajes de la onda senoidal instantáneos. Los dispositivos de carga del circuito de potencia c.a. están momentáneamente sujetos al total del valor del voltaje. En algunos casos, un transitorio que es inducido hasta el punto de cruce por cero de la onda senoidal de c.a. no serán dañinos, mientras que los mismos transitorios inducidos sobre el pico de la onda senoidal

pueden ser muy dañinos. Por ejemplo, el valor pico de una onda senoidal de 127 Vrms es de 179.578 V. Un transitorio inducido de 150 volts en fase sobre el pico de la onda senoidal añade 150 volts a ese valor de onda senoidal pico. Por lo tanto un voltaje total de 329.578 V por el equipo de carga.

Los sobrevoltajes a estos niveles pueden interrumpir la operación de equipo. Por otro lado, ese mismo transitorio de 150 Vp que ocurre en el punto de cruce por cero de onda senoidal somete a los dispositivos de carga a un valor de voltaje instantáneo no dañino de 150 V que es bien recibido dentro de la envolvente senoidal de c.a. No debe ocurrir actividad transitoria entre los conductores Neutro/Tierra en un circuito de potencia c.a. debidamente aterrizado.

Las gráficas también muestran fallas de forma de onda, en donde la onda senoidal de c.a. se distorsionó de forma severa. La distorsión posiblemente fue resultado de la conmutación de una fuente de potencia alterna, posiblemente de un generador de respaldo (máquina de emergencia) del circuito monitoreado.

La anomalía de c.a. más seria que se registró en el RMO parece ser la actividad transitoria. Se observan sobrevoltajes transitorios a niveles suficientes para afectar y posiblemente dañar el equipo. Se registraron transitorios que alcanzaron amplitudes de 300 volts/pico. Se detectaron impulsos en o cerca de los picos de onda senoidal. Este voltaje se combina con los valores de voltaje de onda senoidal instantáneos que pasan por las cargas de equipo. La actividad transitoria de estos niveles afectará la operación del equipo sensible y probablemente ocasionará daños a los circuitos del equipo si no se corrige la falla.

El equipo detectó numerosas fallas de forma de onda, en donde la onda senoidal de c.a. se distorsionó de forma severa. Muchas de las distorsiones parecen ser capacitivas, posiblemente resultado de las acciones correctivas del factor de potencia. Algunas distorsiones parecen relacionarse con la conmutación de fuentes de potencia alterna, posiblemente la máquina de emergencia del repetidor. Algunas distorsiones pueden ser resultado del ciclaje de potencia de cargas inductivas. También se observa recorte de los picos de onda senoidal en diferentes puntos de la instalación. Esta es una indicación de transformadores de distribución y equipo relacionado sobrecargados, defectuosos a saturados. Este fenómeno también es producido por tableros de distribución polifásicos, circuitos o transformadores no balanceados. Por otra parte, el flujo excesivo de corriente a frecuencias armónicas puede ser el origen de este problema. También se registran alteraciones transitorias, interrupciones de potencia y anomalías de regulación.

RECOMENDACIONES: Como un paso preliminar es muy importante asegurar que exista el aterrizaje adecuado en la instalación. Esta acción es vital para eliminar fallas humanas y también ayuda a eliminar muchas dificultades operativas de equipo. Se debe verificar que todo el equipo de distribución utilizado sea del tamaño correcto para cumplir con los requisitos de corriente de los dispositivos de carga del circuito. También es importante verificar que todas las conexiones eléctricas estén bien hechas. La falla de forma de onda también puede haber sido resultado de conexiones mal hechas. Los transformadores de distribución, paneles, cableado y otro equipo relacionado también deben incluirse en este dimensionamiento. Es importante verificar que las tres fases estén balanceadas. Asimismo los dispositivos de carga deben monitorearse para verificar que las salidas armónicas se encuentren dentro de las especificaciones del fabricante del equipo. Se requiere el monitoreo constante de los circuitos de c.a. para determinar la fuente o fuentes de la distorsión de onda senoidal. Además de la realización de las verificaciones mencionadas.

Como se observa en los resultados obtenidos, las anomalías de regulación, en donde el voltaje de entrada se incrementa aproximándose a 107% de los valores nominales, ocurren con regularidad. En comparación con los transitorios, las anomalías de regulación y otros problemas de regulación, duran más pero son de mucho menor amplitud. La mayoría de los dispositivos electrónicos toleran valores de derivación / regulación que fluctúan desde disminuciones de voltaje de hasta un 87% a incrementos de hasta 106% de los voltajes de línea c.a. nominales. Sin embargo, los fabricantes de equipo electrónico sensible frecuentemente requieren una regulación más estricta de ± 3 a 5% de los valores de línea nominales.

Se requiere además del monitoreo continuo del sistema de potencia para determinar la fuente o fuentes de la distorsión de onda senoidal. Además de la realización de las verificaciones previamente mencionadas, no se cuenta con información suficiente para realizar una evaluación precisa de la situación con relación a la distorsión de la onda. Se recomienda tener monitoreado este circuito, poniendo énfasis en la medición de las armónicas.

Las anomalías de regulación, en donde el voltaje de entrada fluctúa desde valores nominales ocurren con regularidad en el sitio. En comparación con los transitorios, las anomalías de regulación y otros problemas de regulación duran más pero son de mucho menor amplitud. La mayoría de los dispositivos electrónicos pueden tolerar valores de derivación/regulación que fluctúan desde disminuciones de voltaje de hasta un 87% a incrementos de hasta 106% de los voltajes de línea de c.a. nominales. Sin embargo, los

fabricantes de equipo electrónico sofisticado frecuentemente requieren una regulación más estricta de ± 3 a 5% de los valores de línea nominales.

Las dificultades de regulación de voltaje tienen muchos orígenes. Proviene de tableros, transformadores, etc. de distribución de c.a. polifásicos balanceados incorrectamente o sobrecargados. La corriente excesiva que fluye en los conductores de potencia a frecuencias armónicas de la onda senoidal de c.a. fundamental también puede contribuir con los problemas de regulación. Las recomendaciones a utilizar para aislar las fallas de forma de onda también se aplican aquí. Además de la realización de las acciones ya establecidas, también es importante que cualquier conductor de neutro o tierra de calibre diferente sea reemplazado por conductores de tamaño adecuado. Si se requiere de una regulación de voltaje exacta, puede utilizarse un transformador de regulación en el circuito afectado, manteniendo la salida a $\pm 2.5\%$ del valor de fase nominal. Si los circuitos monitoreados se encuentran sobrecargados, un transformador de regulación incrementará los problemas ya existentes.

De acuerdo con el comportamiento observado en la línea de c.a. se recomienda instalar definitivamente un supresor de transitorios. La actividad transitoria es la causa más común de las alteraciones de potencia de c.a. que pueden afectar o dañar al equipo electrónico. Es importante que el supresor seleccionado sea diseñado para ser conectado en paralelo con el circuito protegido. Debe responder a la actividad transitoria en menos de 5 ns y utilizar componentes no degradables en sus etapas de supresión. Debe retener a los transitorios a niveles de voltajes seguros de manera que no se exceda del 120% de la amplitud de onda senoidal pico independientemente de en donde, sobre la onda senoidal, se induzca el transitorio. El supresor no deberá utilizar componentes conector en serie que puedan cargar el circuito, afectar la operación de cualquier equipo de regulación instalado o contribuir con los problemas armónicos ya existentes. Es muy importante que no se utilice tierra de seguridad o equipo para su trayectoria de supresión. Debido a que se observa actividad transitoria de larga duración, el supresor deberá diseñarse para disipar la energía relacionada con la forma de onda transitoria de 10/1000 μs .

Caso 5. Prevención de daños por cargas electrostáticas (ESD). Extracto tomado de MFG1.1.1 de Unisys Corporate Policies**a) Definiciones:**

Las siguientes definiciones son parte de la terminología común asociada con la prevención contra daños por descargas electrostáticas (ESD):

Carga electrostática:

Es una carga eléctrica en reposo. Estas cargas pueden ser generadas por efectos triboeléctricos, inductivos, o capacitivos.

Descarga electrostática:

Transferencia descontrolada de carga electrostática entre cuerpos a diferentes potenciales electrostáticos, causada por contacto directo, inductivo por un campo electrostático, y/o carga capacitiva.

Material protector ESD:

Son aquellos que tienen uno o más de las siguientes características:

Limitación de la generación de electricidad estática, disipación rápida, carga electrostática sobre su superficie, protección de ESD o campos electrostáticos. Los materiales protectores contra ESD se clasifican por su resistividad superficial (o alternancia, conductividad) como conductor disipación estática

Mesa de trabajo protegida ESD:

Se habla de ellas comúnmente de igual manera si son fijas o móviles. Cuando un banco de trabajo se identifica como banco de trabajo protegido contra ESD, debe estar equipado con los dispositivos necesarios para asegurar que se mantenga ese ambiente. La mesa de trabajo debe mostrar las cualidades para prevenir cualquier carga de objetos vía efectos triboeléctricos y proporcione un camino a tierra para cualquier objeto cargado que es llevado a la estación de trabajo. Una estación de trabajo definida como estacionaria requiere que el operario se limite a un área protegida contra ESD, típicamente se debe usar una muñequera aterrizada.

Una estación de trabajo que se defina como móvil, involucra que los operarios tengan libertad de movimiento por medio de aterrizaje del cuerpo usando calzado protegido contra ESD y cubierta del piso protegida contra ESD.

Puntos protegidos contra ESD:

Los componentes o aparatos pueden ser sufrir sobretensiones, daños, o destrucción por descargas eléctricas que se encuentren en algún proceso o manipulación. Los puntos sensitivos a las ESD se pueden clasificar de acuerdo al voltaje máximo que no debe dañarlos.

Campo electrostático:

Gradiente de voltaje entre una superficie cargada electrostáticamente, y otra superficie a diferentes potenciales electrostáticos.

Tierra, puesta a tierra:

Punto de conexión común usada como referencia. La tierra es utilizada frecuentemente por su habilidad de absorber o ser fuente de grandes cargas.

Tierra efectiva:

Punto de conexión común para aterrizar a tierra, a través de un buen conductor como lo puede ser un conductor de cobre.

Tierra blanda:

Conexión a tierra a través de una resistencia lo suficientemente grande para limitar el flujo de corriente a niveles seguros para las personas (normalmente 0.5 mA). Se debe tener la precaución de no alcanzar niveles de corriente inseguros.

Material conductor:

Material que tiene una resistividad superficial de $10^5 \Omega/\text{cuadrados}$.

Material aislante:

Material que tiene una resistividad superior a $10^{12} \Omega/\text{cuadrados}$.

Material disipador estático:

Material que tiene una resistencia superficial entre 10^5 y $10^{12} \Omega/\text{cuadrados}$.

Cristal piezoeléctrico:

Placa o cuerpo piezoeléctrico, como el cuarzo, usado para variar en forma precisa la frecuencia de un oscilador o como un elemento de un circuito filtro de cristal.

Dispositivo semiconductor:

Dispositivo cuya característica esencial esta regulada por el flujo del flujo de las cargas en un material semiconductor.

Resistividad superficial:

Proporción de voltaje de corriente directa y la corriente que pasa a través la superficie de un material. Esto se mide en ohms por cuadro:

- La resistividad superficial de un material es la resistencia entre dos lados opuestos de un cuadrado, en su superficie y es independiente de su tamaño o sus unidades dimensionales.
- La resistividad superficial es relevante solamente para materiales donde la conducción es virtualmente en la superficie.
- Cuando se mide la resistencia superficial decae la proporción, la medición se debe efectuar a temperaturas de 25° C y una humedad relativa de 25% a 35 % en el lugar de la prueba. Materiales higroscópicos normalmente requieren 24 a 48 horas de pre-acondicionamiento previo a la realización de la prueba.

Componentes de capa delgada:

Un circuito o elemento electrónico formado al alto vacío o por deposición superficial en un material de soporte. También están incluidos los componentes producidos por deposición electromecánica, deposición pirolítica, deposición en vapor, y técnicas similares cuando las capas así formadas sean menores de 5 micrómetros de grueso.

b) Requerimientos

Medio Ambiente

Limpieza:

Las áreas protegidas contra ESD se deben mantener limpias y libres de materiales que no sean necesarios en los procesos de trabajo. Se debe prohibir que materiales que no sean esenciales incluyendo comida, bebidas, materiales flamables, etc. se encuentren en área de trabajo.

Control de humedad:

El rango óptimo del control de la humedad es de 30% a 50% de humedad relativa. Niveles de humedad por debajo de 30% pueden requerir protección contra ESD adicional.

Puesta tierra:

Se deben tomar en cuenta consideraciones humanas (posibles errores) antes de la puesta a tierra contra ESD, especialmente cuando se trabaja con equipo de alto voltaje. Se deben evaluar los riesgos asociados con las puestas a tierra paralelas (muñecas, pies, asientos bancos de trabajo, etc.). Dispositivos protectores contra ESD como muñequeras, cintas para suelas y materiales de madera se deben conectar a tierra a través de una resistencia de 1 Megaohm \pm 10%. Cada uno de estos se debe conectar a tierra por separado.

Esto se refiere a estaciones de trabajo y medio ambiente de los operarios, no confundir con puesta a tierra de gabinetes o puesta a tierra de herramientas.

Materiales y dispositivos preventivos**Muñequeras a tierra:**

Se utilizan muñequeras para aterrizar el cuerpo de los operarios, y enviar cualquier carga estática que se presente puesta a tierra. Estas deben ser ajustables y conductivas, haciendo contacto con la piel alrededor de la muñeca. Se conecta a tierra por medio de un conductor flexible, teniendo en la muñeca un medio de fácil colocación o retiro y en el otro extremo un caimán o conector tipo banana que se conecta a la estación de trabajo. Para evitar un choque eléctrico se debe conectar a tierra a través de una resistencia de 1megaohm \pm 10% (en serie). Lo más deseable es que la resistencia este internamente construida en la muñequera. Nunca se debe de conectar a tierra efectiva (sin la resistencia). Se debe verificar la integridad física de la muñequera con regularidad para asegurar su correcta operación (lo recomendable es hacerlo cada ocasión que se usen).

Batas:

Las batas protectoras contra ESD se construyen de materiales resistentes a cargarse cuando son frotadas contra cualquier otro material. Previendo que la ropa entre en contacto con materiales que son generadores de estática (por ejemplo otro tipo de ropa) se reduce este riesgo. Las batas protectoras contra ESD, pueden tener estas características cuando se le introducen durante la fabricación hilos de carbón. La resistividad superficial de las batas no debe exceder 109 Ω /cuadrados para asegurar su efectividad, y no debe bajar de 105 Ω /cuadrados para prevenir al usuario un choque eléctrico. Se deben verificar cada seis meses.

Zapatos de trabajo:

Los zapatos y botas de trabajo incluyen suelas conductoras, cintas en el tacón, cintas en los dedos. Se debe entender que el calzado protector es efectivo solamente si se usa en conjunto con suelos de superficie conductora. Estos sirven como medio de conexión desde el cuerpo humano hasta la tierra, evitando así la acumulación de carga estática. Las cintas en el tacón funcionan conectándose una capa soldada del zapato con una cinta conductora ubicada bajo el tacón. Cuando se utiliza calzado protector contra ESD, este debe mantener una resistencia en un rango entre 106 y 109 ohms y deben ser chequeadas diariamente.

Cubiertas protectoras ESD para pisos:

La resistividad de las cubiertas protectoras para pisos debe ser mayor de 105 Ω /cuadrados y menor que 1011 Ω /cuadrados. Se toman mediciones de la resistividad superficial en varios puntos a través de la superficie completa a intervalos regulares, sin exceder las recomendaciones del fabricante. Toda la superficie se debe mantener siempre limpia. Lo recomendable es que la resistividad se encuentre entre 105 y 108 Ω /cuadrados.

Recordar que para protección y eliminación de cargas estáticas en el cuerpo humano se debe de usar en conjunto cubiertas protectoras contra ESD y calzado de seguridad.

Pintura protectora contra ESD:

A menos que el fabricante indique lo contrario, los pisos pintados se deben conectar físicamente a tierra e uno o más puntos. Esto se puede lograr con una capa continua de pintura desde el piso hasta una porción de columna de acero no aislada u otro tipo de objeto aterrizado.

Tapetes protectores contra ESD:

La orientación en las fibras conductoras en la unión de las piezas de los tapetes protectores contra ESD, puede tener un efecto en su efectividad. La resistividad superficial y resistencia a tierra debe ser medida inmediatamente después de la instalación y a intervalos regulares (que no excedan las especificaciones del fabricante).

Loseta protectora contra ESD:

Las losetas protectoras contra ESD se deben de instalar de tal manera que cada una esté incorporada al sistema de tierra. El método más efectivo es fijarlas a una superficie aterrizada, con adhesivo conductor. Donde esto no sea posible, cada loseta se debe aterrizar con una

plantilla (rejilla) conductora.

Entarimados :

En los entarimados que se usan comúnmente en las salas de cómputo, sea al caso de las losetas en las que cada una debe estar conectada al sistema de tierra. Esto se puede lograr si los extremos de cada tarima, estructura de soporte y otras superficies metálicas son estáticamente disipativas y aterrizadas en uno o más puntos.

Revestimientos actuales antiestáticos:

Algunos recubrimientos antiestáticos consisten de una capa higroscópica aplicada a la superficie que evita la generación o acumulación de ESD. Cuando se aplica a pisos o mesas altas, el recubrimiento funciona de manera similar a los pisos protectores contra ESD. Pueden ser rociadas en cualquier superficie generadora de estática, pero su utilidad debe ser entendida. Estos pueden y deben ser usados cuando no existe otra solución práctica. Nunca se deben de aplicar directamente a componentes y equipos. Se debe probar mensualmente

Cubiertas para bancos de trabajo:

Las cubiertas protectoras contra ESD para bancos de trabajo, al igual que las cubiertas de los pisos, funcionan para disipar la carga estática, así como para prevenir la generación de cargas estáticas sobre los objetos que entran en contacto con las mesas de trabajo. Todas las superficies que entran en contacto directo con componentes y equipos ESDS se deben de cubrir con material protector contra ESD. La superficie superior de la mesa de trabajo se debe de aterrizar y ser estáticamente disipativa. Se debe de mantener limpia y libre de materiales generadores de estática. Bajo ninguna circunstancia la mesa se cubrirá, por ningún medio, con materiales no aislantes (papel, cinta, cera, etc.). Deben ser chequeadas mensualmente.

Cajas:

Las cajas usadas para transportar dispositivos susceptibles a ESD deben mostrar propiedades no aislantes. Si tienen una cubierta antiestática se pueden usar para transportar o almacenar componentes o equipos sin protecciones adicionales. Se deben checar cada seis meses.

Ionizadores de aire:

Estos inundan el local con iones positivos y negativos, dispersándolos para neutralizar las cargas estáticas. Sirven solo para neutralizar las cargas en objetos, por ejemplo: bolsas, paquetes plásticos, etc. y no es sustituto de la muñequeras y cubiertas conductoras de mesas de trabajo. Hay que verificarlos cada mes.

Cubos y charolas:

Las charolas y cubos usados para almacenar dispositivos susceptibles, deben exhibir propiedades disipativas que protejan los componentes, Estos materiales no deben tener exceso de partículas de carbón, y se aterrizan por medio de las estructuras don de se colocan. Deben revisarse cada seis meses

Espuma conductiva de alta densidad:

La espuma conductiva de alta densidad protege a los componentes sensibles de daños por ESD, puentando las terminales de los dispositivos colocados en la espuma Este material debe ser conductivo, no corrosivo y no contaminante. Revisar cada seis meses.

Empaques protectores contra ESD:

Los empaques deben proporcionar una cubierta contra campos electromagnéticos y electrostáticos y disipar cargas electrostáticas. Si el empaque consiste de uno o más envases, cuyas superficies están en contacto directo con el contenido, debe ser disipador estático. El contenido que está en contacto directo con el empaque, no debe dejar residuos contaminantes. El exterior del empaque debe ser conductivo disipador estático si se encuentra con una capa conductiva. Pueden ser flexibles (bolsas), o rígidos (cajas).

Caso 6. Pruebas de compatibilidad electromagnética y susceptibilidad electrostática. Tomado de Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos de J. Balcells, F. Daura, R. Esparza y R. Pallás, 1992

El problema de compatibilidad electromagnética requiere la medida de los niveles de perturbación producidos por ciertos equipos y la medida de la susceptibilidad de otros presuntamente interferibles. La propagación de interferencias electromagnética y la susceptibilidad de los diversos equipos y dispositivos pueden ser influidas por una multitud de factores externos. La solución de estos problemas no es enteramente técnica, sino que hay convenio entre diversas partes involucradas para formular límites de perturbación y de susceptibilidad y las condiciones de prueba que deben emplearse en su obtención, además de los instrumentos a emplear.

Los ensayos de compatibilidad deben contemplar los tres aspectos del problemas de compatibilidad electromagnética: emisión, propagación y susceptibilidad. La tabla A6-1 muestra una serie de pruebas recomendadas para medir las perturbaciones, con formas temporales y

frecuencias de repetición cualesquiera.

Pruebas de Emisión		Pruebas de Susceptibilidad		
Condiciones	Radiales	Condiciones	Radiales	Recargas ESD
<u>Cables de Alimentación</u>	<u>Campo Magnético</u>	<u>Cables de alimentación</u>	<u>Campo Magnético</u>	<u>Envoltura del Equipo</u>
Baja Frecuencia Alta Frecuencia Transitorios	Campo Próximo	Baja Frecuencia Alta Frecuencia Transitorios	Campo Próximo	
<u>Cables de Señal</u>	<u>Campo Eléctrico</u>	<u>Cables de Señal</u>	<u>Campo Eléctrico</u>	<u>Tableros de Control</u>
Baja Frecuencia Alta Frecuencia	Campo Próximo	Baja Frecuencia Alta Frecuencia	Campo Próximo	
<u>Terminales de Antena</u>	<u>Campo Electromagnético</u>	<u>Terminales de Antena</u>	<u>Campo Electromagnético</u>	<u>Cableado y Pantallas</u>
	Campo Lejano		Campo Lejano	

Tabla A6-1

a) Tipo de Mediciones.

Una perturbación cualesquiera se puede medir de dos formas diferentes:

- Modo temporal. Esta manera de medir define la perturbación en términos de amplitud en función del tiempo. Para esta medición se emplean principalmente osciloscopios. Este modo entrega una representación gráfica del disturbio, de la cual se obtienen amplitud máxima, duración, frecuencia de repetición, di/dt , y dv/dt .
- Modo Frecuencial (espectro). Este modo descompone la perturbación en una suma de componentes senoidales de distintas frecuencias, según el método de Fourier. El instrumento utilizado para este tipo de medición es el analizador de espectro, que entrega una representación de la falla en una amplia banda de frecuencias. De este tipo de representación podemos obtener la banda de frecuencias que alcanza la perturbación, la continuidad o no del espectro y la densidad espectral de una banda específica. Este modo

frecuencial es el más idóneo para las mediciones de EMI, ya que la propagación de EMI y la susceptibilidad de los equipos y dispositivos depende principalmente de la frecuencia.

b) Tipos de interferencias para efectos de medición.

Las interferencias pueden clasificarse en dos grupos, dependiendo del espectro de frecuencia:

- **Interferencias de Banda Estrecha (Narrow Band).** Las interferencias de banda estrecha presentan un espectro discreto de una o varias frecuencias, separadas de tal manera que pueden ser medidas individualmente. Dentro de esta clasificación se encuentran las interferencias generadas por equipos de comunicaciones, radar y en general aquellos que operan con una frecuencia característica, generando interferencias conteniendo dicha frecuencia y sus armónicas.
- **Interferencias de Banda Ancha (Wide Band).** Este tipo de interferencias presentan un espectro continuo en una amplia banda de frecuencias, haciendo imposible medirlas individualmente. Las interferencias originadas por descargas eléctricas, arcos, conmutación de cargas, y en general impulsos transitorios no repetitivos, pertenecen a este grupo.

c) Unidades de medición.

Las unidades usadas para las mediciones de EMI dependen de la forma de propagación:

- **Interferencias conducidas.** Se miden en el punto de conexión de un determinado receptor en términos de caída de tensión sobre una impedancia estándar. La unidad de medida es el Volt.
- **Interferencias acopladas.** Se miden en términos de intensidad de campo eléctrico e intensidad de campo magnético, captados mediante antenas o en términos de potencia captada por una sonda de absorción. La señal captada se aplica a un analizador de espectro. las unidades empleadas son el Amper/metro, Volt/metro y el Volt.
- **Interferencias radiadas.** Las interferencias provocadas por campos lejanos se miden de la misma manera que las interferencias acopladas. Sin embargo, para campos lejanos existe una proporcionalidad entre campo eléctrico y campo magnético, por lo que es suficiente con medir uno de ellos. Las medidas se dan en términos de campo eléctrico (Volt/metro).

Es frecuente el uso de la escala logarítmica de decibelios (dB), tomando como referencia 1mV, 1mV/m y 1mA/m, para las mediciones de interferencias electromagnéticas

d) *Instrumentos de Medición de EMI.*

Las mediciones de EMI, tanto conducidas como radiadas, se realizan mediante un aparato que recoge la señal desde un transductor: adaptador de impedancias estándar o red de estabilización de impedancias de línea (LISN) para interferencias conducidas, antena para interferencias radiadas o sonda de absorción para la medición de potencia radiada por conductores.

- Red de Estabilización de Impedancias de Línea (LISN). Este sistema desempeña tres funciones principales:
 - 1.- Actúa como carga para la tensión de interferencia generada por el dispositivo bajo prueba. Se utiliza una carga de 50Ω , aunque se usan también impedancias de 150Ω .
 - 2.- Conecta la entrada del medidor al dispositivo bajo prueba para efectos de EMI.
 - 3.- Atenúa las tensiones de EMI procedentes del exterior.

- Antenas. Las pruebas de radiación de campos lejanos requieren la medición de la intensidad de campo eléctrico o magnético a ciertas distancias, para lo cual se emplean antenas de diversos tipos según la banda de frecuencias a medir. La antena convierte el campo electromagnético en una tensión sobre su impedancia de salida, esta tensión es posteriormente medida mediante un instrumentos estándar como el LISN. S utilizan tres parámetros básicos:
 - 1.- Factor de la antena: Relación (K) entre el campo eléctrico (E) recogido por la antena y la tensión de salida(V), es decir, $E = KV$.
 - 2.- Ganancia de la antena: La ganancia de la antena (G) es la relación entre sus potenciales de entrada y salida.
 - 3.- Factor de Corrección de Distancia: Para obtener medidas correctas de campos lejanos, las dimensiones de la antena deben ser inferiores a un 10% de la distancia de medición, cumpliendo ese límite la relación señal/ruído mejora notablemente para distancias cortas.

- Sondas de Absorción. Formadas de una sonda de corriente para RF y una serie de aros de ferrita actuando como choque de absorción, usadas para la medición de potencia emitida

por radiación de conductores en la banda de 30 a 1000 Mhz.

e) Pruebas de emisión.

- **Prueba de interferencias conducidas.** El objetivo de esta prueba es medir el nivel de perturbaciones simétricas y asimétricas en cables de alimentación. En esta prueba se hace una medición de tensiones EMI en los cables, para lo cual se utiliza un adaptador de impedancias estándar (LISN) y un medidor estándar de EMI, consistente en un voltímetro de banda estrecha. Estas mediciones se realizan generalmente en una banda de frecuencias de 10 kHz a 30 MHz.
- **Prueba de interferencias acopladas y radiadas.** Tiene como objetivo medir el nivel de perturbación radiado por chasis y cables de alimentación y señal a distintas distancias (3, 10 y 30 m). Para frecuencias entre 10 kHz y 30 MHz se requiere la medida del campo magnético y para frecuencias entre 30 MHz y 1 GHz se exige la medición del campo electromagnético. la captación de la señal EMI se realiza mediante antenas apropiadas y buscando la orientación de máxima perturbación. La señal captada se aplica al medidor de EMI (voltímetro de banda estrecha). Para los cables de alimentación se requiere la medición de la potencia del campo electromagnético radiado. Esta medición se hace mediante sondas de absorción conectadas al medidor de EMI.

f) Emplazamientos para pruebas de radiación.

En los ensayos de radiación, la disposición del equipo a probar y los instrumentos de medición debe ser como se muestra en figura A6-1, donde el espacio marcado por la elipse debe estar libre de elementos perturbadores externos y el suelo debe ser plano y conductor.

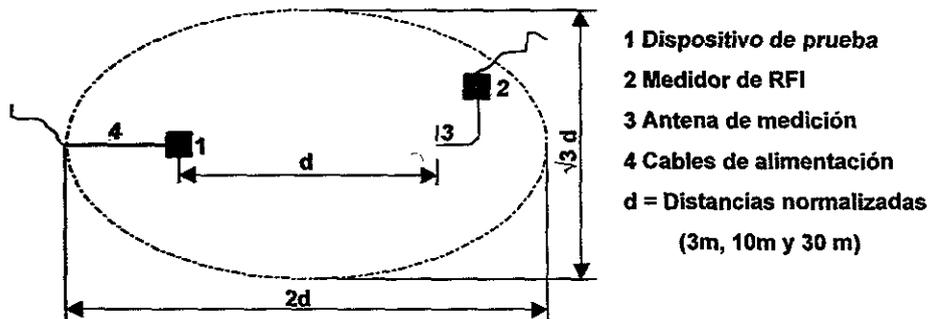


Figura A6-1

En caso de pruebas en disposiciones libres, debe comprobarse la validez del área de prueba. Los ensayos para efectuar la validación son los siguientes:

- Para 10 kHz a 30 MHz. Se mide la intensidad de campo magnético emitido por el equipo bajo prueba a diferentes distancias (d), múltiplos de onda (λ). Para $d < 0.1\lambda$, el campo debe decrecer con el cubo de la distancia, para $0.1\lambda < d < 3\lambda$, el campo debe decrecer con el cuadrado de la distancia y para $d > 3\lambda$, el campo debe decrecer linealmente con la distancia. Si se cumplen estas condiciones, la disposición de la prueba puede considerarse correcta para realizar las pruebas de radiación emitida en la banda de 10 kHz a 30 MHz.
- Para 30 MHz a 1 GHz. Se disponen dos antenas en los focos de la elipse mostrada en la figura A6-1, una actuando como emisora y otra como receptora. La primera antena es alimentada con un generador de RF y se mide la señal captada por la segunda antena. Los resultados para diferentes distancias deben coincidir con los calculados teóricamente para toda la banda de frecuencias, aceptando un error máximo de 3 dB.

f) Pruebas de susceptibilidad.

Las pruebas de susceptibilidad dependen del equipo o dispositivos a probar. El método general que se utiliza es el de la generación de perturbaciones mediante simuladores y la medición de la relación señal/ruido del dispositivo.

f.1) Interferencias conducidas.

- Simulación de sobretensiones. Consiste en determinar el nivel de aislamiento con el equipo desconectado y la capacidad para soportar sobretensiones de tipo transitorio. Se basa a en dos tipos de pruebas. La primera es llamada Prueba de Rigidez y consiste en la aplicación de tensiones alternas 50 Hz entre partes conductoras separadas galvánicamente y entre éstas y tierra. La segunda prueba es la Prueba de Impulso de 1.2/50 μ s y consiste en la aplicación de impulsos en las entradas y salidas del equipo; el nivel de sobretensión depende del tipo de equipo bajo prueba, oscilando entre 1 y 5 kV.
- Pruebas de interferencia de red. Su objetivo es determinar el nivel de inmunidad ante interferencias procedentes de la red de alimentación. Consiste en aplicar perturbaciones superpuestas a la tensión de red, tanto en modo común como diferencial y simular cortes de alimentación.

f.2) Prueba de acoplamiento (campos próximos).

Tiene como objetivo determinar el nivel de inmunidad ante interferencias de campos próximos acoplados a través de líneas de alimentación y de señal. Consiste en aplicar, utilizando condensadores de acoplamiento, perturbaciones a dichas líneas, tanto en modo común como en modo diferencial. Los tipos de perturbaciones pueden ser de tres tipos diferentes: prueba de acoplamiento de frecuencia de red, prueba de chispa y prueba de oscilaciones amortiguadas (1 MHz).

f.3) Prueba de radiación.

Esta prueba determina el nivel de inmunidad ante interferencias de campo electromagnéticos acoplados directamente sobre circuitos del equipo bajo prueba, principalmente en equipos de radios y comunicaciones. Para esto se crea un campo uniforme en la zona de prueba, utilizando un generador de perturbaciones y una celda TEM (Transverse Electromagnetic Cell). La celda TEM es un compartimiento cerrado dentro del cual se crea un campo eléctrico y un campo magnético ortogonales, tal como corresponde a una radiación de campo lejano. Para equipos voluminosos se utiliza antenas emisoras para la generación de interferencias.

f.4) Prueba de descargas electrostáticas.

Tiene como fin el de comprobar posibles efectos destructivos y determinar la inmunidad a descargas electrostáticas de equipos y dispositivos. Se utiliza un generador de perturbaciones que emiten impulsos que se descargan mediante una pistola de descarga al chasis, la pantalla y los envolventes del equipo o dispositivo.

Bibliografía

1. Canadian Electric Code.

Safety Standard For Electrical Installations (CSA). Part 1.
622.1-98

2. Compatibilidad Electromagnética de los Sistemas de Radiocomunicación.

Hildeberto Jardon Aguilar.
Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. 1996.

3. Diseño de Subestaciones Eléctricas.

José Raúl Martín
Ed. McGraw Hill, México 1992

4. General Grounding Requirement for Data Processing Computer System Installation.

Bell Communications Research (Bellcore).
1973

5. Guide For Safety in AC Substation Grounding.

Institute of Electrical & Electronics Engineers
ANSI/IEEE Std 80-1986

6. Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos.

Josep Balcells, Francesc Daura, Rafael Esparza, Ramón Pallás.
Ed. Alfaomega, 1992

7. Instalaciones de Puesta a Tierra (Impianti di Messa a Terra)

Vitorio Re
Editorial Delfino-Milano

8. Medición de Resistencia a Tierra.

Fernando Fominaya.
Instituto de Investigaciones Eléctricas. L-1221. 1996

9. National Electric Code

ANSI/NFPA 70-1996

10. No linealidades en las Instalaciones de Puesta a Tierra.

Blas Hermoso Alameda.

Instituto de Investigaciones Eléctricas. S-1206. 1997

11. Norma Oficial Mexicana

NOM-001-SEDE-1999

12. Protección contra Impactos por Rayo.

Lightning Eliminators & Consultants (LEC)

Report No. LEC-01-86.

13. Protección contras las Perturbaciones

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T).

Recomendaciones de la serie K. Tomo IX. Libro Azul. 1988

14. Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas y el R.A.T.

Rogelio García Márquez.

Ed. Marcombo. 1991

15. Recommended Practice for Grounding of Industrial and Comercial Power Systems.

Institute of Electrical & Electronics Engineers

IEEE Std 142-1991.

16. Recommended Practice for Powering Sensitive Electronic Equipment.

Institute of Electrical & Electronics Engineers

IEEE Std 1100-1992.

17. Redes de Tierra para Estructuras de Líneas de Transmisión.

Comisión Federal de Electricidad.

CFE-JL000-18

18. Resistividad Eléctrica del Suelo. Un Parámetro Esencial en el Diseño de Instalaciones.

J.R. Davie.

Instituto de Investigaciones Eléctricas. Traducción S-1139. 1997

19. Selección de Electrodos y Rellenos Químicos para Sistemas de Tierras en Líneas de Transmisión.

J.R. Davie.

Instituto de Investigaciones Electricas. Traducción S-1139. 1996