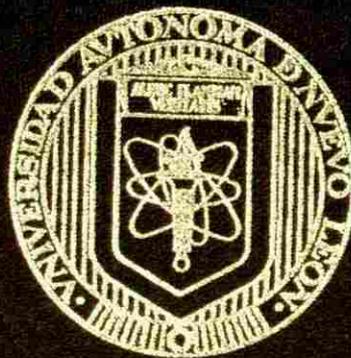


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**"CONEXION A TIERRA EN SISTEMAS ELECTRICOS
DE DISTRIBUCION EN CORRIENTE ALTERNA
Y CONTINUA"**

POR

ING. JOSEFAT GAMEZ GOMEZ

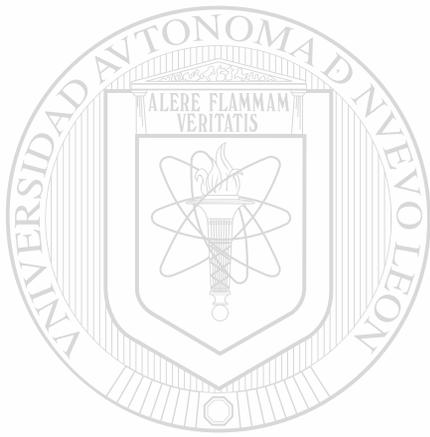
TESIS

**EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD
EN POTENCIA**

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE DE 2000

TM
TK3001
.G35
2000
c.1

“CONEXION A TIERRA EN SISTEMAS ELECTRICOS
DE DISTRIBUCION EN CORRIENTE ALTERNATIVA
Y CONTINUA”



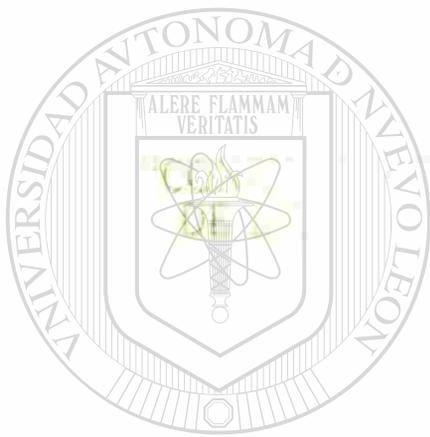
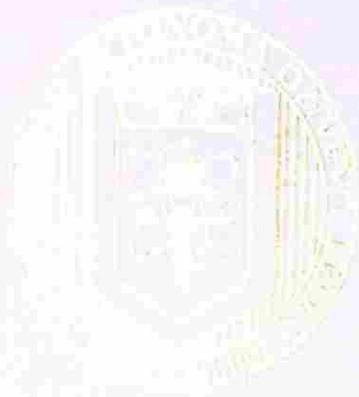
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



SISTEMAS ELÉCTRICOS
DE FUENTE ALTERNATA
DE

UANL
FCR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

ING. JOSÉ ANTONIO GÓMEZ GÓMEZ

®

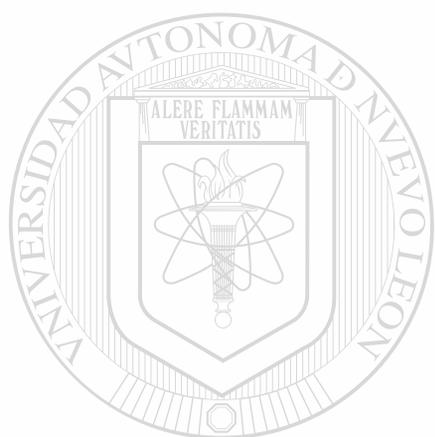
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD
EN POTENCIA

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE DE 2000





UANL

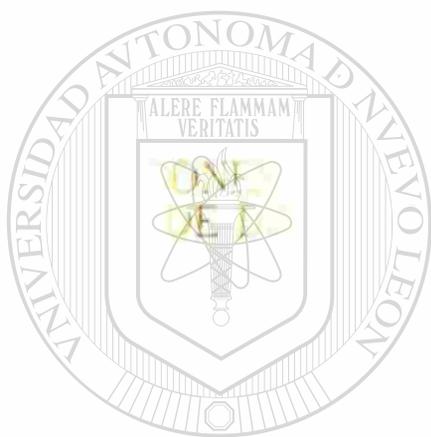
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
(CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO)



ELÉCTRICOS
ALTERNOS
UANL
FCR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

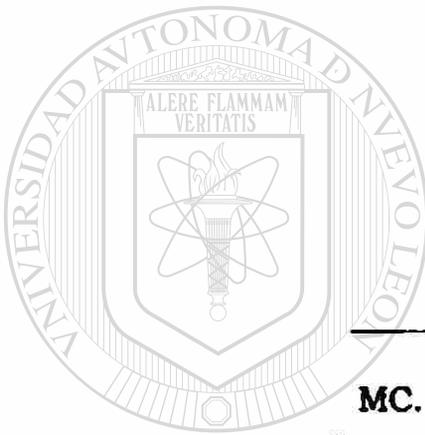
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD
EN POTENCIA

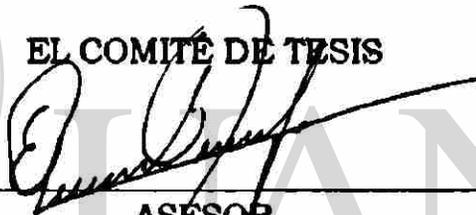
CD. UNIVERSITARIA, ENERO DE 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis: "CONEXIÓN A TIERRA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN EN CORRIENTE ALTERNA Y CONTINUA", realizada por el Ing. Josefát Gámez Gómez sea aceptada para su defensa como opción al Grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Potencia.



EL COMITÉ DE TESIS



ASESOR
MC. EVELIO GONZALEZ FLORES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



COASESOR

M.C. FÉLIX GONZALEZ ESTRADA



COASESOR

M.C. ARMANDO PÁEZ ORDOÑEZ



Vo.Bo.

M.C. ROBERTO VILLARREAL GARZA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

San Nicolás de los Garza, N.L. Diciembre de 2000

Prólogo

En las últimas décadas, el equipo de control y protección de los sistemas eléctricos, así como el equipo utilizado en el control de los procesos industriales y del equipo en general han sufrido una total transformación. Actualmente las cargas ya no son puramente lineales, sino que la gran mayoría del equipo está constituido por componentes electrónicos de estado sólido, los cuales por su operación instantánea son más sensibles a las irregularidades en la alimentación y por consecuencia hay una mayor exigencia en la pureza y estabilidad de la señal alimentada.

Por otra parte, el equipo electrónico de estado sólido que prácticamente compone el grueso de las cargas alimentadas, genera distorsiones, deformaciones y alteraciones en la señal de alimentación, haciendo más complejo el proceso de protección y operación.

La reciente y cada día más creciente aparición de equipos electrónicos de control, comunicaciones, computación, etc. ha originado nuevos factores que han de ser controlados, tales como las distorsiones armónicas, ruido eléctrico, interferencias electromagnéticas, y de radio frecuencia, que aunadas a los efectos inherentes a las condiciones geográficas como los rayos y descargas electrostáticas exigen sistemas de protección más efectivos y completos.

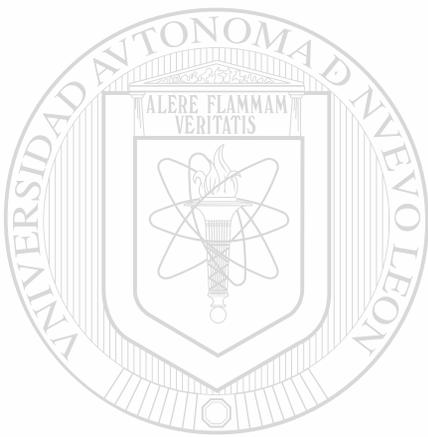
Como podrá observarse, los sistemas de conexión a tierra requeridos actualmente difieren de los utilizados en épocas anteriores y requieren una actualización constante tanto en su desarrollo tecnológico como de los especialistas y constructores.

Estamos conscientes de que el dominio del presente tema sólo es posible con la experiencia práctica en el campo, con la continua actualización y con la relación oportuna de datos e información proporcionadas por los fabricantes de equipos y de instituciones especializadas que se preocupan por ésta actividad.

El presente trabajo muestra en forma general los diferentes métodos de conexión a tierra en los actuales sistemas de distribución considerando el equipo eléctrico y electrónico alimentado y contiene información actualizada acerca de los mismos.

Ante el alto costo de los equipos instalados y su mantenimiento es exigible una instalación apropiada de los mismos; además, la protección al personal humano involucrado en su operación justifica sobradamente la instalación de un sistema de tierras eficiente y seguro.

Ing. Josefát Gámez Gómez



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Indice

CAPÍTULO	PÁGINA
1 SÍNTESIS	10
2 INTRODUCCIÓN	14
2.1 Planteamiento del problema a resolver	14
2.2 Definición de Hipótesis	15
2.3 Justificación del trabajo	15
2.4 Objetivo buscado	15
2.5 Límites del estudio	16
2.6 Metodología a emplear	16
2.6.1 Definición de la muestra	16
2.6.2 Descripción de experimentos a realizar	16
2.6.3 Descripción de métodos estadísticos a emplear	17
2.6.4 Material utilizado	18
2.7 Revisión bibliográfica	18
2.7.1 Estudios anteriores relacionados con el tema de la tesis	18
3 IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA	19
3.1 Introducción	19
3.2 Consideraciones más importantes al diseñar un Sistema de Conexión a Tierra	19
3.3 Objetivo de las Reglamentaciones del NEC	20
3.4 Conexión a Tierra a la Entrada de Servicio	21
4 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	22
4.1 Sistema de Electrodo de Tierra	22
4.2 Sistema de Tierra Contra Rayos	22
4.3 Sistema de Tierra de Seguridad	22
4.4 Sistema de Neutro Conectado a Tierra	22
4.5 Sistema de Tierra Aislada	22
4.6 Sistema de Señal de Referencia de Tierra	24

5.0	Introducción	24
5.1	Componentes del sistema electrodo de tierra	24
5.2	Dimensiones del conductor del electrodo de tierra	29
5.3	Efectos de la Resistividad de suelo	30
5.4	Técnicas de conexión a tierra para el sistema electrodo De tierra	32
5.5	Prueba de resistencia de tierra	34
5.6	Prácticas comunes de violación a las estipulaciones de conexión a tierra	36

6 CONEXIÓN A TIERRA PARA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

6.0	Introducción	38
6.1	Tipos de sistemas de protección contra rayos	40
6.2	Diseño e Instalación de los sistemas de protección contra rayos	42
6.3	Impedancia del Suelo a los Rayos	46
6.4	Requerimientos para las Uniones	47

7 APLICACIONES ESPECÍFICAS DE LAS TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE C. A.

7.1	TIERRA DE SEGURIDAD o TIERRA DE EQUIPO	52
7.1.1	Propósito	53
7.1.2	Corrientes de Falla	55
7.1.3	Seguridad al Contacto	56
7.1.4	Calibre de la Tierra de Seguridad	58
7.1.5	Color del Conductor de Conexión a Tierra	64
7.2	NEUTRO (Conductor Conectado a Tierra)	64
7.2.1	Propósito	64
7.2.2	Conexión a Tierra del Conductor Neutro	67
7.2.3	Cálculo del Neutro para Cargas Lineales	68
7.2.4	Cálculo del Neutro para Cargas No Lineales	70
7.2.5	Color del Conductor Neutro	74
7.3	SISTEMAS EUROPEOS DE PROTECCIÓN A TIERRA / NEUTRO	74

8 TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE C.C.

8.1	CONSIDERACIONES GENERALES	78
8.1.1	Campo de Tierra de la Oficina Central	81
8.1.2	Barra Principal de Tierra (MGB)	82

8.1.3	Zona de Tierra Aislada (IGZ)	88
8.1.4	Zona a Tierra No - Aislada	90
8.1.5	Armazón de la Distribución Principal	90
8.1.6	Cables de Entrada	91
8.1.7	Instalación del Conductor de Tierra	93
8.2	APLICACIONES ESPECÍFICAS DE LAS TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA	
8.2.1	TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA PARA DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS (ESD)	91
8.2.1.1	Cargas Triboeléctricas	93
8.2.1.2	Resistividad de la superficie	94
8.2.1.3	Consideraciones de Manufactura	95
8.2.1.4	Descarga y Decaimiento	96
8.2.1.5	El cuerpo Humano como Conductor A Tierra	97
8.2.1.6	Control de Humedad	99
8.2.1.7	Superficies de Trabajo	100
8.2.1.8	Pisos protegidos contra las descargas Electroestáticas	102
8.2.1.9	Agentes Tópicos contra Estática	103
8.2.2	TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA PARA INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS (EMI) Y DE RADIOFRECUENCIA (RFI)	105
8.2.2.1	Acoplamiento Inductivo	106
8.2.2.2	Malla de Referencia para Señales	107
8.2.2.3	Efecto Pelicular	110
8.2.2.4	Impedancia de los Conductores redondos	111
8.2.2.5	Unión Permanente	112
8.2.2.6	Blindaje o Apantallamiento	115
8.2.3	CONEXIÓN A TIERRA PARA LÍNEAS DE DATOS E INSTRUMENTACIÓN	118
8.2.3.1	Conexión a Tierra para Blindaje de Baja Frecuencia	119
8.2.3.2	Conexión a Tierra de Blindaje de Alta Frecuencia	121
8.2.3.3	Cables Coaxiales	122
8.2.3.4	Terminación de Cables	124
8.2.3.5	Conexiones a Tierra para cables de varios Edificios	126
8.2.3.6	Conexión correcta a Tierra para los Protectores de Sobrevoltajes Transitorios	127

8.2.3.7	Líneas Telefónicas por Línea Conmutada	127
8.2.3.8	Líneas Privadas	129
8.2.3.9	Interfaces de Datos RS-232	130

8.2.4	PROTECCIÓN CATÓDICA	133
8.2.4.1	Métodos para la aplicación de Protección Catódica	134
8.2.4.2	Ánodos Galvánicos	135
8.2.4.3	Sistemas de Cama de Suelo Rectificador	136
8.2.4.4	Corrientes Parásitas	138

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1	AUDITORÍA DE SITIOS	140
9.1.1	Introducción	140
9.1.2	Resultado del estudio de Potencia	141
9.1.3	Resultados Obtenidos de la Inspección de Tierras	143
9.1.4	Resultados de Transitorios	145
9.1.5	Datos de reporte	146
9.1.5.1	Registro de la Inspección del sistema de Potencia	146
9.1.6	Resumen	158
9.1.7	Recomendaciones	150

10	BIBLIOGRAFÍA	153
----	--------------	-----

11	LISTADO DE FIGURAS	156
----	--------------------	-----

12	LISTADO DE TABLAS	158
----	-------------------	-----

	APÉNDICE	159
--	----------	-----

1 SÍNTESIS

La síntesis contenida en éste capítulo es presentada con el fin de proporcionar una información compactada acerca del contenido de la presente tesis.

El contenido principal de éste trabajo es una aplicación del **artículo 250 del NEC****. ******(NATIONAL ELECTRIC CODE O CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO), el cual establece los requisitos generales para las conexiones a tierra de las instalaciones eléctricas y los sistemas de protección contra incendio y para la protección de vidas, mismos que se deben aplicar a cualquier edificio.

Se enfatiza la necesidad de tener un **punto único de conexión a tierra** a la entrada de servicio para limitar los voltajes producidos por descargas atmosféricas, sobrevoltajes de conmutación, contacto accidental con líneas de alta tensión, etc., así como para estabilizar el voltaje con respecto a tierra en condiciones normales de operación.

Se presenta también el **sistema de electrodo de tierra**, el cual proporciona una conexión directa del sistema a tierra o a un cuerpo de agua - que también es parte de la tierra -, en caso de descargas de rayos o para establecer una referencia a tierra para el neutro del panel de servicio de entrada o para el X_0 del secundario del transformador. Se incluyen las diferentes maneras de construir el sistema de electrodo de tierra, las características del conductor del electrodo a tierra, los efectos de la resistividad del suelo al determinar la resistencia del electrodo de tierra y la profundidad requerida para obtener una conexión a tierra aceptable, el procedimiento de conexión del electrodo a tierra, el procedimiento para determinar la resistencia del electrodo de tierra.

En áreas de alto índice de ocurrencias de rayos, es necesario proteger el equipo electrónico para asegurar su operación confiable, debido a que

los transitorios inducidos por rayos pueden causar mal funcionamiento del equipo o introducir datos o instrucciones falsas. **La conexión para protección contra rayos** debe asegurar que la descarga del rayo sea dirigida lejos de donde se encuentra el equipo electrónico de alta sensibilidad. Se describen los tres principales tipos de sistemas de protección contra rayos: Conducción, Atracción y Disipación incluyendo su diseño e instalación.

La Tierra de seguridad o aterrizamiento de equipo se efectúa mediante un conductor de conexión a tierra o mediante un puente de unión que une al conductor neutro con el electrodo de tierra o con la cubierta del equipo de servicio de entrada o en la terminal X_0 del transformador. En caso de una falla, El conductor de conexión a tierra debe ser lo suficientemente grande para transportar la corriente de falla y permitir el disparo del interruptor de seguridad. Por ésta razón, su calibre debe ser calculado cuidadosamente.

El **conductor neutro conectado a tierra** proporciona una trayectoria de retorno para la corriente del sistema monofásico de distribución eléctrica, así como para los sistemas de fases divididas o los sistemas trifásicos en estrella. Este conductor neutro debe unirse al del electrodo de tierra en la fuente de potencia eléctrica de la planta. En éste tema se incluye el **cálculo del conductor neutro para cargas lineales y no lineales** (impulsadores de microprocesadores, computadoras, equipo de procesamiento de datos, etc.), además una breve presentación de los **sistemas europeos de protección tierra/neutro**.

Se especifican los **requisitos de conexión a tierra en sistemas de distribución de corriente continua** en equipo energizado por rectificadores, bancos de baterías o generadores de corriente continua, como centrales telefónicas, los sistemas remotos digitales de conmutación y los sitios celulares. Se consideran sus principales componentes tales como el punto único de conexión a tierra en la oficina

central, la zona de aterrizamiento aislada, la zona de aterrizamiento no aislada, la barra principal de tierra, las instrucciones para una correcta instalación del conductor de conexión a tierra, etc.

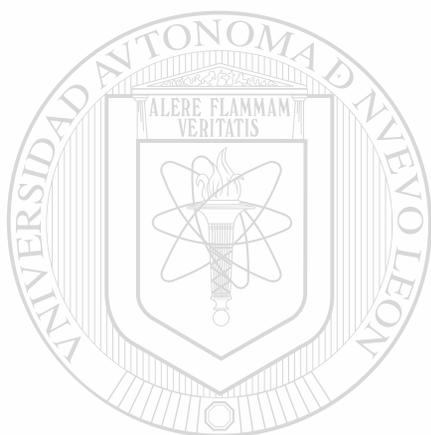
También se describen **aplicaciones específicas de las técnicas de conexión a tierra en sistemas especializados de distribución de corriente continua** tales como las áreas sensibles a descargas electrostáticas, explicando los conceptos relacionados a éste tema como el efecto triboeléctrico, la resistividad de la superficie de trabajo, los fenómenos de descarga y decaimiento, el control de humedad para controlar el fenómeno electrostático, la conductividad a tierra del cuerpo humano, la protección de pisos contra las descargas electrostáticas y los agentes tópicos utilizados contra la electricidad estática.

Los procesadores utilizados en equipos computarizados operan a frecuencias de reloj desde 5 hasta arriba de los 60 Mega Hertz. A éstas frecuencias, el alambrado de control se convierte en un circuito de radio y en lugar de transportar únicamente señales de control, se pueden presentar resonancia, acople capacitivo e inductivo y efecto pelicular.

También son considerados los **métodos de corrección de los problemas de interferencia de radiofrecuencia** tales como la malla de referencia para señales y el blindaje o apantallamiento utilizados en **líneas de datos e instrumentación**. Asimismo se trata la **conexión a tierra para blindaje de baja frecuencia** utilizados en sensores, así como en **blindajes de altas frecuencias** superiores a 100 kHz, los cables coaxiales que transportan la energía y sus terminales.

Además, se considera la **conexión a tierra para dos o más edificios** entre los cuales se tiran líneas de datos provenientes de computadoras, terminales, instrumentos, PLC, etc. , para los **protectores de sobrevoltajes transitorios**, las **líneas telefónicas por línea conmutada** y las de **líneas privadas**.

Los métodos para la aplicación de la protección catódica a las estructuras metálicas enterradas son considerados al final de ésta tesis, incluyendo los ánodos galvánicos, sistemas de cama de suelo rectificador y las tres configuraciones principales en la instalación de éstos suelos como las camas de suelos profundos, camas de suelo distribuídas y las camas de suelo continuas horizontales/paralelas.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2 INTRODUCCIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA A RESOLVER

Las técnicas de conexión a tierra que trabajan perfectamente para frecuencias de potencia (60 Hz) no son adecuadas para controlar correctamente las altas frecuencias presentes en los modernos sistemas de datos. Un conductor que al operar a las frecuencias de potencia proporciona una trayectoria de resistencia muy baja, se convierte en uno de alta impedancia al operar a frecuencias más altas, donde la mayor parte de la corriente se desplaza a través de la superficie del conductor.

Cuando éste conductor maneja radiofrecuencias (RF), se convierte en antena, transmitiendo y recibiendo radiofrecuencias presentes en los equipos computarizados. Cuando los equipos operan frecuencias a niveles de megahertz se transfieren datos de sistema a sistema.

Los sistemas digitales electrónicos desarrollados recientemente han originado nuevos requerimientos tanto de alimentación como de protección. Por ésta razón, los términos relacionados con los sistemas de conexión a tierra no están definidos adecuadamente en función de los equipos digitales electrónicos que actualmente forman gran parte de las cargas. Esto implica que no existen conceptos nuevos aplicables a los sistemas digitales electrónicos modernos y en consecuencia, los conceptos básicos relacionados con este tema no se entienden completa y adecuadamente.

Al ocurrir una falla inesperada en el sistema eléctrico que alimenta a una carga se generarán alteraciones en su funcionamiento con el consecuente daño al equipo e instalaciones involucradas en el proceso eléctrico, así como la suspensión del servicio al usuario.

2.2 DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS

Las características de los componentes de los equipos fabricados en los últimos tiempos han generado nuevas necesidades en cuanto a sistemas de alimentación y protección de nuevos equipos. Esto ha originado nuevas técnicas de conexión a tierra que tienen que ser actualizadas continuamente.

2.3 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Los sistemas de conexión a tierra tienen como función principal eliminar la posibilidad de que una falla inesperada en el sistema eléctrico genere alteraciones en su funcionamiento .

Las principales funciones de un sistema de tierras son:

- Protección contra Rayos
- Protección contra Sobrevoltajes de conmutación
- Protección contra Contacto accidental con líneas de alta tensión
- Estabilización del voltaje con respecto a tierra, bajo condiciones normales de operación.

2.4 OBJETIVO BUSCADO

El presente trabajo tratará de esclarecer éstos conceptos definiendo los términos usados y discutiendo el objetivo y los métodos más eficientes de conexión a tierra e incluirá los principales subsistemas de conexiones a tierra, los cuales son parte integral del Sistema Total de Conexión a tierra en las Instalaciones Electrónica Actuales.

2.5 LÍMITES DEL ESTUDIO

El presente estudio se concreta a presentar y analizar los principales subsistemas de conexión a tierra utilizados actualmente, describiendo en forma concisa sus características y ventajas con el fin de proporcionar una fuente de información útil a quienes realicen actividades en el ramo.

2.6 METODOLOGÍA A EMPLEAR

La metodología a emplear consiste en enlistar y clasificar las principales aplicaciones de los sistemas de tierra de acuerdo a las características de funcionamiento de los equipos de los cuales éstos sirven. Enseguida y de acuerdo a las recomendaciones y reglamentos establecidos por el Código Nacional Eléctrico (NEC) para cada aplicación específica, se determinan las condiciones de instalación y protección de las instalaciones y del equipo. Finalmente se presentan ejemplos de aplicaciones en casos de auditoría de sitios, analizando las condiciones originales y presentando las recomendaciones acerca de los correctivos requeridos para la solución de los problemas presentados.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.6.1 DEFINICIÓN DE LA MUESTRA

En éste caso, la muestra consiste en los diferentes subsistemas de conexión a tierra sujetos a estudio, además de las especificaciones contenidas al respecto en el Código Nacional Eléctrico.

2.6.2 DESCRIPCIÓN DE EXPERIMENTOS A REALIZAR

Al efectuar un estudio de un sistema de tierras con el propósito de asegurar una correcta aplicación de los métodos apropiados, se procede como sigue:

1.0 Introducción

- Propósito de la inspección
- Actividades para el reconocimiento del sitio
- Descripción técnica del lugar
- Descripción de antecedentes de problemas en el sitio.

2.0 Resultados del estudio de potencia.

- Descripción de las características de potencia de la carga.

3.0 Resultados obtenidos de la inspección de tierra

- Lecturas
- Resultados de análisis del sistema de tierras

4.0 Resultados de Transitorios

5.0 Datos de soporte

- Registro de la inspección del sistema de potencia

- Localización de los Componentes del sitio.

6.0 Resumen

7.0 Recomendaciones dirigidas a

- Resolver las violaciones del Código Nacional Eléctrico
- Mejorar la integridad del sistema de tierra de potencia
- Prevenir otros daños causados por rayos a los equipos en el sitio.

2.6.3 DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS A EMPLEAR

1.-Reportes previos proporcionados por el personal acerca de fallas o anomalías físicas observadas, las cuales afectan el correcto funcionamiento del equipo e instalación a estudiar.

2.-Observación física de las condiciones del sistema antes de corregir.

3.-Mediciones efectuadas antes de corregir.

4.-Condiciones naturales del territorio en el que se encuentra la instalación.

2.6.4 MATERIAL UTILIZADO

- Información existente acerca de los métodos de conexión a tierra en los sistemas de distribución de corriente alterna y continua .
- Código Nacional Electrónico (NEC).
- Experiencias de campo.

2.7 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.7.1 ESTUDIOS ANTERIORES RELACIONADOS CON EL TEMA DE LA TESIS

3 IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA

3.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de un sistema de conexión a tierra es el control de las corrientes: indeseables, de falla, de descarga electrostática, de ruido de alta frecuencia, etc.

Las corrientes de ruido no controladas, pueden causar mal funcionamiento de los equipos, degradación gradual y la destrucción de los componentes y pérdida de memoria en equipos computarizados.

El sistema a tierra debe controlar las corrientes para la seguridad humana y la integridad del sistema.

3.2 CONSIDERACIONES MÁS IMPORTANTES AL DISEÑAR UN SISTEMA DE CONEXIÓN A TIERRA

Los requisitos generales para las conexiones a tierra de las instalaciones eléctricas y los sistemas de protección contra incendio y para la protección de vidas se establecen en el artículo 250 del NEC**.

** (NATIONAL ELECTRIC CODE O CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO).

Las Normas de éste documento se deberán aplicar a cualquier edificio.

Ésta y otras secciones del NEC están incluidas en el Acta de Seguridad Ocupacional y de Salubridad (OSHA*), donde se enfatiza la necesidad de adherirse a las normas de seguridad y también se discuten las responsabilidades.

Al diseñar y analizar cualquier sistema eléctrico o electrónico de conexión a tierra, las consideraciones de mayor importancia son:

1. - Los Códigos NEC* y OSHA* requieren apearse a ciertas técnicas importantes de conexiones a tierra.

El apego a éstas técnicas en trabajos de montajes eléctricos de cualquier edificio, es principalmente por razones de seguridad.

2. - Cualquier circuito que inyecte una corriente a un conductor, debe proveer una trayectoria de retorno al punto de origen.

3. - Las corrientes siempre siguen la trayectoria de mínima impedancia.

4. - Las corrientes producidas en los sistemas digitales modernos, fluctúan entre el espectro de frecuencias de Corriente Continua y las radiaciones electromagnéticas de la luz visible.

3.3 OBJETIVO DE LAS REGLAMENTACIONES DEL NEC*

El principal objetivo de las reglamentaciones del NEC* es:

- Proteger la instalación contra riesgos de incendios.
- Garantizar la Seguridad del personal contra electrocución.

El Artículo 250 del Código NEC describe las prácticas correctas de conexión a tierra para sistemas y circuitos eléctricos.

La sección 250-5 (b) establece las condiciones por las cuales los sistemas de corriente alterna de 50 a 1000 volts deben ser conectados a tierra.

La sección 250-(d) discute los sistemas derivados separadamente donde "la potencia es obtenida de transformadores, generadores o devanados conductivos de un convertidor".

3.4 CONEXIÓN A TIERRA A LA ENTRADA DE SERVICIO

PUNTO ÚNICO DE CONEXIÓN A TIERRA

Se requiere que los circuitos y sistemas de Corriente Alterna de la central eléctrica, **sean conectados a tierra a la entrada de servicio del edificio al cual alimentan.**

El **propósito fundamental** de la conexión a tierra a la entrada de servicio, es limitar voltajes producidos por rayos, sobrevoltajes de conmutación y contacto accidental con líneas de alta tensión.

Un **objetivo secundario** de la conexión a tierra a la entrada de servicio es el de estabilizar el voltaje con respecto a tierra, bajo condiciones normales de operación.

La sección 250-5(b) del Código NEC designa los niveles de voltaje y las condiciones de fase requeridos para esta conexión a tierra.

La conexión a tierra a la entrada de servicio requiere una unión entre el conductor "conectado a tierra" (neutro) y el electrodo de tierra, la cual es obtenida a partir del conductor del electrodo de tierra.

El sistema de puesta a tierra (conexión a tierra) está compuesto por:

- El conductor del electrodo de tierra
- El electrodo de tierra.

El conductor conectado a tierra del sistema es usualmente la barra o el conductor neutro, pero puede ser también un conductor de fase, como se usa en algunos sistemas en delta conectados a tierra.

En el caso de un sistema monofásico de tres hilos y trifásicos de cuatro hilos en estrella, el conductor conectado a tierra es siempre el neutro.

4 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

4.1 SISTEMA DE ELECTRODO DE TIERRA

Sistema Electrodo de Tierra <en el código NEC*>; se refiere a la conexión geográfica (física) de un edificio a tierra.

*NEC .- National Electric Code o Código Nacional Eléctrico

4.2 SISTEMA DE TIERRA CONTRA RAYOS

Subsistema que proporciona protección contra descargas atmosféricas. Puede estar separado del Sistema de Electrodo de Tierra o ser parte de él.

4.3 SISTEMA DE TIERRA DE SEGURIDAD

Esquema de protección contra fallas eléctricas; protege al personal y equipo contra sobrecargas eléctricas.

Este es el sistema de conexión a tierra <en la terminología del Código NEC>.

4.4 SISTEMA DE NEUTRO CONECTADO A TIERRA

Conductor conectado a tierra <terminología del Código NEC>; es la trayectoria de diseño para el retorno de las corrientes al operar a la frecuencia de potencia (60 Hz).

4.5 SISTEMA DE TIERRA AISLADA

Sistema a tierra aislado <del código NEC> o tierra del equipo. Es diseñado para proveer una 'tierra limpia', libre de radiofrecuencias, para

la alimentación de Corriente Continua requerida por el sistema electrónico.

Éste es el punto de referencia de Voltaje Cero para el conjunto de circuitos y datos.

4.6 SISTEMA DE SEÑAL DE REFERENCIA DE TIERRA

Es un medio para proveer la trayectoria de retorno de las corrientes de Radiofrecuencia (RF).

Es la misma señal de referencia para todos los componentes del proceso de señal, en un sistema digital.

En la figura 4-1 se presenta una clasificación de los seis principales subsistemas de conexión a tierra en instalaciones electrónicas.



Figura 4.1 Clasificación de los subsistemas de conexión a tierra en las instalaciones electrónicas.

5 EL SISTEMA DE ELECTRODO DE TIERRA

5.0 INTRODUCCIÓN

El Sistema Electrodo De Tierra provee una conexión directa conductiva a tierra o a un cuerpo de agua, el cual es parte de la tierra.

Este sistema es una trayectoria de baja impedancia a tierra, y tiene como propósitos:

- Establecer una referencia a tierra para la barra colectora neutro del panel de distribución de servicio de entrada o el X_0 del secundario de un transformador.
- Proveer una trayectoria de baja impedancia para descargas de rayos.

El código NEC, Artículo 250-84, requiere que la resistencia entre el electrodo de tierra y el suelo circunvecino –impedancia de tierra- no sea mayor de 25 ohms.

La impedancia de tierra para una "instalación de calidad para equipos de cómputo" debe ser igual o inferior a 5 ohms y la impedancia para cualquier instalación en un área de descargas atmosféricas –con incidencias superiores a 30 descargas de rayos por milla cuadrada por año- no debe exceder de 1 ohm.

El sistema electrodo de tierra se discute en la parte H del artículo 250 del código NEC. De los componentes del Sistema Electrodo de Tierra que se van a citar, si existe más de uno en la estructura de un edificio, éstos deben ser unidos conjuntamente para formar el Sistema De Electrodo de Tierra.

5.1 COMPONENTES DEL SISTEMA ELECTRODO DE TIERRA

El Sistema Electrodo de Tierra puede consistir de:

a).- TUBERÍA METÁLICA DE AGUA.

La Tubería metálica de agua debe estar soterrada, con continuidad eléctrica, en contacto directo con la tierra en una longitud de diez (10) pies (3.05 metros) o más.

NOTA: Un tubo metálico de agua el cual conforma con el código NEC, sección 250-81, será complementado por un electrodo adicional del tipo especificado en la sección 250-81, o por uno de los "electrodos fabricados" especificados en la sección 250-83.

b).- ESTRUCTURA METÁLICA DEL EDIFICIO.

Si la armazón de metal del edificio no está puesta a tierra efectivamente, la sección 250-44 -FNP- establece que se una y se conecte a tierra adecuadamente.

POR RAZONES DE SEGURIDAD, ÉSTA CONEXIÓN A TIERRA NO ES LO MISMO QUE LA CONEXIÓN EFECTIVA A TIERRA.

La estructura o armazón metálica está "efectivamente conectada a tierra", solamente cuando es intencionalmente conectada y la conexión provee una baja impedancia a tierra.

c).- UN ELECTRODO ENCERRADO EN CONCRETO Y EN CONTACTO DIRECTO CON LA TIERRA.

El electrodo está revestido de dos (2) pulgadas (5.08 cm) de hormigón, consistente de una o más barras o varillas de 20 pies (6.1 m) mínimos de largo (ver figura 5-1). Éste es también conocido como TIERRA UFER, en honor de Herb Ufer.

Ufer probó, en los comienzos de la década de los sesenta que los electrodos consistentes de ½ pulgada de varillas de refuerzo, enterradas en las bases de concreto de los edificios, median resistencias de 5 o menos ohms, aún en suelos secos y arenosos.

Debe tenerse precaución, ya que pueden ocurrir daños al concreto por efectos de corrosión de la varillas o fallas a través del concreto.

El acero corroído puede expandirse a volúmenes superiores a dos veces su volumen original y una corriente de falla alta puede convertir la humedad en el concreto, en vapor de alta presión.

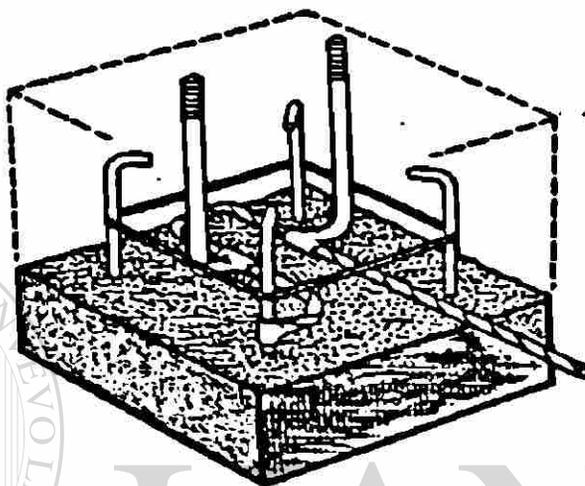


Figura 5-1 Electrodo Encerrado En Concreto (Tierra Ufer)

d).- UN ANILLO DE TIERRA ALREDEDOR DEL EDIFICIO O ESTRUCTURA.

Como se muestra en la figura 5-2, éste anillo debe estar en contacto directo con la tierra a una profundidad no menor de dos y medio (2 1/2) pies (76.20 cm) consistente de veinte (20 m) pies (6.1 m) mínimo de conductor de cobre desnudo no menor del calibre núm. 2. -AWG -Medida Americana de Cables-

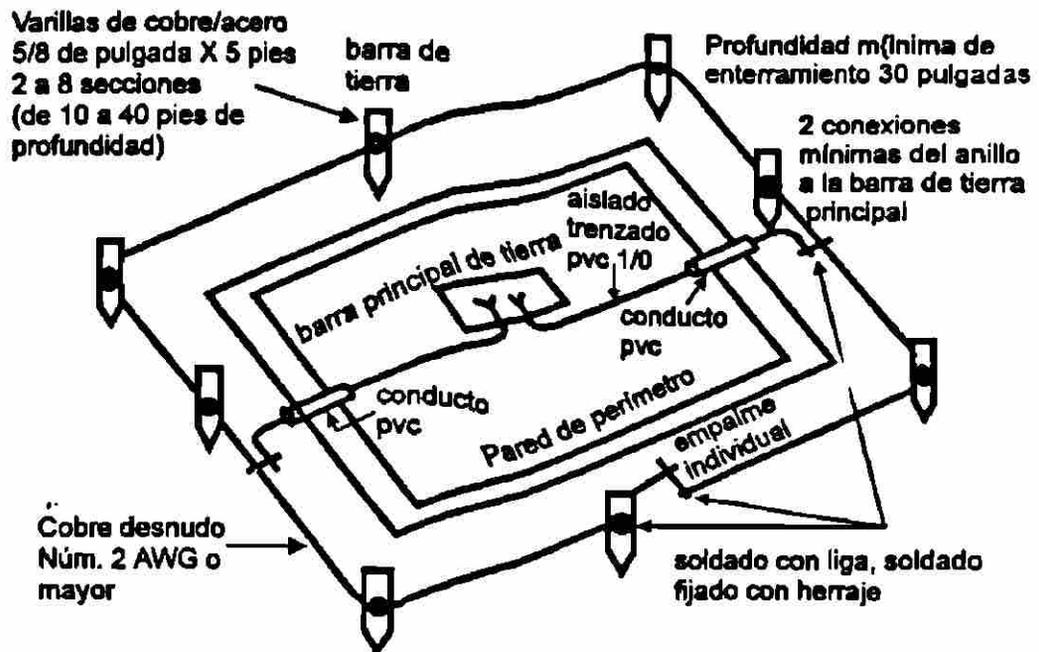


Figura 5-2 El Anillo de Tierra

e).- SISTEMAS DE METAL O ESTRUCTURAS SOTERRADOS.

Tales como sistemas de tuberías o tanques bajo tierra.

LAS TUBERÍAS SOTERRADAS DE GAS NO DEBEN SER USADAS COMO ELECTRODOS DE TIERRA.

f).- ELECTRODOS DE TUBOS Y VARILLAS.

Los electrodos de tubos y varillas no tendrán menos de ocho (8) pies (2.44 m) de largo y tendrán 8 pies de longitud debajo de la línea de congelamiento (ver la figura 5-3).

Los electrodos de tuberías o de conducto no serán menores de 3/4 pulgadas tamaño comercial y donde sean de hierro o acero, tendrán la superficie externa galvanizada o con cubierta de metal, para la protección contra la corrosión.

Es importante indicar que **el aluminio no es permitido para electrodos de tierra.**

Los electrodos de varillas de acero o hierro tendrán un diámetro mínimo de 5/8 de pulgada (1.59 cm).

Las varillas de acero inoxidable y varillas de material no ferroso de no menos de $\frac{1}{2}$ pulgada (1.27 cm) de diámetro pueden ser usadas solo si están certificadas para tal servicio

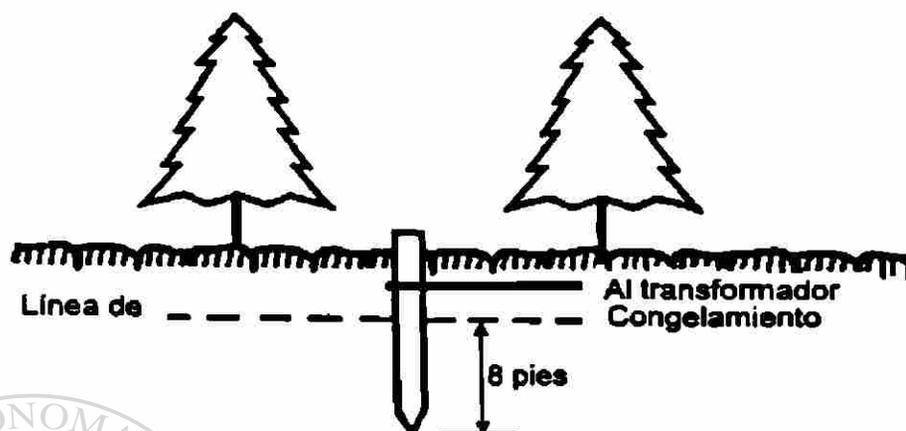


Figura 5-3 La varilla de tierra

g).- ELECTRODOS DE PLACA.

Los electrodos de placa pueden ser usados como electrodos de tierra si exponen no menos de dos (2) pies cuadrados (0.186 m²) de superficie al terreno exterior.

Los electrodos de placa de hierro o acero, tendrán un espesor mínimo de un cuarto (1/4) de pulgada (6.35 mm). Los electrodos de metales no ferrosos tendrán un espesor mínimo de 0.06 de pulgada (1.52 mm).

También el código requiere, si son disponibles en los edificios cualquiera de los electrodos de los tipos especificados en las secciones 250-81, (a)-(b) y en la sección 250-83 (c) y (d), QUE SEAN UNIDOS CONJUNTAMENTE PARA FORMAR EL SISTEMA ELECTRODO DE TIERRA.

Para seguridad adicional, todas las tuberías, conductos metálicos de aire y todo lo metálico dentro o sobre el edificio, deben ser

conectados a tierra de acuerdo a las secciones del código NEC 250-44-fnp y 250-80-FNP-.

5.2 DIMENSIONES DEL CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE TIERRA

El menor tamaño permisible del conductor electrodo de tierra se fundamenta en la sección 250-94 del código y en la tabla adjunta donde se describen los calibres.

Los tamaños mínimos permisible están basados en DOS CRITERIOS:

- 1) Tamaño del conductor de servicio de entrada de mayor calibre.
- 2) Tipo de electrodo de tierra.

EJEMPLOS:

a) Si se considera que el electrodo de tierra es una tubería metálica de agua soterrada o bajo tierra, o la estructura de un edificio conectado a tierra efectivamente, el criterio para el tamaño mínimo del conductor de electrodo de tierra es el presentado en la tabla 250-94.

b) Si el electrodo de tierra consiste en un electrodo encerrado en concreto, una varilla enterrada, un anillo de tierra, u otro "electrodo fabricado", descrito en la sección 250-83, el tamaño del conductor del electrodo de tierra puede ser reducido de acuerdo a varias excepciones permitidas en la sección 250-94.

c) En el caso de un electrodo fabricado, el conductor no necesita ser superior al número 6 AWG de cobre.

d) En el caso de un electrodo encerrado en concreto, el calibre del conductor puede ser menor al número 4 AWG de cobre.

e) Cuando se conecta a un "anillo de tierra", la parte correspondiente del conductor del electrodo de tierra puede ser menor que el conductor usado para el anillo de tierra.

Tamaño del Conductor Mayor de Acometida o Área Equivalente para Conductores en Paralelo.		Tamaño del Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra	
Cobre	Aluminio o Aluminio con Revestimiento De Cobre.	Cobre	Aluminio o Aluminio con Revestimiento De Cobre
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
Mayor de 3/0	Mayor de 250 kcmil		
Hasta 350 kcmil	hasta 500 kcmil	2	1/0
Mayor de 350 kcmil	Mayor de 500 kcmil		
Hasta 600 kcmil	hasta 900 kcmil	1/0	3/0
Mayor de 600 kcmil	Mayor de 900 kcmil		
Hasta 1100 kcmil	hasta 1750 kcmil	2/0	4/0
Mayor de 1100 kcmil	Mayor de 1750 kcmil	3/0	250 kcmil

Tabla 250-94 Conductor del Electrodo de Tierra para Sistemas De C.A.

5.3 EFECTOS DE LA RESISTIVIDAD DE SUELO

La resistencia a tierra de los electrodos de tierra depende no solamente de su profundidad y de su área de superficie, sino también de la resistividad del suelo.

En teoría, la resistencia de suelo puede calcularse de la siguiente fórmula:

$$\text{RESISTENCIA} = \frac{\text{RESISTIVIDAD} \times \text{LONGITUD}}{\text{ÁREA}}$$

La resistividad del suelo determina cual será la resistencia de un electrodo de tierra y a qué profundidad debe ser enterrado para obtener una conexión a tierra aceptable.

La resistividad del suelo varía con las estaciones del año y es afectada por:

- La temperatura
- El contenido de humedad
- La presencia de minerales y varias sales disueltas
- Por la misma composición del suelo.

Debido a que la resistividad del suelo está relacionada directamente con la humedad y la temperatura, la resistencia de cualquier sistema de conexión a tierra varía a lo largo del año.

La tierra, en estado completamente seco, puede de hecho convertirse en un buen aislante si no se encuentran electrolitos presentes.

La Tabla 5-1 muestra el cambio significativo en tierra arenosa con un contenido de 15% de humedad y con variaciones de temperaturas entre 20 grados centígrados y 15 grados centígrados bajo cero. Se puede ver que la resistividad cambia de 7,200 a 130,000 ohms-centímetros en éstos parámetros de temperatura.

Temperatura		Resistividad
Centígrados	Fahrenheit	Ohmios-cm
20	68	7,200
10	50	9,900
0	32 (agua)	13,800
0	32 (hielo)	30,000
-5	23	79,000
-15	14	130,000

Tabla 5-1 Variación de la Resistividad de Tierra Arenosa

Debido a que la temperatura y el contenido de humedad son más estables a grandes profundidades por debajo de la superficie de la tierra,

es recomendable enterrar una barra debajo de la superficie de la tierra a una profundidad considerable.

En algunos lugares, la resistividad de la tierra puede ser tan alta, que una resistencia baja de suelo sólo puede ser obtenida por medio de sistemas de conexión a tierra bastante complicados o incrementando periódicamente el contenido de electrolitos del suelo. Si se emplea un tratamiento con sal, es necesario usar varillas a tierra que resistan la corrosión química. Las sales típicas utilizadas para bajar la resistencia de tierra del suelo incluyen sulfato de cobre y carbonato de sodio. La bentonita, -un silicato de aluminio-, es bastante conductivo y tiene la propiedad de retener la humedad; se utiliza muy a menudo para rellenar la superficie alrededor de la varilla en áreas arenosas o rocosas.

5.4 TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA PARA EL SISTEMA ELECTRODO DE TIERRA

En lugares donde la medición de la resistencia del suelo es mayor que 1 ohm, 5 ohms o 25 ohms en los casos previamente descritos, deben utilizarse ciertas técnicas para disminuir la resistencia.

Si se duplica el diámetro del electrodo de tierra, la impedancia disminuirá solo un 10% aproximadamente.

Si se duplica la longitud de la varilla a tierra, la impedancia disminuirá hasta un 40% (ver la figura 5-4).

El método común y el de costo más efectivo, es el que utiliza múltiples electrodos, espaciados entre sí un mínimo de 6 pies, de acuerdo a las normas NEC, sección 250-84.

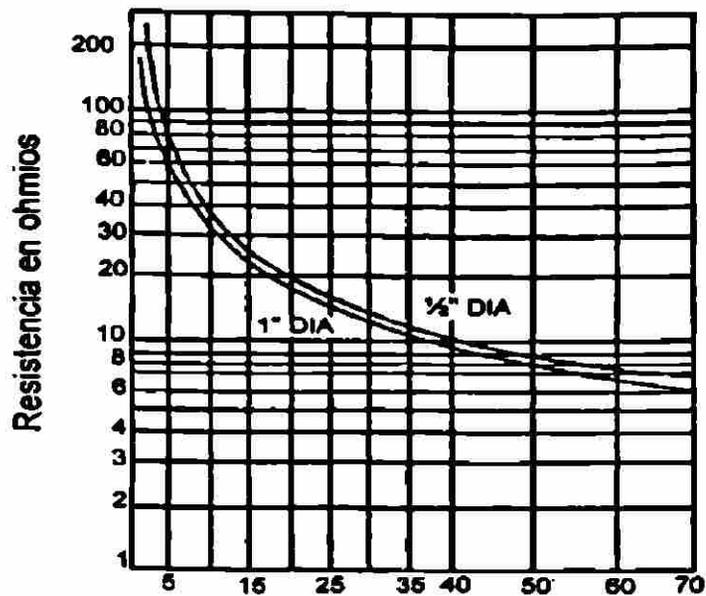


Figura 5-4 Profundidad de Enterramiento en Pies

Resistencia del suelo contra Profundidad de enterramiento de la Barra

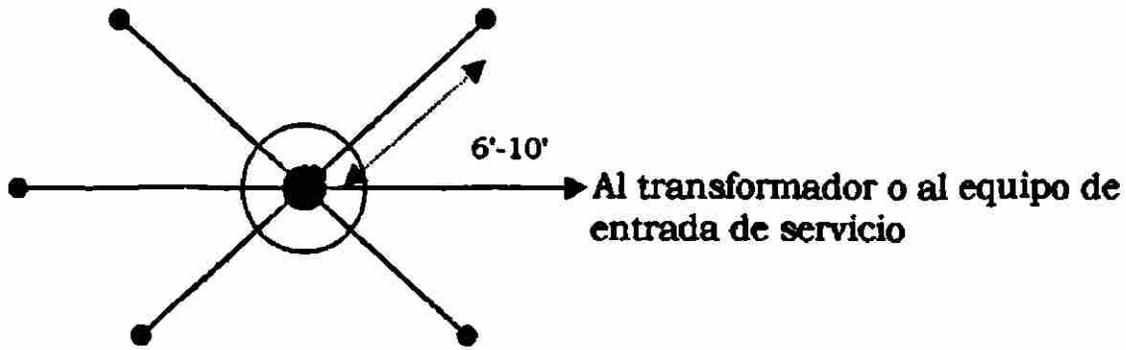
El código canadiense requiere un mínimo de tres metros.

Cuando la nueva medición de la impedancia de suelo con un electrodo de tierra no es lo suficientemente baja, debe enterrarse un segundo electrodo a una distancia de 6 a 10 pies de separación del primer electrodo.

Se debe unir el electrodo original al nuevo usando un conductor de cobre desnudo, del mismo calibre como requiere la tabla 250-94 para la unión del conductor electrodo de tierra al servicio de entrada.

Si la resistencia a tierra del electrodo original y el segundo están por encima de la resistencia requerida, se debe enterrar un tercer electrodo. Éste tercer electrodo debe unirse al electrodo original usando el conductor del mismo calibre AWG de cobre usado anteriormente; enseguida se procede a unir éste sistema de electrodo de tierra al conductor a tierra de servicio, en conformidad con la sección 250-23 del

250-83 (c)-, debe unirse también a cualquiera en los apartados de (a) a (d) de la sección 250-81.



Todas las varillas enterradas un mínimo de 8 pies debajo de la línea de congelamiento. Todas las conexiones: soldaduras exotérmicas, con liga, o con herrajes.

Figura 5-5 Tierra en Estrella

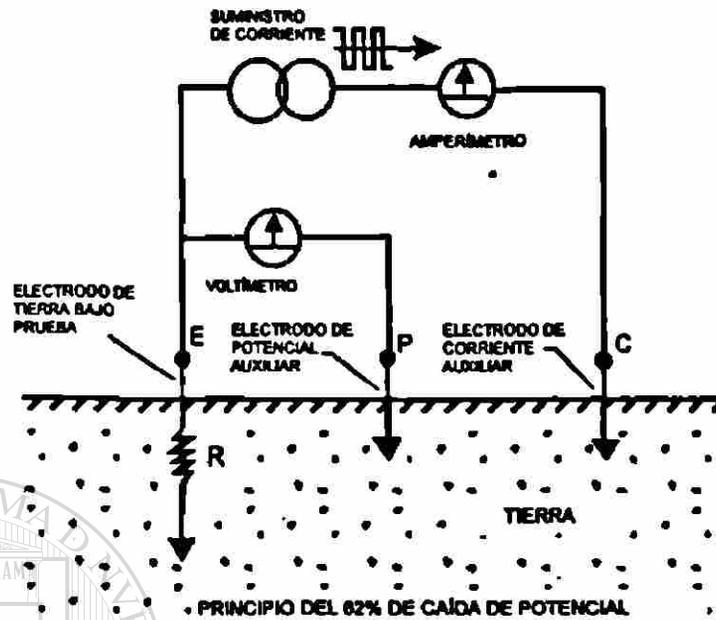
El Código Nacional Eléctrico no especifica la "resistencia a tierra" para los electrodos de tierra listados en la sección 250-81. La sección 250-84 del código, sin embargo, requiere que los electrodos fabricados listados en la sección 250-83 tengan una resistencia a tierra igual o inferior a 25 ohms.

Para la instalación de equipos a base de microprocesadores tales como equipos de computación, computadoras personales, equipos de telecomunicaciones, equipos médicos electrónicos, etc., la resistencia de cualquiera de los sistemas de electrodos de tierra deberá ser igual o inferior a 5 ohms.

5.5 PRUEBA DE RESISTENCIA DE TIERRA

Antes de instalar cualquier equipo a base de microprocesadores, debe medirse la resistencia del "electrodo de tierra".

En el mercado de aparatos eléctricos se dispone de instrumentos que usan el método del 62% o "caída de potencial".



**Figura 5-6 Principio de la Prueba de Resistencia de Suelo
(Caída de Potencial)**

En la figura 5-6, la varilla E representa el electrodo de tierra a prueba. La diferencia de potencial es medida entre las varillas E y P, y el flujo de corriente es medido entre E y C. Cuando la varilla P está espaciada 62% de la distancia entre el electrodo a prueba y la varilla C, se obtiene un alto grado de precisión en la medida de resistencia de suelo.

No se puede asignar una distancia estándar entre las varillas E, P y C debido a que ésta distancia depende tanto del diámetro del electrodo a prueba, como de su longitud y a la homogeneidad del suelo.

Puede determinarse una distancia aproximada usando la Tabla 5-2, si se considera la utilización de un electrodo de 1 pulgada de diámetro. La distancia se reduce un 10% si se considera $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro y se incrementa un 10% si se considera de 2 pulgadas de diámetro.

Si ésta resistencia es mayor de 5 ohms (o más de 1 ohm en un área de alta incidencia de rayos) la resistencia se debe reducir por medio de "electrodos fabricados" adicionales, descritos en la sección 250-83 del Código Nacional Eléctrico. El más común de éstos es la varilla o el tubo electrodo, instalado de acuerdo con el párrafo anterior.

Para obtener una resistencia a tierra igual o inferior a 1 ohm, algunas instalaciones han puesto tubos de 30 pies de una pulgada en pozos de 30 pies de profundidad. Éstos pozos subsecuentemente se llenan de BENTONITA para mejorar el contacto del tubo con la tierra.

Distancia aproximada a los Electrodo Auxiliares usando el Método del 62%		
Profundidad de Enterramiento	Distancia a P	Distancia a C
6 pies	45 pies	72 pies
8 pies	50 pies	80 pies
10 pies	55 pies	88 pies
12 pies	60 pies	96 pies
18 pies	71 pies	115 pies
20 pies	74 pies	120 pies
30 pies	86 pies	140 pies

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

5.6 PRÁCTICAS COMUNES DE VIOLACIÓN A LAS ESTIPULACIONES DE CONEXIÓN A TIERRA

Comunmente algunos fabricantes de equipos electrónicos, especifican un sistema de electrodo tierra "aislado" mal interpretando el significado verdadero del sistema a tierra aislado (Aislamiento del Conductor); algunos insisten en un Sistema a Tierra Separado, para su

equipo (ver figura 5-7) y exigen que no se conecte al electrodo de tierra del edificio.

Si es instalado un sistema separado de electrodo de tierra, debe unirse al sistema existente, de conformidad con la sección 250-81 del NEC.

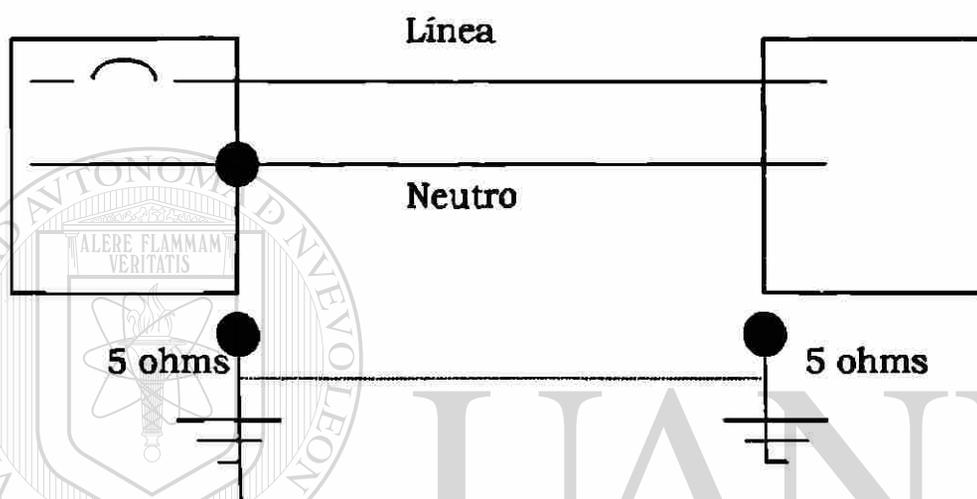


Figura 5-7

Violaciones múltiples a las estipulaciones de conexión a tierra

Si dos sistemas a tierra no se interconectan conjuntamente (lo cual es una violación de las normas del NEC y OSHA), SE ORIGINA UNA SITUACIÓN EXTREMADAMENTE PELIGROSA.

Si cualquiera de los dos sistemas se energiza (debido a rayos, a una condición de falla, etc.), se generan voltajes extremos entre los dos sistemas de electrodo de tierra, los cuales pueden causar lesiones y aún hasta la muerte.

Todas las personas involucradas en ésta falla del sistema tienen responsabilidad legal y pueden exponerse a la probabilidad de una demanda legal civil o un proceso jurídico criminal.

6. CONEXIÓN A TIERRA PARA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

6.0 INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica generada por rayos puede causar graves daños al equipo electrónico.

Una descarga típica de rayo puede tener aproximadamente 3 billones de kilowatts de energía a un voltaje aproximado de 125 millones de volts y una corriente promedio de 20,000 amperes.

Un rayo destructivo podría consistir de 25,000 amperes a un voltaje de 30 millones de volts.

Los transitorios inducidos por rayos en el sistema de potencia pueden causar mal funcionamiento del equipo o introducir datos o instrucciones falsas. Aún cuando el equipo esté apagado, puede sufrir daños.

Cuando el equipo se desconecta de la fuente de energía, pueden ocurrir daños por medio de la antena o las conexiones en las líneas de datos.

Para asegurar una operación confiable del equipo electrónico, se debe proporcionar protección efectiva contra rayos, especialmente en áreas de alto índice de ocurrencias. Los equipos electrónicos que deben protegerse pueden ser computadoras, equipos médicos computarizados, enlaces de computadoras -LANs-, sistemas de voz/datos y otros delicados dispositivos electrónicos.

El mapa Isokerónico en la Figura 6-1(a) provee información sobre las probabilidades de ocurrencias de rayos en los EE.UU.

La Figura 6-1b provee información sobre las probabilidades de ocurrencias de rayos en el mundo entero.

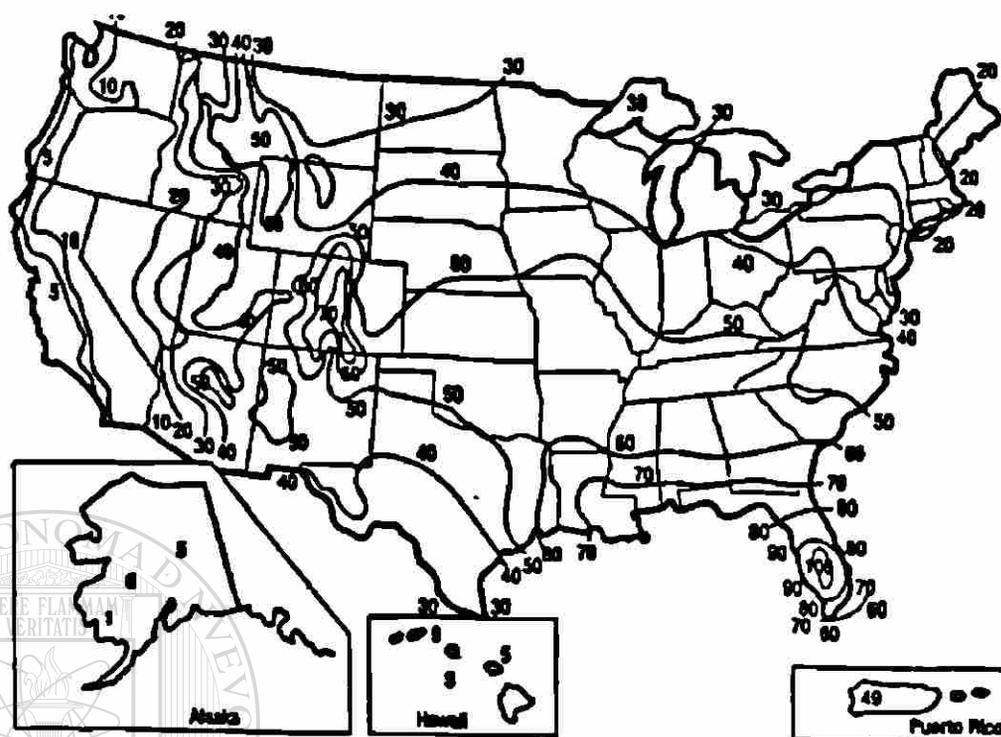


Figura 6-1a Mapa Isokerónico de EE:UU:

(Los números indican la cantidad de tormentas -días por año-)

La protección contra rayos debe asegurar que la descarga del rayo sea dirigida lejos de donde se encuentra el equipo electrónico de alta sensibilidad.

Tanto el equipo como el edificio que lo contiene deben ser protegidos adecuadamente. Los datos para el diseño y Normas para la Instalación de Sistemas de Protección se encuentran en la Asociación Nacional de Protección contra Incendios, NPA780:

- "Código de Protección contra Rayos" en los laboratorios UL 96-A
- "Código Principal de Etiqueta (Master Label Code)"
- Instituto de Protección contra Rayos LPI 175 "Código de Instalación, (Installation Code)".

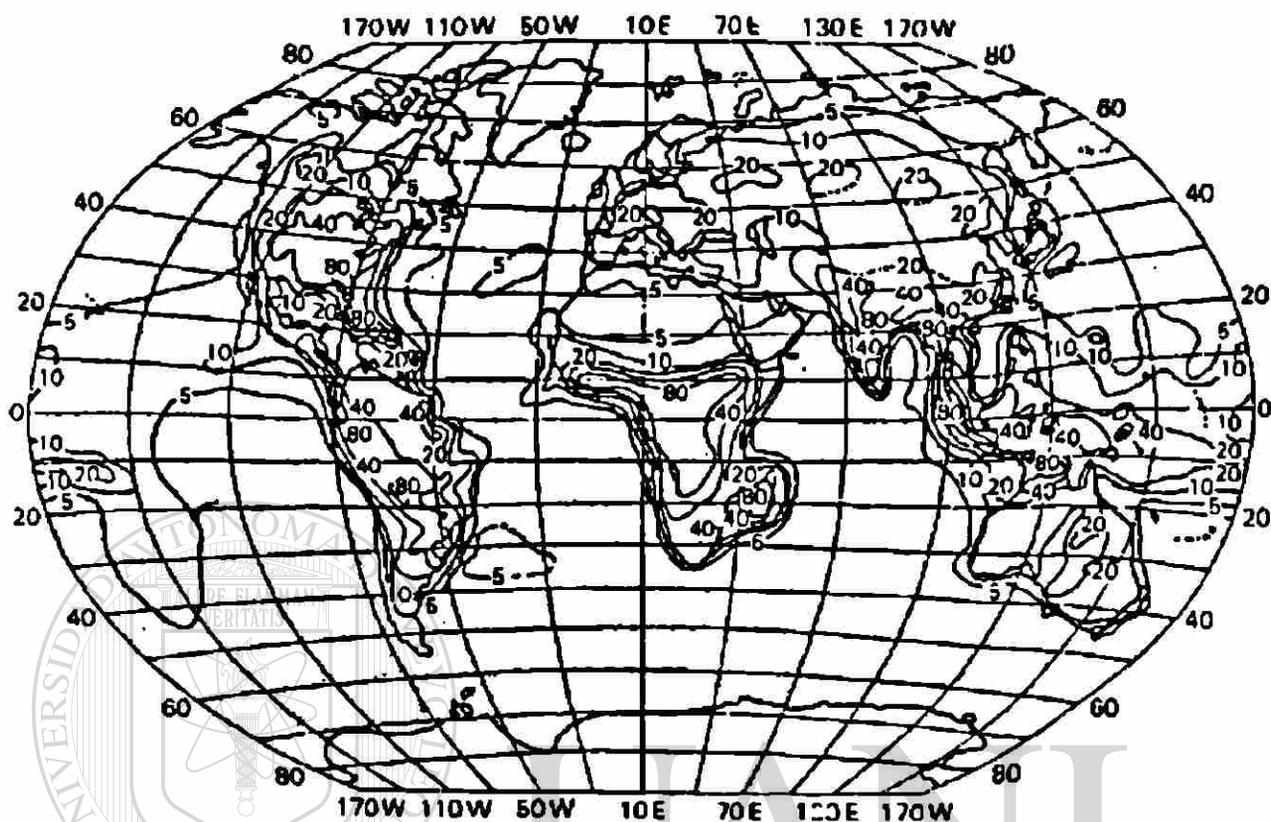


Figura 6-1b Mapa Isokerónico mundial

(Los números indican la cantidad de tormentas -días por año-).

6.1 TIPOS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Actualmente se utilizan tres sistemas de protección contra rayos:

- 1) Sistema de Conducción.
- 2) Sistema de Atracción.
- 3) Sistema de Disipación.

De los tres sistemas, el único sistema aprobado por las tres asociaciones antes mencionadas, es el SISTEMA DE CONDUCCIÓN, también llamado la "Barra de Franklin" o el sistema llamado "Jaula de Faraday".

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

El sistema de CONDUCCIÓN usa VARILLAS DE PARARRAYOS para atraer el rayo.

El sistema de ATRACCIÓN usa o un ISÓTOPO RADIOACTIVO, o un iniciador iónico para atraer el rayo.

El sistema de DISIPACIÓN usa una gran cantidad de PEQUEÑOS PUNTOS METÁLICOS que crean un campo pasivo ionizado para 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 confiables de los tres sistemas muestran que EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN es igual o MEJOR QUE LOS OTROS DOS SISTEMAS y permanece hasta el presente como EL ÚNICO SISTEMA APROBADO.

Las pruebas del sistema radioactivo (sistema de atracción) conducidas por científicos Europeos (D. Muller-Hilibrand y H. Boatz) demostraron que LA BARRA DE FRANKLIN es mucho más efectiva para capturar el centelleo o su iniciación de descarga, cuando las terminales de los dos sistemas se encontraban a la misma altura.

Es generalmente aceptado por los científicos en el campo atmosférico y los Físicos del mundo entero, que las sustancias radioactivas no mejoran los efectos de atracción de la varilla de pararrayos.

El uso de varillas de pararrayos radioactivos está prohibido en por lo menos cuatro países (Francia, España, Portugal y Taiwan).

Un reporte de la NASA titulado "Estudio de la Tecnología para la Protección contra Rayos para Estructuras Altas" contiene varias

fotografías de rayos descargando energía sobre torres protegidas por formaciones de sistemas de disipación. Ésto indica que el sistema de disipación funciona casi en la misma forma que el sistema de la barra de Franklin. Basado en éste hecho, el Instituto para la Protección contra Rayos considera que el sistema de disipación es un sistema de captación a tierra, competitivo con el sistema de barra de Franklin aprobado por el Código.

6.2 DISEÑO E INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

El método más antiguo y comunmente usado como protección es el sistema de conducción.

Las Antenas (pararrayos) en la estructura de la azotea (Figura 6-2) aceptan descargas de rayos en su área inmediata. Éstas son ubicadas en puntos altos para formar un sistema interceptor completo.

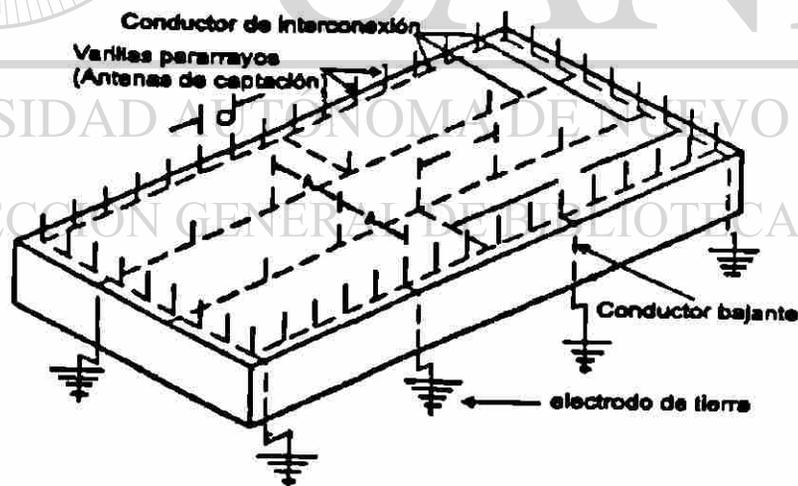


Figura 6-2 La Jaula de Faraday

Las terminales son de 10 a más de 60 pulgadas de altura y deben estar espaciadas a distancias (c), no superiores a 20 pies entre sí, si su altura es menor de 24 pulgadas.

Las terminales de 24 a 60 pulgadas no pueden estar espaciadas más de 25 pies entre sí.

Debe colocarse una antena de captación a una distancia no superior a 24 pulgadas de las esquinas y otros objetos de filo.

Todas las chimeneas, ventiladores, astas de banderas, torres, tanques de agua y otras proyecciones deben estar protegidas con una o más terminales.

Las terminales de las chimeneas y torres de emisión deben estar revestidas de plomo para resistir la corrosión.

La influencia destructiva los centelleos del rayo tiene una distancia igual o superior a 150 pies (50 metros).

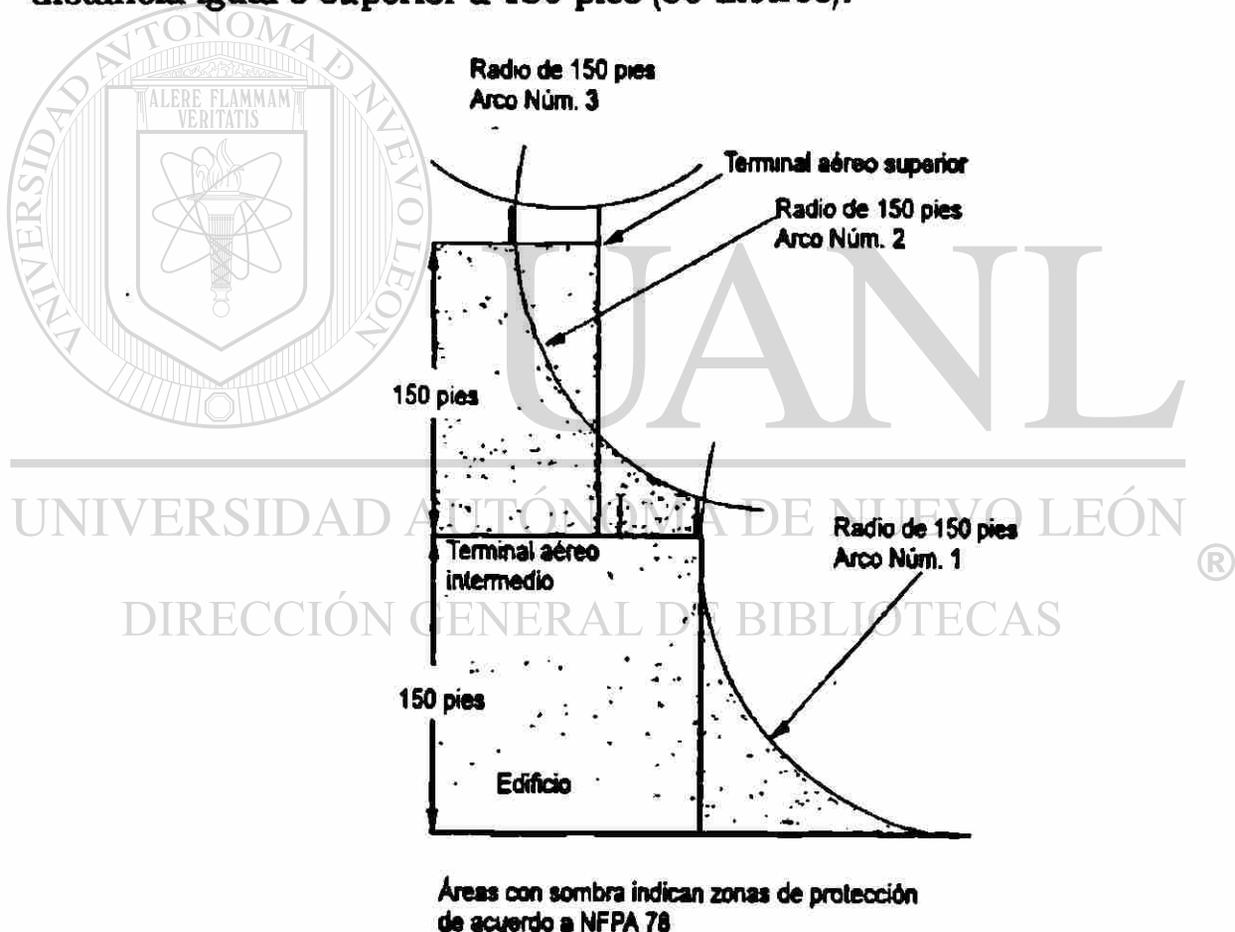


Figura 6-3 Radio de Protección de Rayos

El contorno de la zona protegida por una de las antenas de captación estándares se define como un área bajo un arco que tiene un radio máximo de 150 pies y es tangente a la tierra, mientras que toca la

punta de una antena como muestra el arco No. 1 en la Figura 6-3 . Ésto es importante para estructuras que exceden 150 pies de altura ya que tienen que ser instaladas antenas adicionales a niveles intermedios apropiados, lo mismo que a nivel del techado o azotea.

Por ejemplo, para un edificio de 300 pies de altura, la circunferencia del arco No. 2, en la Figura 6-3, descansa sobre el terminal de nivel intermedio y es tangente a la superficie vertical de la terminal superior. El Arco No. 3 descansa sobre dos o más terminales. El área debajo de los arcos está protegida por el sistema.

En el diseño de un sistema, una plantilla a escala de 150 pies de radio, que represente las dimensiones de la vista lateral del dibujo puede ser puesta sobre el contorno del edificio para determinar las áreas del techado o azotea -zona de protección-.

Las orillas del techo en contacto con la plantilla requieren una terminal de protección. Para mejor conveniencia, para los edificios de altura inferior a 25 pies puede utilizarse un ángulo de líneas de proporción dos-a-uno, para determinar los requerimientos de protección.

Para edificios de 25 a 50 pies de altura, puede utilizarse un ángulo de líneas de proporción uno-a-uno.

El techado de edificios altos requiere terminales en la mitad del techo espaciadas entre sí a distancias hasta de 50 pies.

Todas las estructuras que se extienden sobre la protección de las terminales del techo, tales como la cabecera de ascensores, grandes unidades de ventilación y otras, deben estar equipadas con sus propias antenas de protección.

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

Los electrodos de tierra pueden ser varillas de tierra individuales o un anillo conductivo enterrado alrededor del perímetro del edificio, o ambos.

Todos los componentes de éste sistema son de cobre, aluminio anodizado, o acero inoxidable.

El sistema de tierra para rayos no debe ser el sistema electrodo de tierra del edificio, pero debe estar conectado a éste (NEC 250-86 y FNP #2).

Todos los elementos metálicos, conectados a tierra aislados, que se encuentran colocados en la azotea, o en las paredes exteriores cerca a los conductores de entrada, deben estar unidos a los conductores de entrada debido a la posibilidad de un centelleo.

Un centelleo es un arco causado por la diferencia de potencial entre el conductor de entrada y un elemento metálico.

Ésta unión elimina la diferencia de potencial y previene el daño causado a éstos componentes por el flujo de alta corriente.

Los conductores deben ser conectados con herrajes no corrosivos para obtener una conexión eléctrica continua sin la necesidad de soldadura.

Para prevenir el efecto de obstrucción eléctrica o choque deben de utilizarse sujetadores no metálicos.

Las terminales aéreas o antenas de un edificio típico industrial o comercial requieren dos trayectorias a tierra.

Los elementos primarios metálicos del techo, fuera de la zona de protección de las antenas del techo, deben ser unidos al sistema del techo por medio de dos trayectorias de conductores a tierra.

Los elementos secundarios metálicos - aquellos que no pueden recibir la descarga directamente -, pueden ser unidos al sistema de conductores con un conductor secundario -de tamaño pequeño-.

Los conductores de perímetro deben formar un lazo cerrado en el techo con los conductores de entrada o bajantes, espaciados a distancias no superiores 100 pies alrededor del perímetro.

Debido a que las esquinas del edificio son los puntos de mayor probabilidad para una descarga, se recomienda ubicar los conductores de entrada en estos puntos.

Los conductores deben dirigirse directamente a las terminales de tierra.

6.3 IMPEDANCIA DEL SUELO A LOS RAYOS

Antes de que la protección de equipo electrónico se convirtiera en un aspecto de preocupación, los sistemas de conexión a tierra que ofrecían resistencias iguales o menores a 25 ohms, eran aceptables.

En la actualidad es aconsejable determinar la resistencia apropiada y tratar de obtenerla con el sistema estructural de protección de tierra.

En áreas con índices de alta probabilidad de rayos -mencionados anteriormente- es deseable una medición de resistencia de 1 ohm o menor.

La resistencia de suelo varía en diferentes regiones de acuerdo a la composición del suelo.

En áreas donde la tierra es arcilla húmeda o arenosa, unas varillas individuales de cobre, o de acero revestido de cobre, o acero inoxidable, de 8 pies de longitud y $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, enterradas a 10 pies de profundidad, proveen bajas resistencias para la protección estructural y de personal lo mismo que para la protección del sistema eléctrico.

Si éste es el caso, es adecuado añadir una o dos varillas en cada área. De lo contrario se requiere enterrar un cable de cobre alrededor del edificio.

Las protecciones estructurales modernas usan el sistema de blindaje conocido como Jaula de Faraday, el cual facilita la supresión de sobrevoltajes.

Para la protección de equipos electrónicos de alta sensibilidad contra sobrevoltajes, se instalan supresores de voltajes transitorios independientemente de los sistemas de protección para las descargas directas de rayos.

Tal protección debe ser considerada como parte integral del sistema de protección contra rayos.

Debe proveerse protección contra sobrevoltajes a la entrada de servicio de la planta y en los alimentadores de los edificios.

Puede aplicarse Protección adicional contra sobrevoltajes a equipos específicos tales como motores grandes, equipo de procesamiento de datos, computadoras de control de procesos y la electrónica médica a base de microprocesadores.

6.4 REQUERIMIENTOS PARA LAS UNIONES

Las corrientes de rayos siguen la trayectoria de mínima resistencia a tierra.

Cuando un edificio recibe una descarga, la corriente que fluye puede seguir como trayectoria:

- La estructura metálica del edificio
- Las líneas de potencia
- Conductos de cables
- Otros conductos metálicos.

Si uno de éstos conductores está cerca de una instalación de computadoras, pueden generarse diferencias de potencial significativas, a menos que sean tomadas precauciones especiales.

Un pulso de 20,000 amperes desarrolla 5,000 volts a través de 0.25 ohms. Ésto es sólo 0.05 microhenrys a 1.0 megahertz. Una diferencia de potencial de ésta magnitud puede destruir el equipo electrónico.

Si todo el metal de un edificio es unido cuidadosamente, la diferencia de potencial será minimizada y se reducirán las probabilidades de daños causados por los rayos.

En una instalación típica de computadoras, puede suceder que la confiabilidad del sistema de operación se contrapone con los requisitos de conexión a tierra.

La tierra de seguridad que conecta los armarios, forma anillos de tierra. Ésto se combina con la necesidad de sistemas de tierra para prevenir daños causados por rayos.

La apertura de las uniones de tierra reduce el flujo del ruido de corriente, pero ésta apertura de uniones viola las necesidades anteriormente descritas.

Se han utilizado Inductores de separación, pero ésta alternativa no ha sido vista favorablemente por las agencias reguladoras, debido a las altas impedancias de tierra en altas frecuencias. Este dilema se puede resolver con el uso de un plano ó piso de tierra -con referencia a tierra-, adecuadamente diseñado, el cual puede servir como piso del centro de computadoras (Figura 6-4).

Una lámina muy delgada de metal tiene una muy baja impedancia de superficie. Una lámina de 0.03 mm. de cobre tiene una impedancia de superficie de 1 megaohm por pié cuadrado a una frecuencia de 10 megahertz. Desafortunadamente una lámina delgada de cobre difícilmente soporta peso, además de que es difícil hacer conexiones sobre ella.

Una solución práctica es el uso de una rejilla o cuadrícula de travesaños interconectados, como soporte de suelo y plano de tierra.

La cerámica del piso encaja dentro de los travesaños permitiendo acceso debajo del piso.

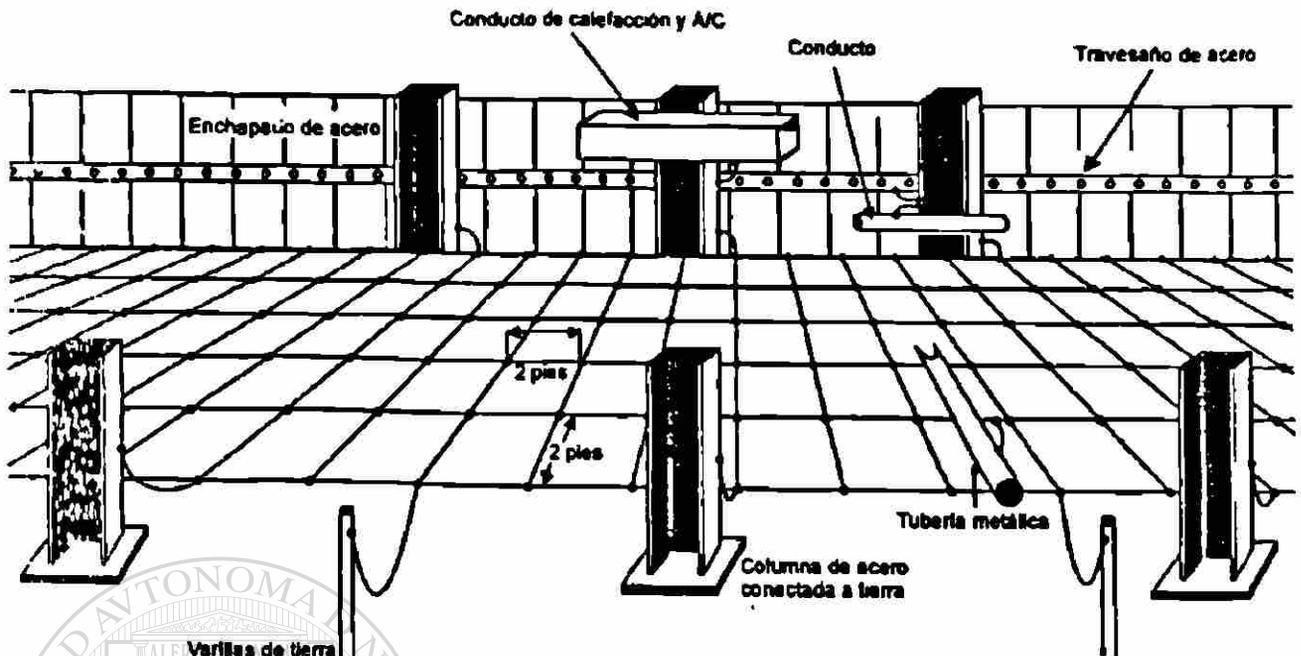


Figura 6-4 Unión Correcta de Instalación

Los travesaños constituyen la estructura, la cual puede soportar el peso del equipo pesado.

Los dos requisitos esenciales para armar la mencionada rejilla son:

- 1) Travesaños atornillados -los soportes laterales de sujeción instalados entre los pedestales de soporte-
- 2) Miembros compatibles -estaño o zinc-, de manera que pueden efectuarse conexiones de presión de baja resistencia.

Los travesaños son montados entre sí a distancias de 2 pies de centro a centro. Ésta clase de espaciamiento en forma de reja podría aparentar una limitación a la operación de alta frecuencia del plano de tierra; sin embargo, el piso es adecuado para niveles no superiores a 30 megahertz. Si el diseño para el centro de computadoras es correcto, las señales de ruidos por encima de ésta frecuencia son ignorados o filtrados.

Los travesaños en el piso de un centro de computadoras deben ser unidos con resistencias de valores inferiores a 1.0 megaohm. Ésto es necesario para que la rejilla aparente ser una lámina delgada a bajas frecuencias.

Éstas conexiones de baja resistencia requieren atención detallada en su diseño e instalación.

- Todas las conexiones deben usar superficies de metal limpias, mantenidas bajo presión cuando sean unidas.
- Cada conexión debe ser sellada para prevenir oxidación.
- Las uniones deben resistir las variaciones de cargas y vibraciones del piso.

La protección contra rayos requiere una trayectoria directa a tierra para cualquier conductor cerca al área del piso del centro de computadoras. Una alternativa es proveer un anillo de tierra alrededor del edificio.

Éste anillo es conectado a tierra en forma múltiple y es conectado al piso del centro de computadoras y su periferia. Todos los elementos metálicos son unidos al anillo cuando cruzan el área del piso del centro de computadoras. Se incluyen todos los cables conductores, acero del edificio o demás conductos. Cualquier corriente inducida por rayos tomará una trayectoria hacia afuera del anillo y directamente a tierra.

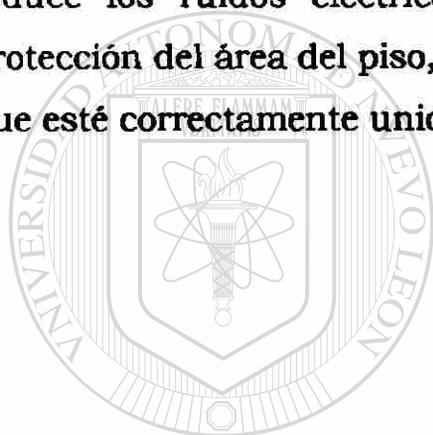
El piso del centro de computadoras puede subir de potencial en relación al de tierra pero los potenciales de todos los conductores se elevarán juntos.

“SIN DIFERENCIA DE POTENCIAL NO SE GENERAN DAÑOS”

El piso del centro de computadoras debe ser fabricado de un material de baja conducción (alta resistencia) el cual se conecta al sistema de travesaños. Esta resistencia alta tiene dos propósitos:

- Proporcionar un drenaje para la carga acumulada en la superficie del piso
- Proporcionar una alta impedancia para las descargas electrostáticas del personal en el piso del centro de computadoras. Un valor típico puede ser 10 ohms por pié cuadrado.

Todos los cables de señal que se desplazan por debajo del piso del centro de computadoras deberán desplazarse cerca a la superficie del plano de tierra. Ésto reduce las áreas de lazos cerrados y al mismo tiempo reduce los ruidos eléctricos inducidos. Los cables que salen de la protección del área del piso, deben seguir una extensión del plano de tierra que esté correctamente unido a ése plano.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

7 APLICACIONES ESPECÍFICAS DE LAS TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE C.A.

7.1 TIERRA DE SEGURIDAD o TIERRA DE EQUIPO

(Conductor de Conexión a Tierra)

El Código Nacional Eléctrico Parte D, E y G del Artículo 20, requiere que sean conectadas a tierra las cubiertas metálicas, tuberías, conductos y equipos asociados con sistemas de distribución eléctrica, aunque no estén conectados eléctricamente. (nota: 250-44 -FNP- y 250-80 -FNP-).

Ésta "tierra de seguridad" o "TIERRA DEL EQUIPO" se efectúa mediante un "conductor de conexión a tierra" o por medio de un puente de unión, que se une al conductor neutro y al conductor del electrodo de tierra o a la cubierta del equipo de servicio en el equipo de servicio de entrada o en la terminal X_0 de una fuente de potencia derivada separadamente (por ejemplo, un transformador).

Aún cuando 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, estos TIENEN DIFERENTES FUNCIONES.

El NEUTRO es un conductor que transporta corriente y es necesario para completar el circuito eléctrico monofásico.

La trayectoria del circuito eléctrico se desplaza desde la fuente - terminal de línea del transformador- a través del conductor de línea o conductor vivo, al lugar de carga, luego del lugar de carga a través del conductor neutro, al punto común del transformador -el terminal X_0 - .

El CONDUCTOR DE TIERRA, no es un conductor que transporta corriente, excepto en casos en que se genere una falla temporal de corriente (ver la Sección 250-21 del NEC).

7.1.1 PROPÓSITO

El propósito de conectar el equipo a tierra es doble.

1.- SALVAR VIDAS debido a choques eléctricos y los peligros de incendio.

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 transportar 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- en el caso de corrientes de falla.

2.- PROPORCIONAR UNA REFERENCIA ESTABLE para los sistemas electrónicos, para la fuente de suministro de CC y la lógica del sistema electrónico.

También proporciona 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 no conectado a tierra (de línea o vivo) y un conductor conectado a tierra, cubierta o chasis de equipo, produce una corriente eléctrica (ver Figura 7-1).

CORRIENTES DE FUGA

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 un PELIGRO DE SEGURIDAD. La falla de algunos dispositivos de microprocesadores los cuales conectan línea-a-tierra, pueden generar corrientes de fuga peligrosas.

TODA CORRIENTE ORIGINADA EN LA FUENTE DE ENERGÍA DEBE RETORNAR A ELLA .

Las corrientes de fuga retornan por medio de la tierra, y el voltaje del equipo será entonces la corriente (amperes) multiplicada por la resistencia de la trayectoria de tierra al punto común de la fuente de energía:

$$V_{\text{equipo}} = I_{\text{fuga}} R_{\text{tierra-punto común de la fuente}}$$

CORRIENTES DE FALLA

Una conexión de resistencia cero (corto circuito o falla) producirá como resultado que la corriente total de falla fluya al punto de falla. Éste valor de corriente es el voltaje del sistema dividido entre la suma de la impedancia de la fuente y la impedancia del alambre en el lazo cerrado, desde el terminal de fase. a través de la falla, al terminal común ($I=E/Z$).

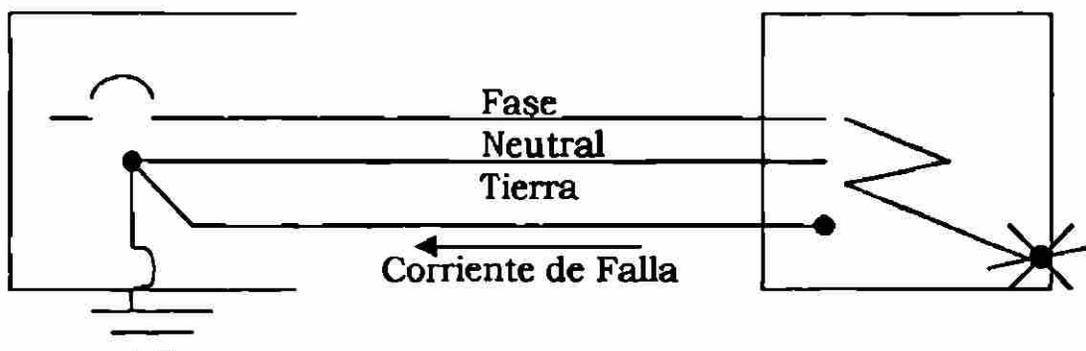


Figura 7-1.- Retorno de Corriente de Falla

7.1.2 CORRIENTE DE FALLA

Las corrientes de falla a niveles de miles de amperes son posibles y probables en un sistema eléctrico bien diseñado. Si no se utiliza un conductor a tierra de suficiente calibre, pueden producirse voltajes extremos en el punto de falla. Por razones de seguridad del personal, ésta corriente de corto circuito debe ser interrumpida inmediatamente por fusibles de protección o por interruptores automáticos. Los mismos fusibles e interruptores automáticos que protegen contra las fallas de línea-a-neutro, protegen también contra las fallas línea-a-tierra. Por consiguiente, la trayectoria de retorno a tierra debe tener una impedancia suficientemente baja. Ésta impedancia no debe limitar la falla de corriente a un valor que pueda evitar el disparo inmediato del dispositivo de protección. Para proteger vidas humanas, la corriente de falla debe tener un valor mínimo de 6 veces la del interruptor o la capacidad de corriente del fusible. Los conductos eléctricamente continuos y los conductores de tierra del equipo deben ser conectados directamente a la barra del neutro de la fuente de potencia, en el punto de unión neutro-tierra. Éste punto neutro-tierra puede estar en el secundario de un transformador, a la salida de un motor-generador, o en el equipo de servicio de entrada del edificio.

La conexión entre el punto de falla -conducto metálico o cubierta- y el punto de unión neutro-tierra, no debe permitir que la corriente de falla fluya a través de una trayectoria que incluya un sistema electrodo de tierra u otra conexión de alta resistencia. Una conexión de alta resistencia puede también obtenerse a través de un herraje de conducto, cuando el conducto es usado como trayectoria de seguridad a tierra.

En caso que la trayectoria de corriente de falla sea a través de dos estacas o varillas de tierra, la resistencia de éstas tierras no permitiría el disparo de los interruptores automáticos

El Código no permite el uso de dos o más sistemas de electrodo de tierra separados, dentro de un edificio o planta.

Dentro de una estructura o edificio, la conexión de algún equipo a uno de los sistemas de electrodo de tierra y otros equipos a un sistema de electrodo de tierra separado, es una violación de la Sección 250-81 del Código Nacional Eléctrico y de las leyes de OSHA. Aun más, esta práctica de conexiones, creará corrientes de ruido y voltajes entre los dos sistemas de electrodo de tierra.

Este "Circuito cerrado de tierra" creará ruidos no deseables en computadoras y otros sistemas electrónicos lo mismo que sobre sus cables de datos interconectados.

Otro argumento se refiere a utilizar para la trayectoria independiente de retorno a tierra una coraza o blindaje o un conducto metálico flexible. La envoltura en espiral, presentará una impedancia generalmente más alta y podrá transportar un porcentaje de menor valor de corriente de falla.

La Sección 250-91(b)(8) del NEC, cuando describe las trayectorias aceptables de retorno a tierra, se refiere a la combinación de cubierta metálica y conductores de conexión a tierra del cable Tipo MC (cable con revestimiento metálico).

Los conductos metálicos flexibles no son generalmente reconocidos como trayectorias a tierra aceptables para los equipos.

7.1.3 SEGURIDAD DE CONTACTO

Los conductores a tierra deben conectar todas las armaduras de equipos, chasis y partes metálicas a un punto común. Esto limita el voltaje que puede estar presente en la porción metálica de cualquier producto a un nivel de seguridad para la protección del personal (ver Figura 7-2).

Cualquier diferencia de voltaje entre las dos terminales de un conductor de tierra de seguridad (de conexión a tierra), nunca debe exceder una fracción de 1 volt a frecuencias de potencia de 50 o 60 Hz.

La excepción a esto ocurre durante una condición de falla a tierra y debería existir solamente un tiempo suficiente para permitir que el elemento del circuito de protección (interruptor de corriente automático o fusible) interrumpa la energía de la fuente. Tal falla de tierra puede ser el resultado de una falla en el aislamiento o en un componente del equipo o la falla en el conductor que suministra la energía.

El conducto y el conductor a tierra no están destinados para transportar cualquier porción de carga normal de corriente. Su función es la de transportar corrientes de falla **solamente**.

De vez en cuando pueden presentarse corrientes de fuga y ruidos eléctricos de corriente. Sin embargo, no deben exceder 0.2 amperes.

La norma médica para corrientes de fuga, de acuerdo a los laboratorios UL, para un solo equipo, no puede exceder 0.5 miliamperes (UL 544).

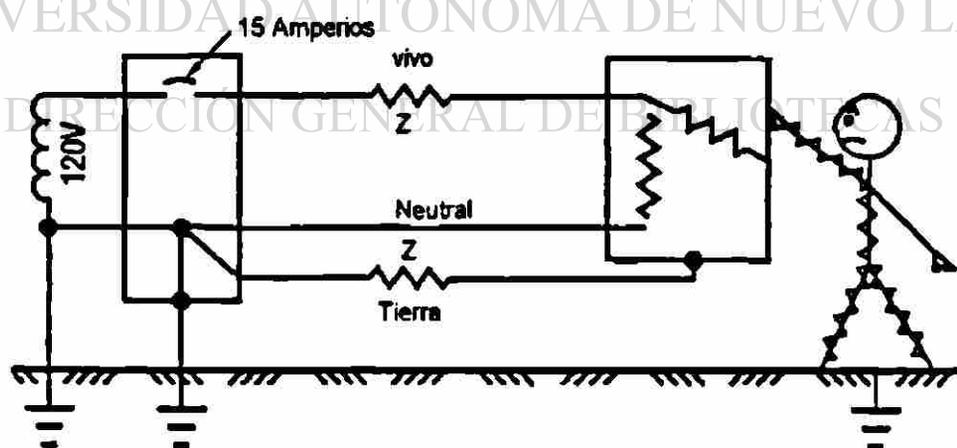


Figura 7-2 Seguridad de Contacto

A frecuencias de potencia, el voltaje especificado como límite máximo de seguridad para el contacto humano es comúnmente 30 volts RMS (valor eficaz ó medio cuadrático). Una excursión momentánea por

encima de este valor durante el tiempo que toma un fusible o un interruptor para aclarar la falla, puede resultar en un peligro significativo. A altas frecuencias y con impulsos de corta duración, el cuerpo humano puede tolerar voltajes y corrientes mucho más altos que los de frecuencia de potencia. Al incrementarse la frecuencia, la caída de voltaje para la corriente de fuga o ruido determinados, también aumenta. Las señales de voltaje de altas frecuencias e impulsos de 150 a 200 volts aparecen regularmente en conductores a tierra asociados con voltajes de circuitos de 120 volts. Su duración, sin embargo, es comunmente medida en microsegundos y no se detectan generalmente al contacto.

EL CONDUCTOR DE TIERRA DE SEGURIDAD o CONDUCTOR DE CONEXIÓN A TIERRA, debe ser lo suficientemente grande para transportar la corriente apropiada y permitir el disparo del interruptor de seguridad en caso de falla.

La impedancia de la trayectoria a tierra entre cualquier receptáculo eléctrico y el transformador X_o -la trayectoria total de ida y vuelta de la impedancia de un conductor a tierra y el conductor neutro -no debe exceder 2 ohms a 120 V_{CA} .

La lectura de un amperímetro de inserción en cualquier conductor de conexión a tierra debería indicar cero amperes. Cualquier lectura en exceso de 0.2 amperes debe causar preocupación y la causa de éste excedente debe ser encontrada y eliminada.

7.1.4 CALIBRE DE LA TIERRA DE SEGURIDAD

De acuerdo con la sección 250-79 del código nacional eléctrico, la cubierta de metal a la entrada de servicio debe ser unida a la barra del neutro y al conductor del electrodo de tierra, por medio de un puente de unión principal.

Específicamente, la Sección 250-79(c) prescribe que EL CALIBRE MÍNIMO PERMISIBLE DEL PUENTE DE UNIÓN, se determinará de acuerdo con la tabla 250-94 del Código. Esta tabla también dicta el CALIBRE MÍNIMO PERMISIBLE PARA EL CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE TIERRA. El Puente de Unión y el conductor de electrodo de tierra serán del mismo calibre.

Varias secciones del Artículo 250 del Código especifican los tipos de equipos que deben ser conectados a tierra y los métodos aceptables para la conexión de tales equipos.

La conexión a tierra de los equipos puede ser lograda por medio de un conducto metálico o por un conductor de conexión a tierra específico, de cobre o aluminio. La Tabla 250-95 especifica los calibres mínimos permisibles de los conductores de cobre o aluminio usados como los conductores a tierra del equipo. Aunque el tamaño mínimo requerido para el conductor del electrodo de tierra proporcionado en la tabla 250-94 se basa en el tamaño de los conductores de servicio, el tamaño requerido del conductor de conexión a tierra estipulado en la Tabla 250-95, es sin embargo una función de la capacidad o límites de operación del dispositivo de sobrecorriente del circuito. Ya sea que se use un conducto metálico o un cable o alambre de cobre o aluminio, todos los conductores de tierra del equipo están destinados para proporcionar una trayectoria de baja impedancia desde el equipo conectado a tierra y su regreso a la entrada de servicio, donde por último se unen con la tierra del sistema, en el punto de unión neutro-tierra.

Los edificios utilizados para el cuidado y asistencia de la salud requieren correr un electrodo de tierra en el conducto metálico junto con los conductores de línea y neutro. El Artículo 57 del Código Nacional Eléctrico se titula "INSTALACIONES PARA EL CUIDADO Y ASISTENCIA DE LA SALUD".

La Sección 517-13(a) del mismo artículo declara "en un área usada para el cuidado del paciente, las terminales de puesta a tierra de todos los receptáculos estarán conectadas a tierra mediante un conductor de cobre aislado. El conductor de puesta a tierra se instalará en canalizaciones metálicas conjuntamente con los conductores del circuito ramal que alimenten estos receptáculos o equipo eléctrico fijo".

Capacidad o ajuste del dispositivo Automático de Sobrecorriente de Circuitos Delante del equipo, conducto etc. Sin Sobrepasar (Amperios)	Tamaño (AWG)	
	Alambre de cobre	Aluminio con Coraza de Cobre
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 kcmil
1600	4/0	350 kcmil
2000	250 kcmil	400 kcmil
2500	350 kcmil	600 kcmil
3000	400 kcmil	600 kcmil
4000	500 kcmil	800 kcmil
5000	700 kcmil	1200 kcmil
6000	800 kcmil	1200 kcmil

Tabla 250-95

El conductor de circuito conectado a tierra (neutro) es unido a un sistema electrodo de tierra -alimentado por la central eléctrica- en el terminal secundario (X_0) del transformador de distribución de la central y de nuevo al equipo de entrada de servicio, de acuerdo con la Sección

250-23 del Código. Por consiguiente, ambos, el conductor de circuito conectado a tierra (neutro) y el sistema de conexión a tierra proporcionan trayectorias paralelas de regreso a la terminal del transformador X_0 . Debido a la muy baja impedancia de la trayectoria del conductor de circuito conectado a tierra, en condiciones normales fluyen corrientes despreciables en la trayectoria electrodo/tierra.

Las condiciones que predominarían en un sistema de potencia, bajo condiciones de fallas a tierra, son ilustradas en la Figura 7-3.

El sistema en este ejemplo es un sistema trifásico de 400 amperes de corriente, un servicio de cuatro hilos 208/120 volts que suministra a un panel de distribución por medio de un conducto no metálico; los conductores de línea de servicio son 500 MCM de cobre. El electrodo de tierra es un electrodo "fabricado".

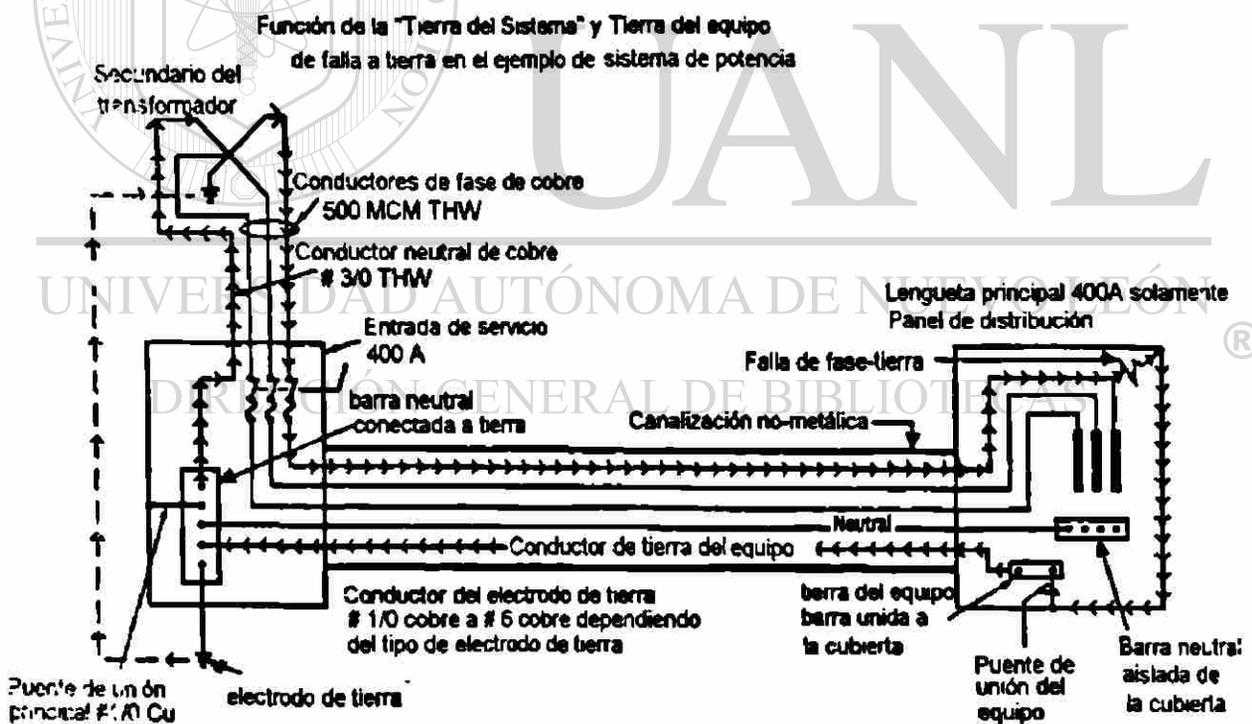


Figura 7-3 Condiciones que predominan en un sistema de potencia

De acuerdo al Código Nacional Eléctrico, Sección 250-79(c), el Punteo de Unión Principal debe ser calibrado de acuerdo a la Tabla 250-94.

Este debe ser o un cable #1/0 AWG de cobre o un conductor de aluminio #3/0 AWG. Sin embargo, la Sección 250-51(2) expresa:

“El paso a tierra de los circuitos, equipos y las envolturas metálicas de los conductores deberá tener amplia capacidad para conducir con seguridad cualquier corriente de falla que le sea aplicada”.

Para satisfacer esta condición, puede ser necesario incrementar el calibre del conductor a tierra dado en la Tabla 250-94 o limitar la corriente de falla que pueda ser aplicada en el conductor. Si el electrodo de tierra es un tubo metálico de agua soterrado o un tubo metálico de agua correctamente conectado a tierra o una estructura de un edificio correctamente conectada a tierra, el calibre correspondiente al conductor del electrodo de tierra de un sistema CA con o sin conexión a tierra no será menor del indicado en la Tabla 250-94. Sin embargo si el único electrodo de tierra disponible es una varilla enterrada u otro electrodo “fabricado”, puede ser tan pequeño como un cable #6 AWG de cobre. (ver excepción No. 1(a), Sección 250-94.

La tabla 250-95, permite que el conductor de conexión a tierra del equipo del panel de distribución tenga un calibre tan pequeño como #3 AWG de cobre.

El calibre del conductor del electrodo de tierra podría ser aumentado para que satisfaga a las Secciones 110-10, 250-5(2) y 250-75.

La Sección 110-10 es un requisito general el cual establece que las impedancias del circuito y los dispositivos de protección sean coordinados de tal manera que no sea causado ningún daño excesivo a los componentes eléctricos del circuito bajo condiciones de falla.

Las Secciones 110-10, 150-5(2) y 250-75, requieren que la corriente de falla disponible sea conocida y que las características de

operación de los dispositivos de protección junto con los calibres del conductor de conexión a tierra sean coordinadas para que sean consistentes con la corriente de falla disponible.

La trayectoria de la corriente de falla a tierra es, desde la cubierta, a través del puente de unión a la barra colectora del equipo, luego a través del conductor de conexión a tierra del equipo, a la barra colectora de tierra a la entrada de servicio, y a través del conductor neutro, al secundario del transformador conectado a tierra. Debido a la alta impedancia de la trayectoria en paralelo a tierra impuesto por los electrodos enterrados, solo una pequeña corriente de falla fluye por el electrodo de tierra del equipo de servicio de entrada y luego por medio de la tierra de regreso al neutro del transformados conectado a tierra. Por lo tanto, es adecuado un conductor #6 AWG de cobre como conductor del electrodo de tierra.

Los fabricantes de alambres y cables pueden proporcionar datos que muestran las capacidades y los límites de operación tiempo/corriente de los conductores de cobre y aluminio en su línea de productos. Si no puede ser proporcionada una protección que sea congruente con la corriente de falla y el tiempo de disipación de falla disponibles, será necesario aumentar el tamaño de los conductores de conexión a tierra.

Una alternativa sería usar fusibles de corrientes límites o interruptores automáticos de corrientes límites -con el conductor de fase- para limitar la corriente de falla que será aplicada sobre el conductor de conexión a tierra.

Al diseñar sistemas eléctricos de distribución para los modernos sistemas electrónicos, **EL CONDUCTOR DE TIERRA DE SEGURIDAD (conductor de conexión a tierra) NUNCA DEBE SER MENOR QUE LOS CONDUCTORES DE LÍNEA.**

Siempre se especifica como mínimo que los conductores de conexión a tierra sean del mismo tamaño AWG que los conductores de línea.

7.1.5 COLOR DEL CONDUCTOR DE CONEXIÓN TIERRA

El conductor de conexión tierra -si no es desnudo- debe ser identificado ya sea con un color verde continuo o con un color verde continuo y una o mas rayas amarillas. El color es especificado en las Secciones 210-5(b), 250-75(b) y 310-12(b) del Código Nacional Eléctrico.

La Sección 250-57(b) también permite identificar el conductor de las siguientes formas:

- a) quitando el aislamiento del conductor en la longitud expuesta
- b) coloreando el aislamiento expuesto o cubriéndolo de verde
- c) marcando los extremos expuestos con una cinta verde o etiquetas adhesivas de color verde.

EXCEPCIONES 1 Y 3 DE LA SECCIÓN 250-57(B).

La cinta verde es la práctica más común para conductores de tamaños grandes.

7.2 NEUTRO (Conductor Conectado a Tierra)

7.2.1. PROPÓSITO

El conductor neutro está designado como un conductor que transporta corriente. El conductor neutro proporciona la trayectoria de retorno para la corriente del sistema monofásico de distribución eléctrica. Es la trayectoria de regreso para corrientes de línea desequilibradas en los sistemas de fases divididas o en sistemas trifásicos conectados en estrella.

Toda la corriente de línea o (viva), de un sistema monofásico debe retornar por el conductor neutro.

En un sistema Bifásico -2 conductores de línea y uno neutro-, o en un sistema trifásico en estrella -3 conductores de línea y uno neutro- que alimentan cargas lineales -motores, calentadores, etc.-, las corrientes de retorno detectables en el neutro resultarán de un desequilibrio en la carga o corriente de los conductores de línea. Si la corriente que fluye en cada uno de los conductores de línea es la misma, la suma vectorial de éstas 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 conductor 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 de línea desequilibradas.

El conductor neutro es llamado "el conductor conectado a tierra" en el Código Nacional Eléctrico. Éste conductor neutro debe unirse al conductor del electrodo de tierra en la fuente de potencia eléctrica de la planta (ver Figuras 6-4 a 6-6).

El conductor del electrodo tierra es unido a la barra del neutro en el Panel Principal de Distribución de Servicio a la entrada de servicio eléctrico del edificio. Ésto está documentado en la Sección 250-23 del Código Nacional Eléctrico.

Ésta sección también especifica que:

"no se hará ninguna conexión de puesta a tierra a ningún conductor de circuito conectado a tierra en el lado de carga del medio de desconexión de servicio o acometida". El conductor del circuito "conectado a tierra" es el "conductor neutro", y el "medio de desconexión de servicio" es el "Panel Principal de Distribución". Esto indica que el CONDUCTOR NEUTRO PUEDE TOCAR TIERRA EN ESTE SOLO PUNTO EN CUALQUIER SISTEMA ELÉCTRICO.

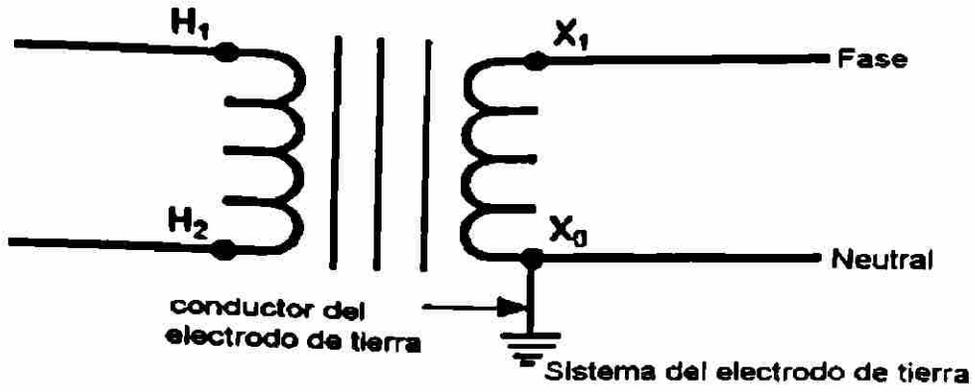


Figura 7-4 Carga Monofásica

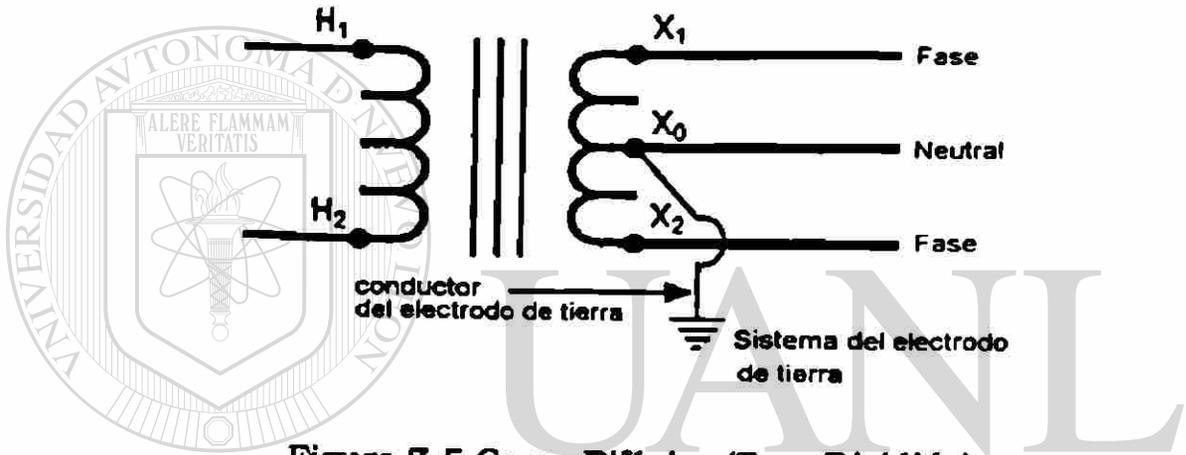


Figura 7-5 Carga Bifásica (Fase Dividida)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

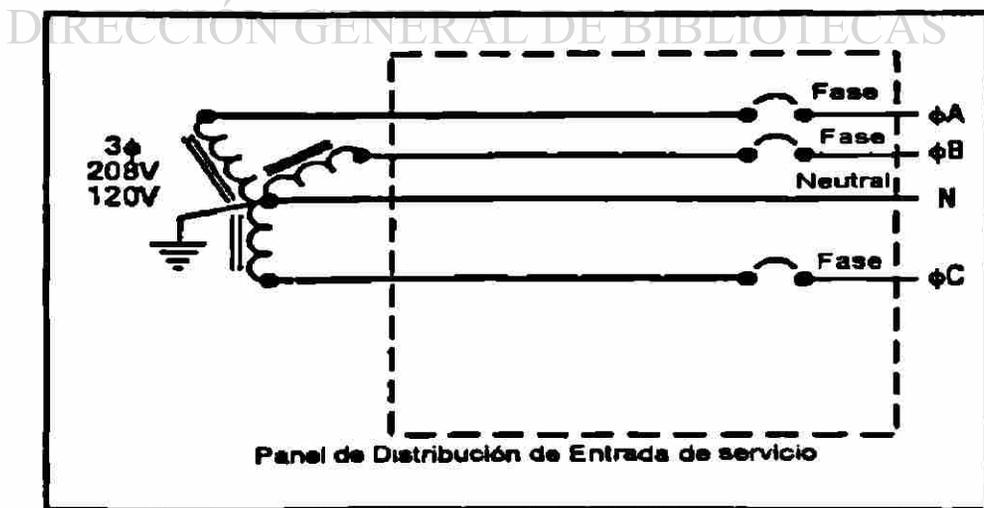


Figura 7-6 Carga Trifásica

La única exención permitida se describe en la Sección 250-23, cuando el transformador que alimenta se encuentre localizado en la parte exterior del edificio, se hará por lo menos una conexión a tierra desde el conductor puesto o conectado a tierra de la acometida, a un electrodo de puesta a tierra ya sea en el transformador o en cualquier otra parte fuera del edificio (ver Figura 6-3)

7.2.2 CONEXIÓN A TIERRA DEL CONDUCTOR NEUTRO

La instalación de cualquier transformador después del medio de desconexión de servicio establece un "SISTEMA DERIVADO SEPARADAMENTE" (Secciones 250-5(d) y 50-26 del Código NEC).

Si el secundario de la Fuente Derivada Separadamente tiene un neutro, éste nuevo neutro debe ser unido al sistema electrodo a tierra del edificio, a un conductor de electrodo de tierra, en el punto más práctico y más cercano. Éste conductor del electrodo de tierra proporcionado para el nuevo secundario del transformador, debe ser también conectado al sistema de electrodo a tierra del edificio.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
TODOS LOS SISTEMAS ELECTRODO DE TIERRA DENTRO DE
UN EDIFICIO DEBEN ESTAR UNIDOS CONJUNTAMENTE.

Secciones 250-81 y 250-83 del NEC.

Si un conductor neutro es conectado a tierra en cualquier lugar que no sea la fuente de potencia, intencional o accidentalmente, fluirá en el conductor de conexión a tierra una porción de la corriente del neutro (retorno). En lugares donde son usados conductos como conductores de conexión a tierra, ésta corriente fluirá en el conducto y en los paneles de distribución. Existirá una condición potencial de peligro ya que se generará un voltaje en el conductor de conexión a tierra, en el conducto o en el panel.

Éste voltaje será igual a la cantidad de corriente en la tierra, multiplicado por la impedancia de la trayectoria de tierra desde el punto de conexión a tierra a la X_0 de la fuente. El voltaje resultante podría transmitir una corriente a través del cuerpo humano que puede fluctuar entre “ninguna sensación”, a “sensación de cosquilleo” o a “letal

7.2.3 CÁLCULO DEL NEUTRO PARA CARGAS LINEALES

Calcular conductores neutros es muy importante. La Sección 250-23 (b) del Código Nacional Eléctrico requiere que el conductor neutro que alimenta al equipo de servicio de entrada -entre los transformadores de la central y el panel principal de distribución- no sea más grande que el conductor del electrodo de tierra especificado en la Tabla 250-94.

Para conductores de línea a la entrada de servicio de un tamaño superior a 1100 kcmil cobre o 1750 kcmil aluminio, el conductor neutro o conectado a tierra, debe tener una sección de corte transversal igual o superior a 12.5% del área del conductor más grande de línea del servicio de entrada. Ésto permite calcular el conductor neutro para una capacidad inferior a un 30% de la capacidad de corriente de cualquiera de los conductores de línea. No hay ninguna excepción para cargas no lineales en esta sección del Código Nacional Eléctrico.

La Sección 220-22 del Código permite que el “NEUTRO DE ALIMENTADOR” -entre el panel principal de distribución o un sistema derivado separadamente y la rama final del circuito de dispositivos para sobrecorrientes- sea calculado a sólo un 70% de la capacidad de corriente del conductor de línea. Sin embargo, ésta sección también declara que “no habrá reducción alguna de la capacidad del neutro para aquella porción de la carga que consista de alumbrado mediante descarga eléctrica (fluorescente), equipo de computadoras electrónicas, procesamiento de datos o equipo similar, y alimentado por un sistema de 3-fases, 4 hilos conectado en estrella”.

El cambio hecho al Código que incluye "procesamiento de datos y equipo similar" -cargas no lineales- se inició en la edición de 1987 del Código.

El vocablo "computadora electrónica" fue añadido en al edición de 1990.

En el artículo 310 del Código, después de la Tabla 210-19, hay una Sección titulada "NOTAS A LAS TABLAS DE AMPACIDADES DE 0 A 2000 VOLTS". En ediciones anteriores, ésta sección se titulaba "Notas a las Tablas 310-16 a las Tablas 310-19".

La Nota 310(c) de ésta sección requiere que el neutro de un sistema trifásico de 4 hilos conectado en estrella, sea considerado como un conductor que transporte corriente, "cuando la mayor parte de la carga consista de cargas no lineales tales como de alumbrado del tipo de descarga eléctrica, computadoras electrónicas/procesadora de datos, o equipo similar, estarán presentes corrientes armónicas en el conductor neutro". Ésta nota ha permanecido en su presente vocablo desde la edición de 1981 del Código Nacional Eléctrico.

Factores de ajuste

- a) Más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, conducto. Cuando el número de conductores portadores de corriente en una canalización o cable excede de tres, las ampacidades permisibles se reducirán tal como se indica en la siguiente tabla:

Número de Conductores Portadores de Corriente	Por ciento de valores dados en las Tablas Ajustados para la Temperatura Ambiente De ser Necesario
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
Mas de 40	35

Conductor Neutro

- a) Un conductor Neutro que sólo lleva la corriente desbalanceada de otros conductores del mismo circuito no necesita tomarse en cuenta al aplicar las disposiciones de la NOTA 8.
- b) En un circuito trifilar de un sistema de cuatro- hilos trifásico, conectado en estrella (Y) que consiste de conductores de dos fases y el neutral, el conductor lleva aproximadamente la misma corriente que los otros conductores y será tomado en cuenta al aplicar las disposiciones de la NOTA 8.
- c) Cuando un circuito trifásico de 4 hilos conectados en estrella, y la mayor parte de la carga consiste de cargas no lineales tales como de alumbrado de tipo de descarga eléctrica, computadora electrónica/procesadora de datos, o equipo similar, estarán presentes corrientes armónicas en el conductor neutral, en ese caso, será considerado como un conductor portador de corriente.

Notas 310-16

7.2.4 CÁLCULO DEL NEUTRO PARA CARGAS NO - LINEALES

Para estar en conformidad al Código NEC, cuando se alimentan cargas no-lineales tales como impulsadores de microprocesadores, computadoras, equipo computarizado, procesamiento de datos o equipo similar, el neutro debe ser del mismo calibre AWG que los conductores de línea. La capacidad de corriente de operación de los conductores de línea y neutro debe ser ajustada a un 80% de la capacidad de corriente listada para que cumpla con los requerimientos de la Nota 8 de éstas nota.

Por ejemplo, un conductor de tamaño AWG #8 de cobre con aislamiento THW con una capacidad de servicio de 50 amperes, cuando alimenta una carga trifásica lineal balanceada de 4-hilos (Tabla 310-16)-.

El neutro no debe considerarse como conductor portador de corriente en éste caso. Sin embargo, si la carga es una carga no-lineal,

el cable #8 debe ser bajado a un 80%, de su capacidad. Para el ejemplo: 40 amperes.

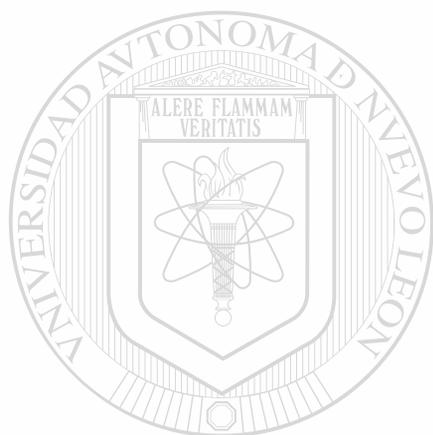
$$(50 \text{ A})(80\%) = 40\text{A.}$$

Para alimentar una carga de 50 amperes debe utilizarse el conductor de tamaño siguiente superior. Un conductor #6 AWG de cobre con aislamiento THW de capacidad de 65 amperios en la Tabla 310-16. Ajustando la capacidad un 80% reduce la corriente a 52 amperes, la cual, es suficiente para cumplir con el requisito original de conductor de 50 amperes de capacidad. Cuando el tamaño de los cables es incrementado de #8 AWG a #6 AWG, no pueden caber en el conducto del mismo tamaño el circuito de 3 hilos -conductores trifásicos, el conductor neutro y un conductor de conexión a tierra-. La Tabla 2 en el capítulo 9 del Código Nacional Eléctrico permite sacar 5 conductores #8 THW en un conducto de 1 pulgada pero solo 4 conductores #6 THW.

El tamaño del conducto debe ser aumentado a 1 ¼ pulgadas para cumplir con la Tabla 2. De acuerdo a esta Tabla un conducto de 1 ¼ pulgadas puede llevar 7 conductores #6 aislados THW.

En el conductor neutro de un sistema eléctrico trifásico de 4 hilos, fluyen las corrientes armónicas generadas por cargas no-lineales. La corriente máxima teórica generada por estas cargas puede estar entre 1.73 veces y 3 veces la corriente de línea. Por consiguiente, en lugar de usar un conductor neutro de tamaño completo como indica el Código, el neutro debe ser de un calibre tal que pueda soportar 2 o 3 veces la corriente de los conductores individuales de línea. Para el requisito de 50 amperes que se usó en el ejemplo anterior, el conductor neutro debería ser calculado para 100-150 amperes. Aplicando el factor de ajuste del 80% a estas corrientes daría $(100/0.8 = 125)$ y $(125/0.8 = 188)$ amperes. Otro método será bajar de capacidad el conductor de línea a #6 AWG como en el ejemplo y multiplicar los 65 amperes de capacidad del Num. 6 AWG por 2 o 3 veces para producir el requisito de

130 y 195 amperes. Refiriéndonos de nuevo a la Tabla 310-16, el conductor neutro debe ser ahora un conductor #1 AWG de cobre con aislamiento THW multiplicado por 2 o un conductor #1-0 AWG de cobre THW multiplicado por 3. El mismo tamaño de conector neutro se logra usando cualquiera de estas dos técnicas de ajuste. Para suministrar un servicio de 50 amperes a una carga no-lineal requiere correr 4 conductores #6 AWG aislados THW (# conductores de fase y el conductor de conexión a tierra) y 1 conductor neutro ya sea un #1 o #1/0 AWG, aislado THW, entre el panel de distribución y la carga.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 310-16. Amperidades Permitibles de Conductores Aislados
Capacidades de 0-2000 voltios, 60°C hasta 90°C (140° a 194°F)
No Más de Tres Conductores en Canalización o Cable o en Tierra
(Directamente Enterrado), Basadas en Temperaturas Ambientales de 30°C (86°F)

Calibre o Tamaño	Capacidades de Temperatura de Conductores, vease Tabla 310-13						Calibre o Tamaño
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (184°F)	
	TIPOS TW†, UF†	TIPOS FEPW†, RHT, RHW†, THHW†, THW†, THWN†, XHHW†, USE†, ZW†	TIPOS TA, TBS, SA, SIS, FEP†, FEPB†, LB, RHT, RHW-2, THHW†, THHW†, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW†, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW†, UF†	TIPOS RHT, RHW†, THHW†, THW†, THWN†, XHHW†, USE†	TIPOS TA, TBS, SA, SIS, THHW†, THHW†, THW-2, THWN-2, RHT, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINO CON REVESTIMIENTO DE COBRE			
18	---	---	14	---	---	---	---
16	---	---	18	---	---	---	---
14	20†	20†	25†	---	---	---	---
12	25†	25†	30†	20†	20†	25†	12
10	30	35†	40†	25	30†	35†	10
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	390	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	388	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

FACTORES DE CORRECCION							
Temp. Ambiental °C	Para temperaturas ambientales, (exceptuando la de 30°C (86°F)) multiplíquese las amperidades indicadas arriba por el factor apropiado indicado abajo						Temp. Ambiental °F
71-75	1.08	1.06	1.04	1.08	1.05	1.04	70-77
26-30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78-84
31-35	.91	.94	.96	.91	.94	.96	87-95
36-40	.82	.88	.91	.82	.88	.91	96-104
41-45	.71	.82	.87	.71	.82	.87	105-113
46-50	.58	.75	.82	.58	.75	.82	114-122
51-55	.41	.67	.78	.41	.67	.78	123-131
56-60	---	.58	.71	---	.58	.71	132-140
61-70	---	.35	.58	---	.35	.58	141-158
71-80	---	---	.41	---	---	.41	159-176

*A menos que se permita específicamente de otra manera en este Código, la protección contra sobrecorriente para los tipos de conductores marcados con un obelisco (†), no excederá de 15 amperios para el Núm. 14, 20 amperios para el Núm. 12, y 30 amperios para el Núm. 10 (todos en cobre). Para aluminio y aluminio con blindaje de cobre, la protección máxima contra sobrecorriente será de 15 amperios para el Núm. 12 y 25 amperios para el Núm. 10 después de aplicar cualesquiera de los factores de corrección para temperatura ambiente y número de conductores.

Tabla 310-16

7.2.5 COLOR DEL CONDUCTOR NEUTRO

Las Secciones 200-6, 210-5(a) y 310-12(a) del código NEC requieren que el conductor neutro o conductor conectado a tierra, sea identificado ya sea con color gris o color blanco. La identificación se puede efectuar con un aislamiento de color gris continuo o una cinta de color gris envuelta alrededor del aislamiento del conductor a cada extremo de dicho conductor.

7.3 SISTEMAS EUROPEOS DE PROTECCIÓN TIERRA/NEUTRO

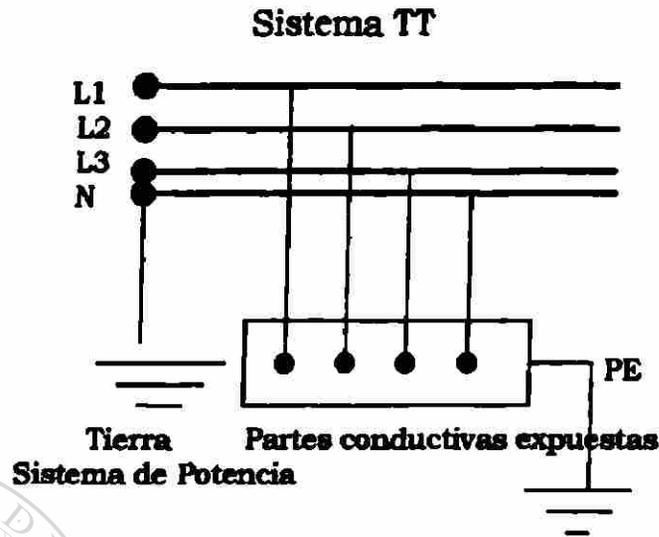
Se debe recalcar que la protección del sistema neutro a tierra no es universalmente usada en todo el mundo. En Europa, especialmente en Francia, se utiliza un sistema "IT" -sistema de la Figura 7-7 A- donde se permite que el retorno a la fuente de potencia pueda flotar (sin conexión a tierra), o es conectado a tierra por medio de alta impedancia.

Una falla de "línea a tierra", no causa un problema de interrupción hasta que una segunda falla a tierra ocurra en otra línea o fase, o en un conductor de retorno. Un retorno de alto voltaje a tierra indica la presencia de una falla a tierra que puede ser detectada lo mismo que pueda activar el disparo de un interruptor automático de corriente para que desconecte el sistema.

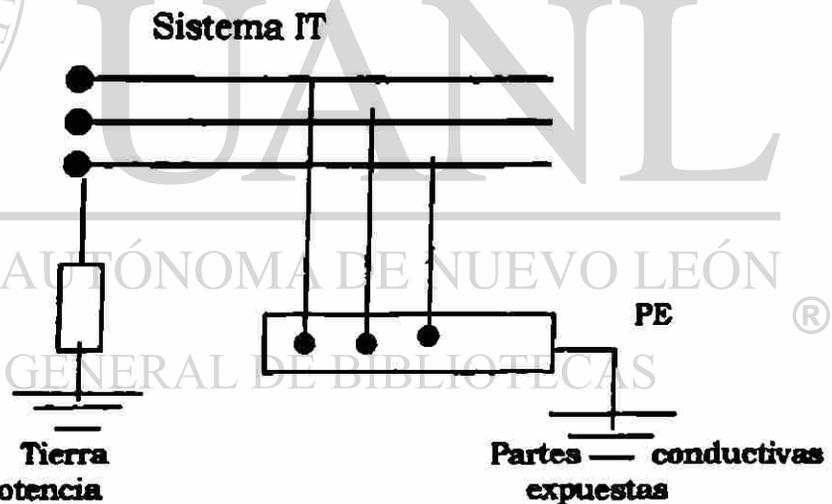
De la misma forma los "detectores de la suma de corrientes de falla a tierra", pueden identificar la rama del circuito en falla y disparar el interruptor automático de seguridad correcto.

Otro esquema es el sistema "TT" donde la fuente de potencia y de carga son independientemente conectadas a tierra por medio de sus respectivas conexiones a tierra (Figura 7-7 A). Una falla a tierra no crearía suficiente corriente de falla para asegurar la operación del fusible protector o el interruptor automático de circuito para sobrecargas. Sin embargo, un

“detector de fallas a tierra” puede ser usado para detectar la falla y disparar el interruptor automático de seguridad del circuito.



El sistema TT tiene un punto directamente aterrizado, las partes conductivas expuestas de la instalación siendo conectadas a electrodos de tierra eléctricamente independiente del electrodo de tierra del sistema.



Este sistema de Potencia no tiene conexión directa entre las partes energizadas, las partes conductivas expuestas de la instalación eléctrica son conectadas a tierra.

Figura 7-7 A

Métodos Europeos de Conexión a Tierra

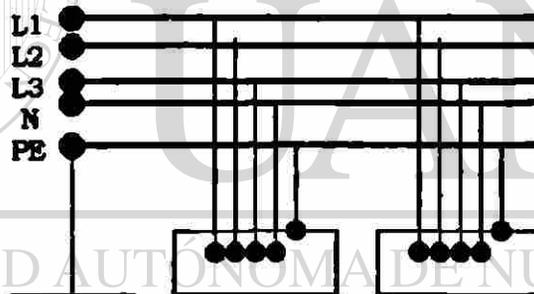
El sistema a tierra predominante en Europa y en el Reino Unido, es el sistema “TN-S” de la Figura 7-7 B. Igual que el método usado en EE.UU. y Canadá, este esquema utiliza una fuente de potencia

conectada a tierra con la armazón de la carga conectada a tierra directamente, por medio de un conductor de seguridad separado, al neutro de la fuente de energía.

El sistema "TNC-S" combina las funciones protectoras en una parte de la distribución y el sistema "TN-C" combina las funciones protectores a lo largo de la distribución.

El código para el color de conductores también difiere en otros países. Mientras que el color del neutro en los EE. UU. y en Canadá es gris o blanco, en otros países tales como en El Reino Unido el color requerido es negro. Se debe verificar el Código Eléctrico de otros países cada vez que se efectúe un trabajo fuera de los EE. UU.

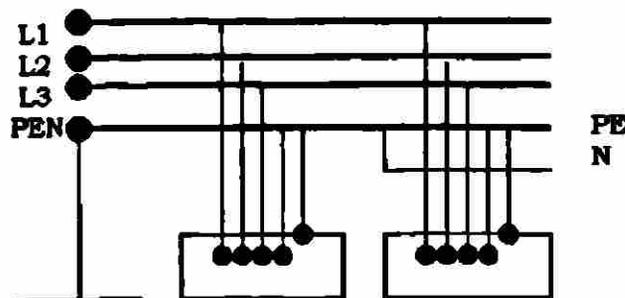
***Sistema TN-S, el neutro y conductores de protección separados a través del sistema.**



Tierra
Sistema de Potencia

Partes conductivas expuestas

***Sistema TN-C-S. El neutro y funciones de protección combinadas en un solo conductor en una parte del sistema.**



Tierra

Partes Conductivas expuestas

***Sistema TN-C. El neutro y funciones de protección combinadas en un conductor a través del sistema.**

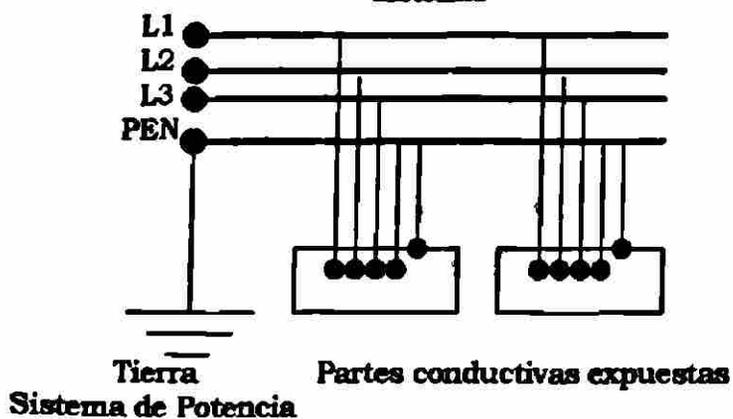
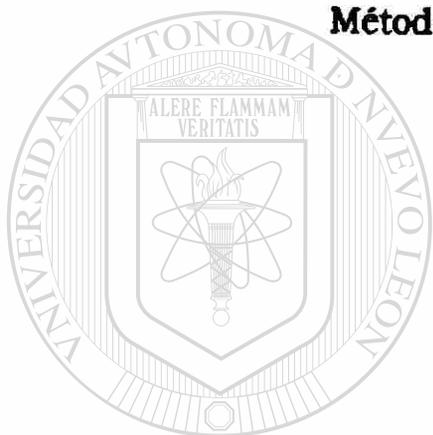


Figura 7-7 B
Método Europeo de Conexión a tierra



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

8 TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE C.C.

8.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En ésta sección se especifican los requisitos para la protección de personal y equipo energizado por rectificadores, bancos de baterías o generadores de C.C.

La oficina central telefónica, los sistemas remotos digitales de conmutación y los sitios celulares son parte de esta categoría.

Los sistemas de conexión a tierra en un solo punto minimizan los efectos de las perturbaciones eléctricas que podrían causar daños a los equipos digitales de conmutación.

Durante perturbaciones eléctricas, las perturbaciones de voltaje pueden variar grandemente en puntos diferentes en el sistema de tierra de la oficina central. Si los gabinetes energizados con corriente continua están unidos en varios puntos a lo largo del sistema, pueden generarse potenciales de voltaje entre el equipo interconectado. Pueden ocurrir daños cuando estos potenciales de voltaje fuerzan el flujo de corriente sobre el cableado de señales y finalmente a través del sensitivo circuito digital. Al conectar a tierra todo el equipo de la oficina central a un solo punto, se minimizará el daño de los potenciales de voltajes.

Un solo punto de conexión a tierra en la oficina central se logra conectando todos los elementos de tierra a una barra de cobre llamada Barra Principal de Tierra (MGB<Main Grounding Bar>).

Una **Zona aislada de tierra** (IGZ<Insulated Grounding Zone>) contiene equipo sensitivo digital aislado de todas las tierras externas a excepción de una conexión única que se hace a una barra de cobre llamada Barra de Ventana de Tierra (GWB<Grounding Window Bar>). La relación entre esta barra y la barra MGB se muestra en la Figura 8-1.

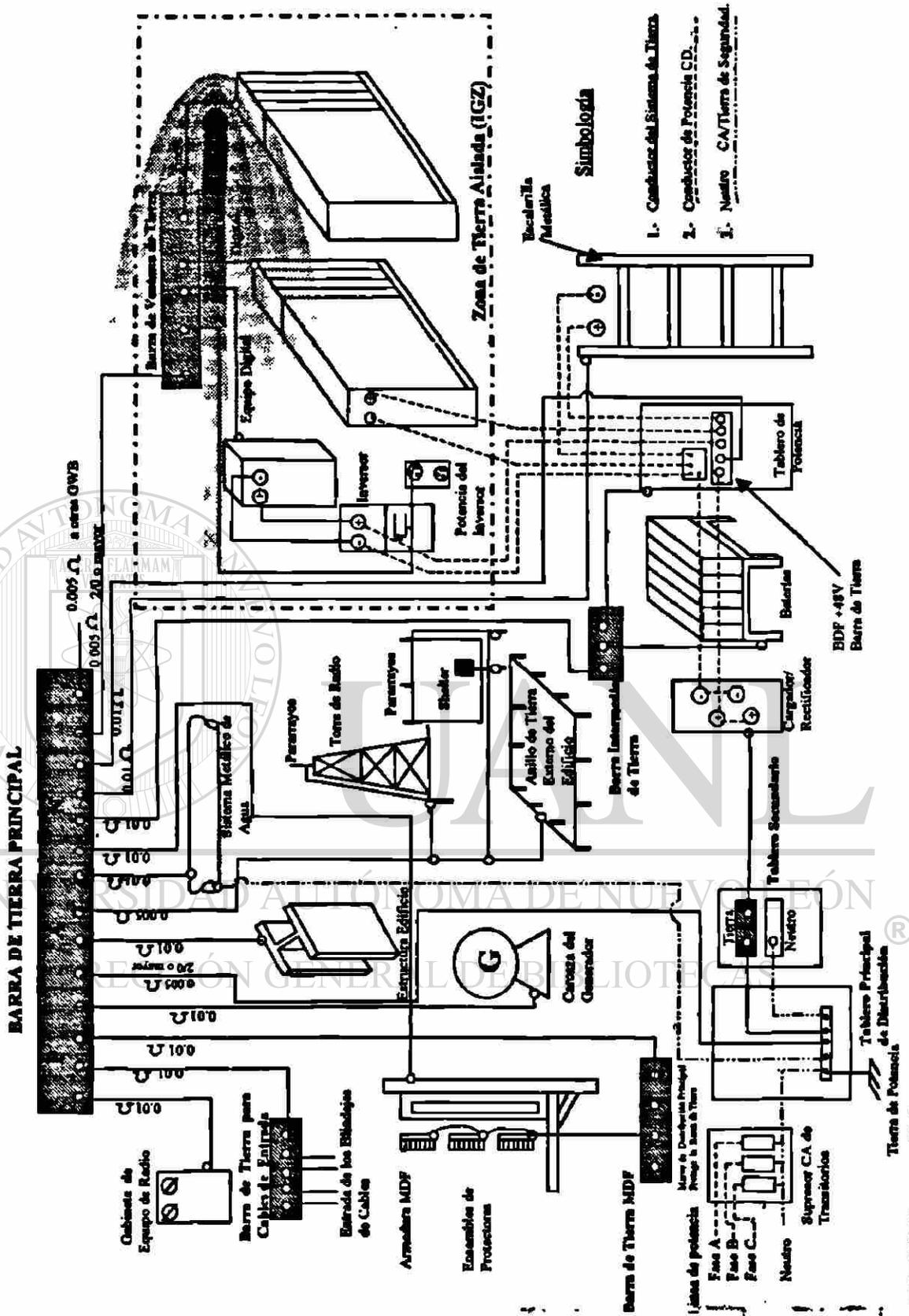


Figura 8-1.- Diagrama de tierra para el sistema digital de control oficina central

Para aclarar este concepto, definiremos como productores de sobrevoltajes transitorios aquellos objetos metálicos los cuales proveen una trayectoria conductiva para las descargas atmosféricas o sobrevoltajes transitorios de línea al edificio de la oficina central.

Ejemplos de productores de sobrevoltajes transitorios son las torres de radio/microonda, blindaje o corazas de cables, pares de cables y conductores de energía.

Los absorbedores de sobrevoltajes transitorios son aquellos elementos de un sistema de tierra de una oficina central, que proveen una trayectoria de baja impedancia a tierra.

Ejemplo de absorbedores de sobrevoltajes transitorios son: el campo de tierra de la oficina central, sistemas metálicos de agua, tierra de potencia de CA y la estructura de acero del edificio.

8.1.1 CAMPO DE TIERRA DE LA OFICINA CENTRAL

El campo de tierra de la oficina central puede ser el único absorbedor de sobrevoltajes transitorios bajo el total control del edificio.

La resistencia a tierra de este campo debe ser igual o menor de 5 ohms. Sin embargo, muchas centrales telefónicas exigen una resistencia máxima a tierra de 1 ohm. Como cualquier otro factor de ingeniería aplicada para el diseño de la oficina central, el campo de tierra debe ser bien planeado y documentado.

Antes de una instalación, es necesario determinar todos los factores tales como:

- la resistividad de la tierra
- el área de tierra disponible
- la profundidad de tierra antes de encontrar rocas, piedras o arena.

Generalmente se recomienda un anillo de tierra enterrado al menos 2.5 pies de la superficie del suelo, alrededor de las bases del

edificio (ver Figura 8-2). La aplicación de químicos para tratar el suelo se debería usar solamente en determinados casos, cuando los métodos convencionales de tierra son inadecuados, ya que estos tratamientos químicos no son permanentes y deben ser renovados periódicamente.

Todas las conexiones bajo tierra asociadas con el campo de tierra a la barra principal de tierra deben ser continuas. Si el empalme de este cable no se puede evitar entonces los empalmes enterrados deben ser soldados exotérmicamente a menos que lo prohíba el código local. Los conectores metálicos deben ser del tipo de diseño abrazadera de presión.

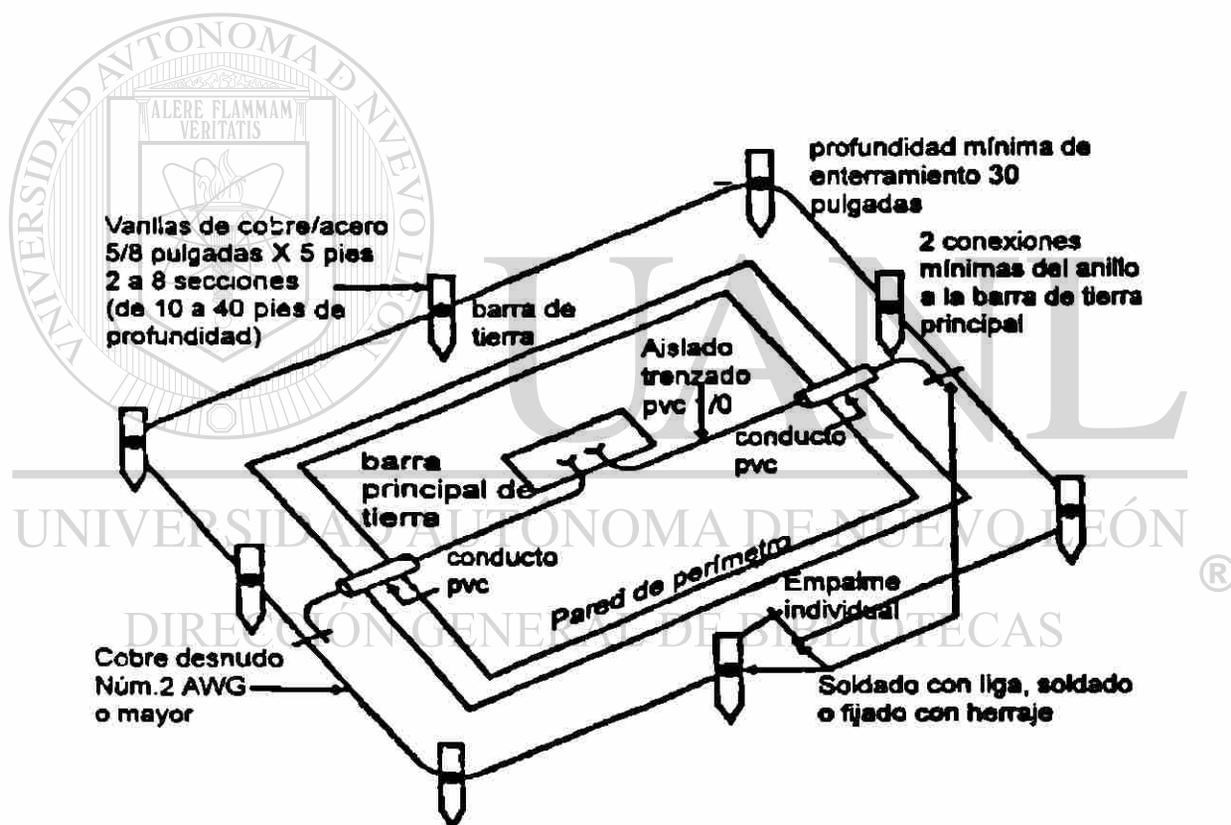


Figura 8-2 Campo de Tierra de la Oficina Central

Las torres de radio y los sistemas para rayos de atracción/disipación deben ser conectados a tierra a campos de tierra separados y exclusivos. Debe ser proporcionada una unión afuera del edificio de la oficina central, desde estos campos dedicados al campo de

tierra de la oficina central. Como se muestra en la Figura 8-3, los extremos de los conductores unidos al conductor del campo de tierra de la oficina central, deben tener una dirección hacia el campo de tierra para reducir la posibilidad de centelleo.

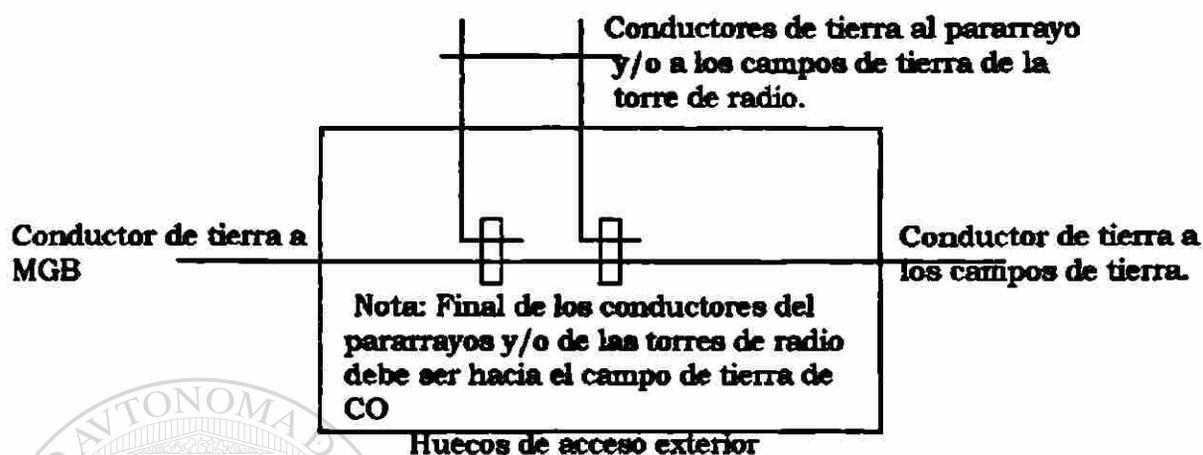


Figura 8-3 Conexiones de los Conductores de Tierra

8.1.2 BARRA PRINCIPAL DE TIERRA (MGB< Main Grounding Bar>)

La Barra Principal de Tierra, Figura 8-4, es el centro de actividad del sistema de tierra de la oficina central. Es el punto común de la conexión para los productores de sobrevoltajes transitorios (P_T) y los absorbedores de carga (A_T), lo mismo que para las tierras de los equipos de ambas áreas las No-Aisladas (N_i) y las Aisladas (I). La Barra Principal de Tierra MGB es una barra de cobre que está aislada de su soporte y ubicada afuera del área IGZ. Sus dimensiones mínimas son 18 pulgadas de largo por 3 pulgadas de ancho y $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor. La Barra Principal de Tierra MGB se monta generalmente en la pared en el sitio donde proporcionará la vía o ruta mas directa del conductor de campo de tierra de la oficina central. Todos los terminales a la Barra Principal de Tierra MGB deben ser conectados al conductor por medio de sujetadores del tipo de lengüetas de dos pernos que tengan conexión de compresión o soldadura exotérmica con el conductor.

La configuración de la unión a la Barra Principal de Tierra MGB que se muestra en la Figura 8-4, facilita la concentración y disipación de altas sobrecorrientes generadas afuera del cableado de la planta, equipo de radio, etc.- por medio de las secciones "P" y "A" de la barra. Esta mantiene el mismo potencial de voltaje a través de las secciones "N" y "I" de la Barra Principal de Tierra MGB. La secuencia de la conexión es muy importante para la efectividad de la protección total y no debe ser alterada.

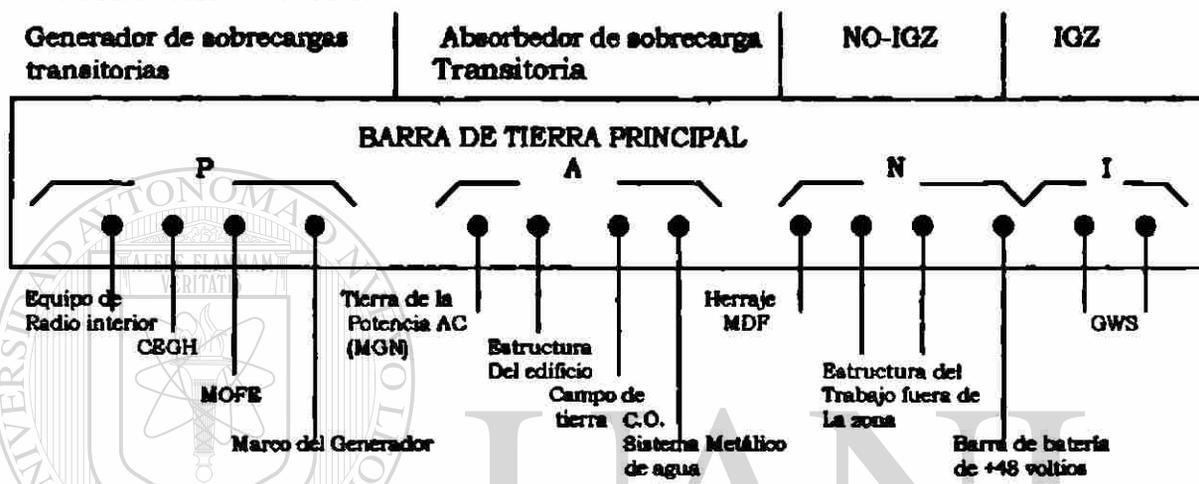


Figura 8-4 Barra Principal de Tierra (MGB)

El campo de tierra de la oficina principal y los sistemas metálicos de agua son considerados como absorbedores de sobrevoltaje transitorios primarios, debido a su trayectoria de baja impedancia a tierra. La resistencia del conductor desde la barra MGB al campo de tierra de la oficina central debe ser menor de 0.005 ohms.

La unión al sistema de agua de la oficina central es un requisito del Código NEC y lo califica como absorbedor primario de sobrevoltaje, si el sistema de agua incluye un tubo metálico que esté enterrado un mínimo de 10 pies.

La tierra del sistema de energía CA y la estructura de acero del edificio son considerados como absorbedores secundarios de sobrevoltajes transitorios, ya que son susceptibles a una elevación

considerable de potencial de tierra durante severas perturbaciones eléctricas. A este respecto, una tierra del sistema de CA puede aun invertir su papel convirtiéndose en un productor de sobrevoltajes transitorios. La resistencia del conductor desde la barra MGB hasta la tierra de potencia CA debería ser menor de 0.005 ohms y este es típicamente un conductor de calibre 2/0 AWG o mayor (ver la Figura 5-1).

Las torres de radio/microondas, blindajes de cables telefónicos, pares de cables de teléfono, protectores de sobrevoltajes transitorios instalados en la Armazón de Distribución Principal (MDF<Main Distribution Field) lo mismo que los conductores de potencia, todos son productores de sobrevoltajes transitorios y cualquier objeto que proporcione una trayectoria conductiva a las descargas atmosféricas o a las sobrevoltajes transitorios, debe tener referencia a la porción "P_T" de la barra MGB. Esto incluye la barra de tierra a la Armazón de Distribución Principal (MDFB) y la Barra de Tierra para Cables de Entrada (CEGB).

La sección "N" de la Barra Principal de Tierra MGB es el punto común de referencia a tierra, la referencia para todo el equipo a tierra no aislado. Las conexiones hechas a la sección "N" son para prevenir diferencias de voltaje entre los armarios metálicos del equipo y los gabinetes del área fuera de la Zona aislada de tierra IGZ. Todas las estructuras del equipo, el hierro de la barra Armazón de Distribución Principal MDF, armarios para cables, armarios para batería y otras superficies de metales expuestos, que podrían ser energizados, están unidos a la Barra Principal de Tierra MGB en este punto. La sección "N" es también el punto de referencia de tierra para la planta de potencia DC de la oficina central (+48 voltios de retorno).

La sección "T" de la Barra Principal de Tierra MGB es el punto principal de conexión para las tierras de la Zona aislada de tierra IGZ. Esta tiene típicamente la menor variación de voltaje de las secciones de la barra Principal de Tierra MGB. Por consiguiente, las conexiones de la

barra GWB son hechas en esta sección de la Barra Principal de Tierra MGB.

8.1.3 ZONA AISLADA DE TIERRA (IGZ)

La Zona Aislada de Tierra se define como el área donde todo el equipo y sus componentes de hierro contenidos allí dentro están aislados de las otras tierras y sus conexiones a tierra, excepto una conexión única a la Barra de Ventana a Tierra (GWB).

Todo el equipo ubicado dentro de la zona IGZ flota a un potencial de voltaje igual al de la barra GWB debido a que es utilizado el concepto de "un solo punto de tierra". Cuando todas las cargas de la electrónica sensitiva operan al mismo potencial, ningún voltaje que cause daños puede ocurrir y aun más, las sobrecorrientes son eliminadas.

La armadura de todo el equipo ubicado dentro de la zona IGZ debe estar conectado a tierra por medio de una conexión a la Barra de Ventana a Tierra (GWB). La barra GWB esta ubicada en la zona IGZ y de la misma forma que la barra MGB, es de cobre y aislada de sus soportes.

La barra GWB debe estar conectada a la barra MGB por medio de un conductor de calibre 2/0 o mayor siguiendo la ruta mas directa. La resistencia total de esta conexión no debe exceder 0.005 ohms. Algunos fabricantes recomiendan la utilización de dos conductores paralelos uno junto al otro- para conectar la barra GWB a la barra MGB.

El equipo típico que se ubica dentro de la zona IGZ incluye:

- Conmutadores digitales
- Equipo de transmisión de fibras ópticas
- Multiplexores
- Equipo de transporte digital
- Inversores que proporcionan potencia CA dentro de la zona IGZ
- Armarios de cables ubicados dentro de esta zona.

Se prefiere que la zona IGZ sea ubicada en una sala separada. Esta puede consistir en un área físicamente separada, para proveer un espacio de separación mínima de 6 pies, del equipo ubicado en el área fuera de la zona IGZ.

Es importante mantener vigentes los procedimientos para el control de la estática en la zona IGZ para que tierras incidentales o extrañas no entren en contacto con el equipo dentro de esta zona IGZ excepto a través de la barra GWB.

Para mantener la integridad de la zona IGZ, todo el equipo dentro de esta zona debe estar eléctricamente aislado del piso, paredes y cielo raso. Esto incluye gabinetes de conmutadores digitales de patas no conductivas, armarios de reles aislados de piso y los pernos de anclaje, por medio de bujes no conductivos y armarios de cables aisladas de la pared, cielos rasos y de todos los puntos de contacto con los armarios de cables fuera de la zona IGZ. Algunos equipos de transmisión pueden tener "retorno de batería" internamente conectados a su chasis. Los equipos de este tipo deben estar eléctricamente aislados del armario donde estén montados, usando tornillos y herrajes no conductivos.

Es necesario utilizar inversores para proporcionar potencia CA dentro de la zona IGZ. Estos deben ser instalados físicamente dentro de la zona IGZ y la salida del inversor debe estar conectada a tierra en la barra GWB. Esto eliminará los potenciales de voltaje que pueden causar daños, los cuales pueden existir entre el equipo periférico energizado por una fuente comercial de CA y el equipo de conmutación digital. La integridad de la zona IGZ también se mantiene mientras haya adherencia al Código NEC. Si se van a ubicar en la zona IGZ tomacorrientes de CA alimentados por inversores, es necesario usar cajas no conductivas para los tomacorrientes. Pueden utilizarse Receptáculos Aislados de Tierra IG de color anaranjado para mantener la integridad de la zona IGZ. También hay que asegurarse de que el conducto metálico esté aislado del equipo IGZ.

8.1.4 ZONA A TIERRA NO AISLADA

El equipo ubicado fuera de los límites de la zona IGZ es típicamente de:

- Tratamiento para los circuitos electrónicos
- Transportador análogo
- Fuente de potencia
- Armazón de Distribución Principal (MDF)

Los armarios montados en la zona fuera de la zona IGZ deben ser aislados de todas las tierras a excepción de la conexión de regreso a la porción "N" de la barra MGB. Este aislamiento asegurará que el equipo no esté en la trayectoria de sobrevoltajes transitorios eléctricos que pueden desarrollarse a través de conexiones a tierra incidentales o desconocidas.

8.1.5 ARMAZÓN DE LA DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL

Se requieren consideraciones especiales en el punto MDF para controlar los sobrevoltajes transitorios y proporcionar protección al personal.

La barra MDF debe estar fuera de la zona IGZ. El conductor que conecta la barra de tierra MDF a la porción "P_T" de la barra MGB proporciona una trayectoria directa de baja impedancia para descargar los sobrevoltajes transitorios del protector. Los componentes de hierro deben estar conectados a la porción "N" de la barra MGB para protección del personal. Debe hacerse una conexión a tierra por cada 35 pies de longitud horizontal de la armazón. Se recomienda que una barra a tierra intermedia sirva como punto de conexión para los múltiples conductores a tierra del herraje de la barra MDF.

Los componentes de conexión a tierra de todos los elementos de ensamble de protección de la barra MDF deben estar aisladas del hierro de la barra MDF. Esto previene que las corrientes del protector de sobrevoltajes transitorios, fluyan a través del equipo de la oficina central por medio de los armarios de cables u otra conexión incidental al hierro de la barra MDF.

8.1.6 CABLES DE ENTRADA

La Barra de Tierra del Cable de Entrada (CEGB) es una barra de cobre, aislada de su soporte que sirve como punto de conexión a tierra para el lado de campo de todos los blindajes de los cables de entrada. La barra CEGB, debe estar ubicada de tal manera que el conductor de tierra individual #6 AWG para cada blindaje del cable de entrada sea corto y directo como sea posible, preferentemente cerca a los conductos de entrada. La Barra CEGB, como la barra MDF de tierra, deben estar conectadas a la sección "Pr" de la barra MGB.

Debe proveerse un aislamiento de separación mínimo de tres pulgadas en todos los blindajes metálicos de cable que entren a la oficina central. El propósito de este aislamiento es para dirigir los sobrevoltajes transitorios eléctricos que puedan estar presentes en el blindaje del cable exterior de la planta, a la barra CEBG en lugar que la barra de tierra MDF. Se instala con este propósito un cable de unión a la barra CEBG. El cable debe estar aislado de los armarios de soporte en todos los puntos de contacto para preservar el concepto de "un solo punto de contacto" y evitar cortos en el espacio intencional del aislamiento.

8.1.7 INSTALACIÓN DEL CONDUCTOR DE CONEXIÓN A TIERRA

Los conductores de conexión a tierra deben ser aislados y deben seguir la trayectoria más directa para minimizar la inductancia que impedirá las sobrecorrientes. Cualquier doblamiento del cable debe ser gradual. Algunos fabricantes proveen instrucciones relacionadas con el mínimo radio de curvatura.

Los conductores de tierra asociados con los productores de sobrevoltajes transitorios o los absorbedores de sobrevoltajes transitorios no deben ser colocados en proximidad y en paralelo a otros conductores de tierra, especialmente los de la zona IGZ.

Se debe evitar corridas de cable a través los armarios de cables o por el interior de cualquier componente de hierro y se deben utilizar conductos no metálicos.

Las conexiones a las barras MGB y GWB deben efectuarse con fijadores del tipo de dos pernos que tengan una conexión de compresión o de soldadura exotérmica (ver Figura 8-5).

Se recomienda usar una grasa anticorrosiva. Deben colocarse sobre los conductores de tierra rótulos o identificaciones permanentes para identificar su origen. Los conductores de tierra conectados a las barras MGB y GWB deben ser identificados en ambos extremos.

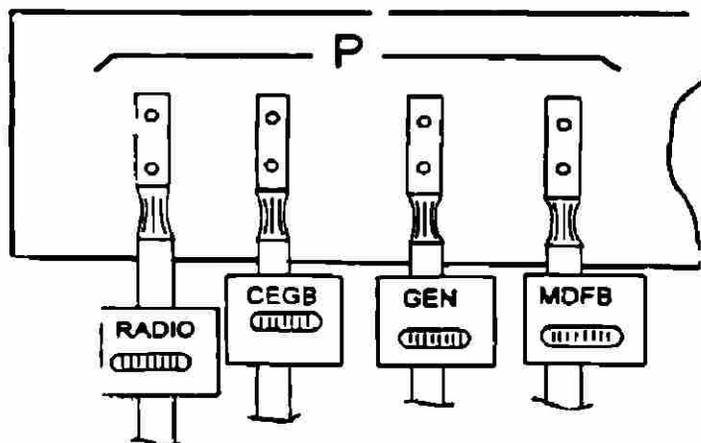


Figura 8-5 Conexiones a Tierra

La Tabla 8-1 provee las características de C.C. de un alambre de cobre sin aislamiento, a 68 grados Fahrenheit como ayuda para determinar la longitud y el calibre de un conductor de tierra que cumpla con los requisitos de la Figura 8-1.

La resistividad aumentará con el uso de alambre aislado y la impedancia total aumentará en la presencia de un lazo de tierra de C.A. y de sobrecorrientes de alta frecuencia.

Características de un alambre de cobre a 20° C/68°F										
Calibre del Conductor	AWG # 6		AWG # 4		AWG # 3		AWG # 2		AWG # 1	
Resistencia CC	4110/kf	1.348/km	.2548/kf	.8478/kf	.2050/kf	.6726/km	.1625/kf	.5331/km	.1289/kf	.422/km
.005Ω	12'	3m	19'	5m	24'	7m	30'	9m	38'	
.01 Ω	24'	7m	38'	11m	48'	14m	61'	18m	77'	

Características de un alambre de cobre a 20° C/68°F										
Calibre del Conductor	AWG 1/0		AGW 2/0		AGW 3/0		AGW 4/0		MCM 25	
Resistencia CC	.1022/kf	.3353/km	.0802/kf	.2631/kf	.0636/kf	.2087/km	.0505/kf	.1657/km	.0440/kf	.14/km
.005Ω	48'	14m	62'	18m	78'	23m	99'	30m	113'	
.01Ω	97'	29m	124'	38m	157'	47m	198'	60m	227'	

Características de un alambre de cobre a 20° C/68°F										
Calibre del Conductor	AWG 300		AGW 350		AGW 400		AGW 500		MCM 75	
	.0367/kf	.1204/km	.0314/kf	.1030/kf	.0275/kf	.0902/km	.0220/kf	.1657/km	.0147/kf	.04/km
.005Ω	136'	41m	159'	48m	181'	55m	227'	69m	340'	
.01Ω	272'	83m	318'	97m	363'	110m	454'	138m	680'	

Tabla 8-1 Longitud máxima del conductor para cumplir con los objetivos de resistividad del conductor de tierra.

8.2 APLICACIONES ESPECÍFICAS DE LAS TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA

8.2.1 TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA PARA DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS

Las descargas Electrostáticas (ESD), son como un rayo en miniatura. Si dos objetos se encuentran a diferentes potenciales de voltaje, cuando uno se acerca al otro o se tocan se produce una descarga eléctrica la cual equilibra la diferencia de voltaje.

Un operador de una computadora caminando por un piso alfombrado, puede acumular una carga eléctrica de varios miles de volts, diferentes de los del equipo de cómputo. De acuerdo al esquema del código NEC, la referencia del equipo de cómputo es la tierra del edificio. Si se le permite al operador entrar en contacto con el equipo, antes de descargarse a tierra, la energía electrostática será igualada a través del equipo por medio del teclado u otro componente de control. Si la trayectoria de descarga se efectúa a través de los componentes del circuito integrado (IC), el resultado puede variar entre la pérdida de datos o daño físico del circuito integrado.

Antes de permitir que el operador entre en contacto con cualquier equipo, la carga electrostática acumulada en el operador debe igualarse al voltaje de referencia del equipo de la computadora. Esto debe hacerse en el centro o sala de computadoras. Un "Tapete Antiestático" colocado a la entrada del centro o sala de computadoras y conectado a la tierra del edificio por medio del conductor de tierra de seguridad, puede ubicar al operario al mismo potencial de referencia de la computadora.

El operario puede de nuevo acumular cargas eléctricas cuando camine sobre el piso de la sala de la computadora aún si el piso tiene

cubierta de vinilo. Si la sala de computadoras está diseñada correctamente con un piso elevado, los componentes cuadrados del piso son sostenidos por medio de una estructura metálica soportada sobre pedestales metálicos. La estructura o marco metálico y los pedestales deben ser conectados a tierra de acuerdo a la Sección 250-44 (FNP) y la Sección 645-15 del Código NEC que establece **que los metales expuestos deben ser conectados a tierra**. La conexión correcta de las estructuras metálicas ayudará a mantener el voltaje del operario a un potencial de tierra igual al de la computadora mientras él se mueve dentro de la sala de computadoras.

Para asegurar una conexión correcta a tierra, hay que tener cuidado de asegurar que exista un contacto de metal a metal entre cada pedestal metálico y la estructura de soporte del piso y entre la estructura metálica y cada marco metálico que sostiene los cuadrados del piso. La estructura de soporte metálica del piso debe tener como referencia la misma unión neutro-tierra del equipo por medio de una configuración en "estrella". Varios conductores de tierra se conectan a la estructura del piso elevado y son unidos en cierto punto central debajo del piso. Este punto central de unión es conectado a la misma unión neutro-tierra que el equipo.

Una descarga electrostática contiene un gran nivel de ruido de alta frecuencia. Este ruido de alta frecuencia requiere una trayectoria de tierra que proporcione baja impedancia a frecuencias mayores. La utilización de cable de soldadura de múltiples hilos proporciona ésta baja impedancia en un amplio espectro de frecuencias. Estas altas frecuencias -a niveles bajos de megahertz- son conducidas en la superficie exterior de cada hilo del cable en un cable trenzado. El cable de soldadura proporciona cientos de hilos, lo que produce más área de superficie que los típicos conductores de siete hilos y por consiguiente una impedancia mucho más baja a las altísimas frecuencias que ocurren con las descargas ESD.

Considerando lo anterior, los conductores usados en la conexión a tierra en "Estrella" del piso elevado deberían ser Cables de Soldadura. El Cable de Soldadura también debería tenderse desde el punto común de la configuración estrella hasta el punto de unión neutro-tierra de la fuente derivada separadamente de la sala de computadoras.

8.2.1.1 CARGAS TRIBOELÉCTRICAS

Cuando ocurre un movimiento entre dos cuerpos, uno de los cuerpos pierde o gana electrones más fácilmente que el otro, particularmente si no son similares. Efectivamente, los electrones son desplazados o removidos de un cuerpo y transferido al otro. El cuerpo que pierde 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**. Cada cuerpo tiene un potencial electrostático que puede ser medido con un voltímetro electrostático. El voltaje generado puede variar entre 100 y 35,000 volts, como se muestra en la Tabla 8-2. Su amplitud depende de:

- la velocidad de movimiento o separación
- los tipos de materiales
- la humedad
- las características de la superficie
- la geometría de la superficie.

Medios de Generación de Estática	Humedad Relativa 10 a 20 %	65 a 90 % Humedad Relativa
Caminando a través de la alfombra	35000	1500
Caminando sobre piso de vinilo	12000	250
Operario en el banco e trabajo	6000	100
Sobres de vinilo para instrucciones	7000	600
Bolsa de poly levantada del banco	20000	1200
Silla de trabajo rellena con poly	18000	1500

Tabla 8-2 Voltajes Electroestáticos Típicos (DOD-HDBK 263)

8.2.1.2 RESISTIVIDAD DE LA SUPERFICIE

La resistividad de la superficie se usa comúnmente como el parámetro de medida de resistencia de los materiales laminados que tienen una superficie delgada conductiva sobre una base de aislamiento. Se usa para definir la resistividad de la superficie de los materiales conductivos tales como materiales higroscópicos, polietilenos antiestáticos, plásticos, y otros materiales de revestimiento conductivo o materiales laminados de aislamiento.

Las capas conductivas de estos materiales usualmente tienen un espesor casi uniforme, como la capa exterior del material higroscópico antiestática. La resistividad de la superficie no cambia efectivamente incrementando o disminuyendo el espesor de la base de aislamiento, si su volumen de resistividad es alto en relación al del material de la superficie conductiva.

De acuerdo a las especificaciones militares, la medición de la resistividad se usa para describir tres tipos de materiales usados para la protección contra las descargas electrostáticas (ESD): conductivos, disipativos y antiestáticos.

Los **materiales conductivos** tienen resistividad de superficie de 10^5 ohms por cm^2 o menor. Los metales, algunos plásticos conductivos

en grueso, materiales impregnados de alambres, y laminados, pueden adherirse a este requisito. Un material grueso conductivo con un volumen de resistividad de 10^4 ohms por cm^2 sería conductivo si su espesor fuera 0.1 cm o mayor. Tal material con un espesor menor de 0.1 cm, sin embargo, sería clasificado como **disipativo de estática**.

Los materiales **disipativos de estática** tienen resistividades de superficie mayores a 10^5 pero menor de 10^9 ohms por cm^2 . Algunos materiales normalmente considerados como conductivos pueden fabricarse muy delgados y tener resistividad entre 10^5 y 10^9 ohms por cm^2 , ubicándolos en una categoría **disipativa**.

Los materiales antiestática tienen resistividades de superficie iguales o mayores de 10^9 pero menores de 10^{14} ohms por cm^2 . (Algunas autoridades especifican un límite máximo de 10^{13}). Estos materiales incluyen materiales higroscópicos antiestática tal como algunos laminados melamínicos, plásticos gruesos de alta resistencia, madera y productos de papel, y películas delgadas, de materiales de disipación estática o materiales conductivos. En muchos materiales antiestáticos, son añadidos agentes higroscópicos (absorbedores de agua) al plástico durante su fabricación. Estos agentes constantemente emigran hacia la superficie donde atraen la humedad atmosférica. La capa resultante de agua forma una superficie conductora la cual disipa las cargas estáticas.

8.2.1.3 CONSIDERACIONES DE MANUFACTURA

En plásticos conductivos, se añade una mezcla de polvos de carbón -los cuales son conductores- para producir un material de conductividad eléctrica. Para producir una trayectoria conductiva efectiva a tierra, puede ser necesario añadir hasta un 40% por volumen

de carbón al plástico. Sin embargo desafortunadamente, éste proceso puede debilitar mecánicamente el plástico, permitiendo rasgaduras y perforaciones muy fácilmente.

Otra técnica para bajar la resistividad de los materiales plásticos es añadir fibras metálicas, formando plásticos metálicos. Por medio de un proceso patentado llamado Cross Link™, se han logrado resistividades tan bajas como 0.001 ohms por cm² para tales plásticos. Con el proceso Cross Link™ es teóricamente posible hacer cualquier plástico conductor por porcentajes tan pequeños como el 1% de fibras, por volumen.

Otra técnica para obtener disipación estática es usada en los materiales Benstattm. En estos materiales las adiciones de químicos es de solamente un 10% del material. Se ha reportado que este aditivo, está químicamente unido a la estructura molecular de la base de polímeros para producir una trayectoria iónica a través del volumen total del material. Tales materiales se consideran permanentemente antiestáticos y no dependen de la humedad para la conductividad.

8.2.1.4 DESCARGA Y DECAIMIENTO

Al generarse una carga, su distribución depende de la resistividad y el área de superficie del material. Esto es, mientras más conductor sea el material, la carga se distribuirá más rápido. Mientras más extensa sea la superficie por donde la carga se desplaza, menor será la densidad de carga y el nivel de voltaje residual. En contraste con los aislantes, no pueden existir cargas localizadas en los conductores. Debido a este efecto, los cuerpos y materiales conductivos, son usados como control de las descargas electrostáticas. Pero existe una limitación distintiva con tales materiales.

Si, por ejemplo, un circuito encapsulado o semiconductor se acerca a un objeto altamente conductor, por ejemplo una caja para

llevar herramientas o mostrador de mesa, se puede generar una chispa y una descarga de corriente. Cuando esto ocurre, cualquier semiconductor en la trayectoria de descarga puede sufrir daño. Para prevenir esto, la caja para cargar herramientas o componentes o el mostrador de mesa, deben hacerse suficientemente conductivos para que los voltajes significativos no sean inducidos a través de esta caja o el mostrador de mesa, pero no tan conductivos que la descarga ocurra rápidamente. Cuando un objeto con una carga electrostática se coloca en una superficie estática disipativa o superficie conductiva, la carga se disipa gradualmente o decae. Aunque este decaimiento pueda aparecer instantáneo, puede tomar desde varias centésimas de segundo hasta varios segundos.

El tiempo de decaimiento es generalmente medido cargando una sección del material con un voltaje de estática y midiendo el tiempo que tome el voltaje en decaer a cierto nivel dado, como por ejemplo 10% de su valor original. La asociación de Industrias Electrónicas (EIA) especifica que las bolsas y estuches para transportar componentes sensibles a cargas electrostáticas deben tener un tiempo de decaimiento electrostático no superior a 2.0 segundos cuando se miden ambos y cuando se aplica una carga positiva y negativa de 5,000 volts, disipándola a 50 volts después de que el material es conectado a tierra. En general, el tiempo de decaimiento está relacionado con la conductividad.

8.2.1.5 EL CUERPO HUMANO COMO CONDUCTOR A TIERRA

El cuerpo humano puede ser un conductor a tierra, aunque no muy bueno. La resistencia del cuerpo humano puede variar de 100 a 100,000 ohms, dependiendo del grado de humedad, sal y aceites en la superficie de la piel, área de contacto de la piel y la presión. Típicamente consiste entre 1,000 y 5,000 ohms para acciones consideradas como

relacionadas con el contacto con partes o recipientes tales como el sostenimiento de una taza con el pulgar y el índice, apretar las manos o tocar la palma de la mano. Un valor de 1,500 ohms provee un valor razonablemente bajo de valor de resistividad humana. Este valor ha sido escogido para representar el cuerpo humano en pruebas estándares de circuitos.

Debido a que el cuerpo humano puede tener baja resistencia, algunos voltajes comunes presentes en algunos ensamblajes y procedimientos de prueba pueden ser letales si una persona toca accidentalmente un circuito eléctrico energizado y tierra al mismo tiempo. Para minimizar tales riesgos es una práctica común utilizar **tierras suaves** en las estaciones de trabajo protegidas contra cargas electrostáticas.

Un piso suave es una conexión a tierra por medio de una resistencia suficientemente alta que limite el flujo de corriente a un nivel sin peligro para el personal, normalmente 5 miliamperes. El valor de la resistencia depende del nivel de voltaje al cual el personal conectado a tierra, puede entrar en contacto. La aplicación más común de tierra suave, consiste en una resistencia puesta en serie con una banda en la muñeca (muñequera) del usuario, y con la conexión de tierra. ®

El simulador especificado por el manual DOD Handbook 263, proporciona el valor de capacitancia como $100 \text{ pF} \pm 5\%$, la fuente de resistencia del cuerpo como no inductiva $1.5 \text{ kilohms} \pm 5\%$, y el voltaje alto como variable entre 0 y 15,000 volts de C.C.. La forma de la onda de la descarga estática producida por tal simulador se muestra en la Figura 8.6.

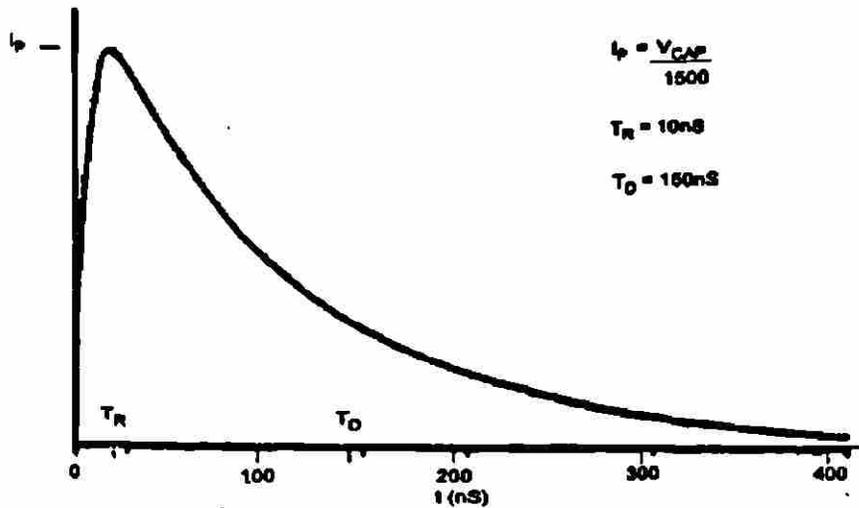


Figura 8.6 Forma de Onda de una Corriente de Cortocircuito de Descarga Estática

8.2.1.6 CONTROL DE HUMEDAD

A niveles altos de humedad, se forma sobre la superficie del objeto una película delgada de agua. Esta película de superficie provee una trayectoria conductiva para cualquier carga que pueda existir o sea generada sobre la superficie, por esto, disipa cualquier carga electrostática. Además, la humedad en el aire tiende a neutralizar las cargas de superficie. También, la humedad en el aire añade lubricidad para prevenir las cargas de fricción. En general, cuanto menor es la humedad, mayor será el potencial electrostático, como se muestra en la Tabla 8-2

Por esta razón, uno de los métodos para combatir las cargas electrostáticas es añadir humedad al aire. Cuanto más humedad se añada, las cargas electrostáticas se disiparán con mayor facilidad. Pero, aún a los más altos niveles, los voltajes electrostáticos significativos no pueden ser eliminados. También, a niveles altos de humedad, los operarios se pueden sentir incómodos, algunas partes de los equipos se pueden corroer, se pueden formar trayectorias de corrientes de fuga, las tarjetas de circuitos impresos se pueden deslaminar mientras se sueldan y puede haber crecimiento de algas.

El nivel óptimo de humedad relativa, en áreas de protección contra descargas electrostáticas -considerando los factores expuestos anteriormente-, ha sido especificado como de 50 % a 60 %. En ciertos climas en ciertas temporadas del año puede ser difícil y aún caro obtener un nivel del 60%. En tales casos, los IONIZADORES DE AIRE ofrecen un sustituto efectivo o un suplemento para la disipación de las descargas electrostáticas.

8.2.1.7 SUPERFICIES DE TRABAJO

Las superficies de trabajo como la superficie del mostrador del banco de trabajo que entra en contacto con objetos y personal deben ser protegidas contra descargas electrostáticas en el área donde pueden ser colocados los objetos sensibles a estas descargas. Estas estaciones de trabajo protegidas son una importante defensa contra los daños causados por descargas electrostáticas. El objetivo de tales superficies es drenar las cargas estáticas de cualquier conductor que se coloquen encima de ellas; los no conductores, por supuesto, no serán neutralizados por tales superficies. La descarga debería suceder rápidamente para prevenir daños pero debería ser lo suficientemente espaciosa para prevenir un arco de descarga el cual también puede causar daño.

Se utilizan tres categorías de materiales para estas superficies: conductivos, disipativos de estática y antiestáticos.

Estas categorías son basadas en la definición de resistividad contenida en el manual DOD Handbook 263: Conductiva, menor de 10^5 ohms por cm^2 ; Estática Disipativa, entre 10^5 y 10^9 ohms por cm^2 ; y Antiestática, entre 10^9 y 10^{14} ohms por cm^2 .

El Centro de Análisis de Confiabilidad en los EE. UU. ha concluido que los materiales disipativos de estática son ideales porque los mostradores antiestáticos de las mesas toman demasiado tiempo para

disipar una carga estática y las mesas con superficies conductoras disipan las cargas estáticas demasiado rápido.

Las bandas atadas a las muñecas del personal (muñequeras) deben ser usadas con los bancos de trabajo protegidos para prevenir que el personal se descargue por medio de un objeto electrostático a la superficie del banco de trabajo. Las superficies de trabajo deben ser conectadas a la tierra suave, esto es, por medio de una conexión a tierra que esté en serie con una resistencia especificada. Esta resistencia debería estar ubicada en el punto de contacto o cerca de la superficie del banco de trabajo. Debería ser lo suficientemente grande para limitar cualquier corriente de fuga de igual o menor de 5 miliamperes, teniendo en consideración, la fuente de voltaje más alto que esté al alcance de los operarios conectados a tierra y todas las resistencias paralelas a tierra, tales como las bandas de las muñecas, las superficies de los bancos de trabajo y los pisos conductivos. Típicamente, esta resistencia es de 1 megaohm.

Pueden recomendarse protecciones menores de 5 miliamperes donde una acción reflectiva puede causar problemas. La Figura 8.7 muestra un banco típico de trabajo conectado a tierra para las descargas electrostáticas.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

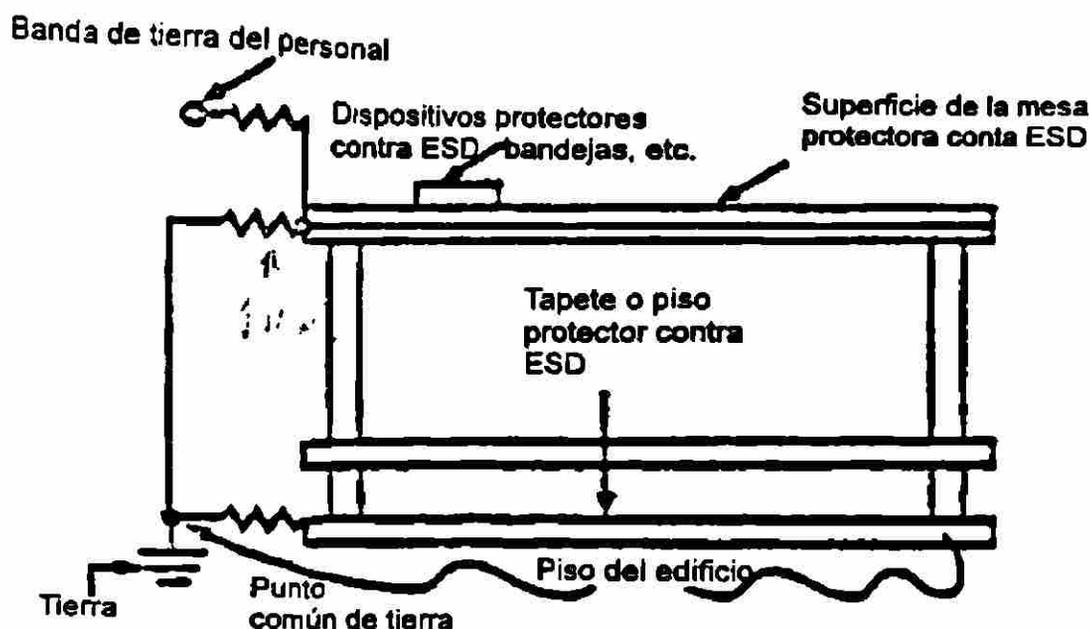


Figura 8.7 Típico Banco de Trabajo conectado a tierra para las Descargas Electroestáticas (DOD-HDBK263)

8.2.1.8 PISOS PROTEGIDOS CONTRA LAS DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS

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

También existen pisos protectores conductivos, disipativos de estática o de materiales antiestáticos. Estos materiales son disponibles en forma de tapetes, baldosas de vinilo y otras formas. Las baldosas de vinilo conductivas han sido usadas por mucho tiempo en los cuartos de cirugía en los hospitales para prevenir explosiones que pueden ser causadas por las descargas electrostáticas. Esta baldosa es diseñada para conducir cargas a tierra y de baldosa a baldosa. Pueden ser

aplicados o pintados acabados conductivos para el piso para proveer protección contra las descargas electrostáticas. Debido al tráfico de personas y de otros equipos que se movilizan sobre el piso, estos acabados deben ser aplicados periódicamente. Cualquiera que sea la protección usada, estos pisos protegidos no deben ser encerados, ya que la acumulación de cera reduce la conductividad.

Una desventaja de los tapetes para el piso es el peligro de tropiezos para el personal, al ser movidos y no colocados debidamente de nuevo después de limpiar el piso. 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 se utilizan los pisos conductivos o tapetes, el personal debe usar zapatos conductivos, cobertores de zapatos o zapatos con tacones con conductores de tierra, ya que los zapatos de uso regular pueden tener una conductividad inadecuada. Estos deben mantenerse limpios. Si se contaminan con polvo o químicos, pierden la conductividad interactiva con el piso. Por razones de seguridad no deben ser usados fuera del área de protección contra las descargas electrostáticas.

Los asientos de trabajo conductivos son necesarios junto con el piso de protección, ya que un operario sentado junto al banco de trabajo puede levantar los pies del piso y colocarlos sobre alguna parte del asiento. Si este asiento no estuviera conectado a tierra, los beneficios de protección del piso se perderían.

8.2.1.9 AGENTES TÓPICOS CONTRA ESTÁTICA

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

Primero, estos agentes aumentan la superficie con propiedades lubricantes, y así reducen el coeficiente de fricción del material. Con menos fricción de superficie, se reduce la carga de corrientes Triboeléctricas. Además, los agentes tópicos contra estática aumentan la conductividad de la superficie lo que produce como resultado que las cargas se drenen.

Los agentes tópicos contra estática se aplican por medio de una brocha, atomizador, rodillo o ya sea mojando, limpiando y trapeando. Estos pueden ser aplicados a los pisos, las alfombras, tapetes, la superficie de los banquillos de trabajo, bandejas de componentes, portadores de partes, sillas, paredes, cielos rasos, herramientas, papel, plásticos y ropa para darles un grado de protección contra las descargas electrostáticas. Después de este tratamiento un objeto regularmente no necesita conexión a tierra.

Al seleccionar un agente contra estática, se deben tener en cuenta numerosas características además de sus propiedades antiestáticas, como:

- **Habilidad para inhibir el crecimiento de algas**

- **Carencia de toxicidad**

- **Carencia de corrosividad**

- **Carencia de flamabilidad**

- **Que no irrite al personal**

- **Que no manche**

- **Que no genere partículas.**

Algunos factores adicionales y sugeridos por el Centro de Análisis de Confiabilidad son:

- **Longevidad y características de uso**

- **Comportamiento de decaimiento y su control**

- **Facilidad de aplicación**

- **Desempeño compatible con sus materiales.**

8.2.2 TÉCNICAS DE CONEXIÓN A TIERRA PARA INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS (EMI) Y DE RADIOFRECUENCIA (RFI)

Los procesadores usados en computadoras modernas y equipos computarizados operan a frecuencias de reloj, en un rango de 5 megahertz a frecuencias mayores de 60 megahertz. Este es el rango de la banda de los 10 metros de los Radio Aficionados y la banda de radio CB. En este rango de frecuencias, el alambrado de control se convierte en un circuito de radio. En lugar de transportar únicamente señales de control, el alambrado puede exhibir resonancia, acople capacitivo e inductivo y por consiguiente efecto pelicular o de superficie. La resonancia ocurre cuando la longitud de los cables son iguales a la longitud de onda y son más fuertes en múltiplos de un cuarto ($\frac{1}{4}$) de longitud de onda. Debido a la propagación en el cable, una señal de 10 megahertz con una longitud de onda de $\frac{1}{4}$ de espacio libre de 25 pies puede resonar en un cable de 18 a 20 pies de longitud. En los rangos de frecuencias altas la corriente de señal fluye cerca de la superficie de un conductor en lugar que en la sección transversal del conductor. Por ejemplo, a 10 megahertz la corriente fluye las 0.0026 pulgadas de la superficie del cable. Esto reduce la sección transversal efectiva del cable y por consiguiente aumenta la resistencia al flujo de corriente. Cada cable se convierte ahora en una antena potencial transmisora o una antena receptora si su longitud es cerca de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda de reloj o frecuencias de datos. Este fenómeno es conocido como "Efecto Pelicular".

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 en la fuente de energía de los equipos electrónicos basados en microprocesadores, puede causar malfuncionamiento momentáneo y

sostenido, pérdida de memoria, y aun degradación o destrucción de los componentes electrónicos. Los circuitos víctima pueden recibir el “ruido” en el modo normal o en el modo común o ambos.

8.2.2.1 ACOPLAMIENTO INDUCTIVO

El acoplamiento inductivo o magnético es un fenómeno de lazo cerrado a lazo cerrado el cual puede ser reducido reorientando los alambres o reduciendo el área que contiene el lazo cerrado.

El acople capacitivo se reduce por medio de una protección de 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 la fuente o punto de origen.

Cuando la energía que irradia de un cable retorna a través de un circuito víctima, la señal resultante se convierte en ruido indeseable. Aunque las Interferencias de Radiofrecuencias de altos niveles pueden afectar adversamente la mayoría de los circuitos electrónicos, entre los más susceptibles están los circuitos que posicionan los impulsores de discos y los mecanismos de los dispositivos de dibujo. Un voltaje de nivel tan pequeño como de 1.0 volt/metro puede ser dañino para este equipo. La sensibilidad requerida para estos circuitos los hace susceptibles a niveles extremadamente bajos de interferencias a menos que estén adecuadamente blindados. Debido a la necesidad de instrumentación esencial para detectar radiación electromagnética y su posible presencia en prácticamente cualquier lugar o ambiente, es imperativo que sean publicadas por el fabricante las especificaciones de susceptibilidad a las interferencias de radiofrecuencia para todos los equipos EDP y que sea incluido un estudio sobre las interferencias de radiofrecuencias en la preparación de reconocimiento para los sitios propuestos para el sistema.

8.2.2.2 MALLA DE REFERENCIA PARA SEÑALES

Si se proporciona una trayectoria de baja impedancia para la energía de las radiofrecuencias parásitas se puede aliviar la mayor parte del problema del ruido potencial en las instalaciones modernas de computadoras. Tal trayectoria se puede proporcionar por medio de la instalación de una malla o rejilla de referencia de señal (SRG). Una malla de referencia de señal puede proveer la trayectoria de baja impedancia para las frecuencias de 60 hertz o menores hasta las de nivel de radiofrecuencias (RF) para asegurar que todo el equipo conectado y sus cubiertas se encuentran a un mismo potencial. La malla SRG actúa como un blindaje que evita la interacción del equipo. La conexión adecuada a tierra para los sistemas de potencia de las computadoras y para el equipo computarizado, requiere no solo una tierra para el equipo sino también la MALLA DE REFERENCIA DE SEÑAL.

El sistema a tierra estará compuesto de:

- Malla de señales de referencia
- Bandas sujetadoras trenzadas de baja impedancia para el equipo®
- Placa de supresión de transitorios (TSP)
- Conductores de unión de cobre, sin aislamiento (Figura 8.8)

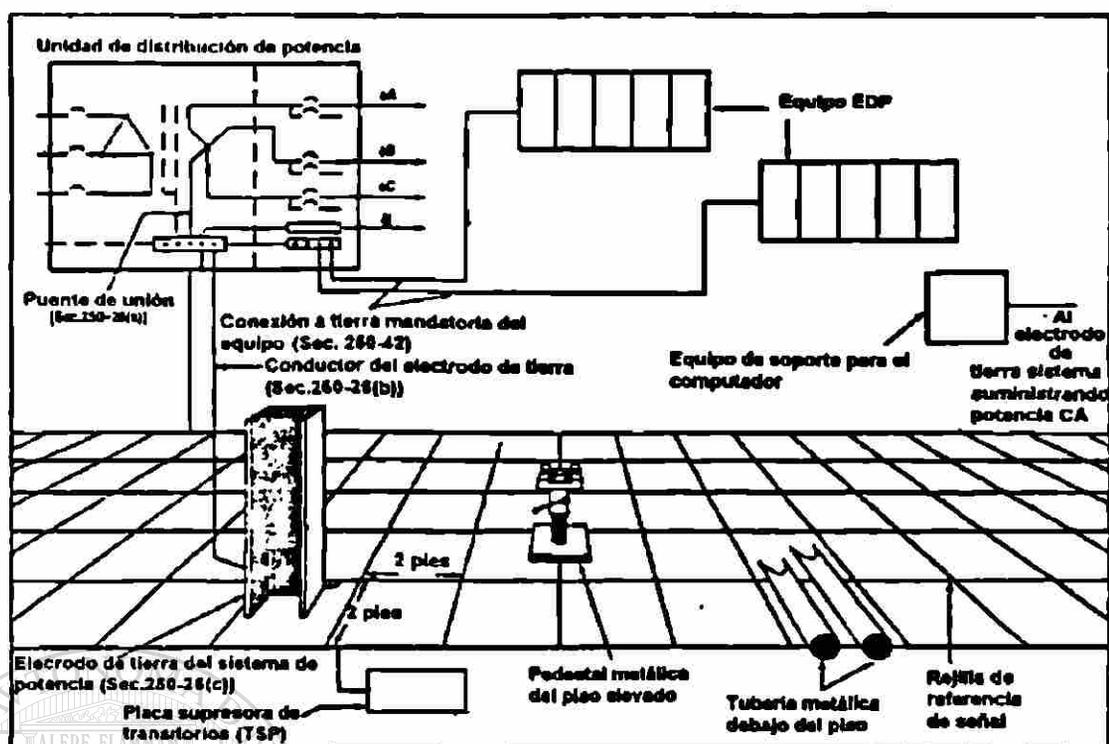


Figura 8.8 Malla de Referencia de Señal

Algunas investigaciones hechas sobre líneas de transmisión han determinado empíricamente que las ondas estacionarias no causan una significativa diferencia de voltaje entre los dos extremos de un conductor si la longitud del conductor no es más del 5 a 10% la longitud de la onda. La longitud de onda de una señal de 30 megahertz es 32.8 pies.

La longitud de onda en pies es igual a 984 dividido por la frecuencia en megahertz ($L=984/F$).

Una malla de señal de referencia SRG, compuesta de 2 pies cuadrados creará una multitud de trayectorias de flujo de baja impedancia con diferencias de potencial despreciables entre cualquiera de dos puntos sobre la malla. El resultado es una referencia efectiva equipotencial entre cualquiera de dos puntos sobre la malla para señales desde CC hasta 30 Mhz. Esta rejilla es conectada al sistema de tierra del equipo (NEC) como se muestra en la Figura 8.8

Para formar la red de sistemas a tierra para mallas o rejillas de señal de referencia se usan: lámina de metal, pisos de acero, los

travesaños metálicos de los pisos levantados celulares, las barras de refuerzo y otros componentes estructurales de acero del edificio. Cuando estos elementos están presentes, todos ellos se unen para formar el sistema de referencia de tierra o parte del sistema de electrodo de tierra de acuerdo al código NEC.

El acero, sin embargo, tiene valores de resistencia mayores que los del cobre y produce potenciales más altos entre los puntos de unión que una malla o rejilla hecha de cobre.

Una malla de cobre puede ser construída debajo del piso elevado del centro de computadoras, interconectando conductores de cobre sin aislamiento para formar una malla de 2 pies cuadrados. Todos los puntos de interconexión deben soldarse conjuntamente. Se puede disponer de Rejillas prefabricadas que consisten de tiras planas de cobre de 2 pulgadas de ancho, de calibre Num 26 AWG , configuradas para formar cuadrados de 2 pies. Los puntos de unión de la intersección de estas tiras se sueldan a distancias de centro a centro de 2 pies. Las conexiones soldadas proveen integridad y un sistema libre de ruido el cual no puede ser comprometido tan fácilmente como las conexiones mecánicas. Las rejillas o mallas prefabricadas en rollos de 12 pies de ancho y de hasta 100 pies de longitud.

La malla debe instalarse a lo largo y lo ancho del centro de la computadora y debe estar situada directamente debajo del piso. Cuando se usan las mallas prefabricadas, y un rollo se coloca junto a otro, los extremos deben montarse el uno sobre el otro y deben soldarse a intervalos de dos pies. Las coberturas del equipo electrónico procesador de datos (EDP), son conectadas a la malla por medio de tirantes corrugados de conductor de cobre de longitudes iguales o menores de 2 pies. Todos los objetos metálicos debajo del piso elevado, tales como los conductos, tuberías, ductos, columnas de acero y otros, deben unirse a la malla usando conductores de unión, Num 6 AWG de cobre o conductores más grandes multifilares, de longitudes iguales o menores a

2 pies. Los pedestales que proveen soporte al piso elevado también son unidos a la malla.

La "Lámina de Supresión de Transitorios" (TSP) como se ilustra en la Figura 8.8 se usa debajo de los tableros de los paneles de distribución y la entrada de las cajas de empalmes de la Unidad de Distribución de Potencia (PDU) ubicadas en el espacio debajo del piso elevado. La lámina TSP se usa para prevenir que las corrientes de ruidos en las barras de refuerzo de concreto sean inducidas dentro de los cables de datos debajo del piso.

8.2.2.3 EFECTO PELICULAR

La corriente que fluye en un conductor origina un campo magnético. Este campo magnético causa un flujo de corriente que varía en función de la frecuencia. La corriente tiene la tendencia a fluir en la superficie del conductor y de ahí se crea el efecto pelicular o de superficie. Para un cable sólido, redondo, de cobre, la resistencia efectiva puede ser expresada como el producto de una constante y la resistencia a CC es:

$$R_{ac} = k\sqrt{f}R_{cc} \quad (1)$$

Donde f es la frecuencia en megahertz y k tiene los valores de varios conductores como se muestra en la Tabla 8-3.

De esta manera, a 1 megahertz, un cable "1/0" AWG es similar a un cable Num 19 de CC:

$$R_{ac} = (88) \sqrt{1(0.0925)} = 8.46 \text{ ohms}$$

Tamaño del alambre	Valor k	R _{dc} Por 1000
No. 22	6.86	16.2
18	10.90	6.39
14	17.60	2.52
10	27.60	0.9988
8	34.80	0.6281
6	47.90	0.3925
4	55.50	0.3925
2	69.80	0.1563
0	88.00	0.09825
00	99.00	0.07793
0000	124.50	0.04901

Tabla 8-3 Valores de k para el cálculo del "Efecto Pelicular"

8.2.2.4 IMPEDANCIA DE LOS CONDUCTORES REDONDOS

Es interesante describir la inductancia de un segmento de conductor recto. -La inductancia solo tiene significado para un circuito cerrado, pero la contribución de cada segmento puede ser considerada separadamente-. Una primera aproximación -en microhenrys- para la inductancia de un conductor largo a altas frecuencias es:

$$L = 0.0051 l [2.301 \log_{10} (4 l / d) - 1] \quad (2)$$

"l" es la longitud del conductor en pies y *d* es el diámetro en pulgadas.

Para 1000 pies de cable Num. 2 esto es aproximadamente 572 microhenrys. A 69 hertz esto es 219 miliohms. La resistencia del cable Num. 2 es de 156 millohms/1000 pies.

La inductancia L en (2) y el diámetro del conductor están relacionados logarítmicamente. Por esta razón no son fácilmente obtenidos valores bajos de inductancia añadiendo cobre al corte

seccional. De hecho, aún para conductores de gran corte seccional, el componente reactivo de la impedancia domina por encima de varios cientos de ciclos.

Numero de calibre Del alambre	Diámetro Pulgadas	Milliohms por 1000 pies	Inductancia/1000 pies Micrihenries
0000	0.460	49.0	540
00	0.364	77.9	
0	0.325	98.3	
2	0.258	156	572
4	0.204	248	
8	0.128	628	
10	0.101	999	616
14	0.068	2525	
18	0.040	6385	
22	0.025	16140	636

Tabla 8-4 Características de conductores para 1000 pies de longitud

Entonces parece como impráctico "acortar conjuntamente" dos puntos remotos conectándolos con conductores de cobre. Tal conexión proporciona una trayectoria por donde muchos amperes fluyen y donde la impedancia soporta una diferencia de potencial significativa a altas frecuencias. La Tabla 8-4 provee un rango de tamaños de conductores, sus resistencias e inductancias para 1000 pies de longitud.

8.2.2.5 UNIÓN PERMANENTE

La ley de Ohm puede causar algunas sorpresas a altas frecuencias y altas corrientes.

¿Qué valor de inductancia es similar al de 10 ohms a 100 megahertz?. La respuesta es 0.01 microhenrys. Esto representa una pulgada de alambre de cobre.

Consideremos un pulso de rayo de 10,000 amperes con un microsegundo de tiempo de elevación. ¿Qué inductancia permite una caída de voltaje de 1000 volts? La respuesta es 0.1 microhenrys o aproximadamente un cuarto de arrollamiento con un radio de 1 pie.

De acuerdo a la ecuación (2) la autoinductancia para 30 pies de alambre Num. 6 es de 14.9 microhenrys y para la misma longitud de un calibre de 2/0 AWG es de 13.4 microhenrys. El cálculo del voltaje momentáneo que se desarrollará a través de un conductor se deduce por medio de la siguiente relación diferencial.

$$-e = L di/dt \quad (3)$$

Donde:

e= voltaje

L= inductancia (henrys)

di= variación en la corriente (amperes)

dt=variación en el tiempo (segundos)

Si se supone una sobrecorriente de 2000 amperes pico con un tiempo de elevaciones de 10 microsegundos a través de 30 pies de alambres Num 6 y Num 2/0, el sobrevoltaje transitorio desarrollado a través de los alambres puede ser:

$$-e (\#6) = (0.0000149) (2000) / (0.00001) = 2980 \text{ volts}$$

$$-e (2/0) = (0.0000134) (2000) / (0.00001) = 2680 \text{ volts}$$

La baja impedancia provista a altas frecuencias por una superficie metálica, ha sido discutida anteriormente. Esta impedancia implica que el flujo de corriente es uniforme a través de dicha superficie. El valor de la impedancia es independiente del cuadrado que se está considerando. Consideremos dos cuadrados en serie. En este caso la caída de voltaje

se doblaría. Si dos o más cuadrados fueran conectados en paralelo a esta configuración la resistencia se reduciría a la mitad y el valor original haría lo mismo. Esto es, la medida de la resistencia es independiente del tamaño del cuadrado en consideración.

El problema de conexiones de baja impedancia no es un cuestión de área de superficie sino de punto de contacto. Cuando el flujo de corriente es forzado a una área de reducción en el punto de contacto, el campo magnético resultante debe almacenar más energía, lo que es en efecto una mayor inductancia. El área de superficie presente y no usada para el flujo de corriente no puede contribuir a la conductancia. Este proceso de reducción en el punto de contacto no está limitado a planos de tierra pero puede ser encontrado en cualquier conexión de metal a metal. Ejemplos de esta acción se pueden encontrar en las conexiones de sujeción a tierra con bandas, ductos remachados conjuntamente, terminaciones de cable, partes sujetadas con tornillos, o cualquier parte donde haya una conexión eléctrica. Este proceso de reducción se reduce cuando el área de contacto es aumentada. Este es el principio básico de las uniones de sujeción con banda correctas, de los conectores "backshell" y conexiones a los pisos de las computadoras. ®

Todas estas aplicaciones necesitan una buena conexión de inducción baja para que puedan ser efectivas.

Se logran uniones excelentes mediante soldaduras exotérmicas donde sea permitido por los códigos locales. La conexión resultante debe recibir tratamiento para evitar oxidación.. Las soldaduras a las estructuras de acero del edificio deben ser hechas de tal manera que la resistencia mecánica del edificio no se vea comprometida. Las bandas de unión requieren un área grande de contacto que esté libre de pintura u oxidación. El contacto debe ser mantenido bajo presión para prevenir aflojamiento y después oxidación. Esto implica el uso correcto del herraje mecánico y selladores. Una buena sujeción con banda se

compromete si la longitud de la banda de unión es excesiva o si el conductor tiene curvas cerradas. Ambas prácticas añaden inductancia lo que causa que las conexiones no sean efectivas a altas frecuencias.

Esto supone que el cuadrado es mucho menor que la mitad de una longitud de onda.

8.2.2.6 BLINDAJE O APANTALLAMIENTO

Los métodos seleccionados para eliminar los problemas de interferencias de radiofrecuencias dependerán de las características físicas del sitio lo mismo que de la magnitud del campo presente.

Algunos problemas de interferencia pueden ser corregidos simplemente haciendo conexiones a tierra separadas a la estructura o armadura del equipo afectado o trasladando el equipo a otra sala. Casos mas serios pueden requerir la compra o construcción de una cubierta apantallada incorporando potencia filtrada y ventilación blindada.

Una vez que los patrones de radiación y sus niveles sean determinados, se permite alguna experimentación para determinar la acción requerida para hacer correcciones. El papel de aluminio casero puede ser fijado temporalmente a la superficie de las paredes, puertas, ventanas o gabinetes y se hacen nuevas mediciones de la magnitud del campo en los mismos puntos para determinar la efectividad del blindaje parcial. El papel de aluminio es aproximadamente 1.5 milésimas de pulgada de espesor y debería de proveer de 20 a 40 decibeles de atenuación a 100 Mhz para la cubierta total.

Un cartón lo suficientemente grande para encerrar el Sensor del Campo E, puede utilizarse para determinar la efectividad del blindaje. Ubique el sensor en el cartón y cubra un lado con el papel aluminio sujetado con cinta adhesiva para mantenerlo en su lugar. Gire el cartón

mientras observa el medidor para determinar si un blindaje en una sola pared es suficiente. Cubra el resto de las paredes con cartón, de una en una, y observe el efecto sobre la magnitud del campo al tiempo que cada lado sea cubierto. Cuando el último lado del cartón sea cubierto, puede ser cortada una pequeña rendija en el papel de aluminio para que permita la lectura del medidor.

En la mayoría de los casos, se recomienda que todas las paredes, cielos rasos, pisos, puertas y ventanas sean blindadas. El material de blindaje debe ser unido permanentemente en las costuras para asegurar efectividad máxima del blindaje. El material de blindaje debe entonces ser conectado a una buena conexión de tierra.

Este tratamiento puede proveer hasta 80 decibeles de atenuación a 100 Mhz, si se proporciona blindaje a conductor de ventilación y escalamiento de puerta. Una atenuación de 80 db reducirá la magnitud del campo a un diez milésimo del nivel anterior.

EJEMPLO

Con el propósito de ilustrar la técnica efectiva de unión e instalación, describiremos una simple instalación **de una sala de 20 pies por 20 pies**. La sala o recámara del ejemplo tiene una puerta de entrada y no tiene ventanas. Se supone que no se requieren filtros para la alimentación de potencia y blindaje para la ventilación.

Los materiales que se van a usar son Papel metálico de pared marca Eccoshield, WP-2AL y un adhesivo epoxico fabricado por Emerson & Cumming, Inc., cuya marca es Eccobond.

El papel metálico descrito anteriormente es un papel de pared de un espesor de una milésima y se vende en rollos de 30 pulgadas de anchura.

El papel aluminio se aplica a las superficies interiores de las paredes, cielo raso y piso utilizando el adhesivo Eccobond. Todas las costuras se superponen 2 pulgadas y se adhieren usando la cinta de presión sensitiva Eccoshield PST. Las uniones pegadas con cinta son

comprimidas usando un rodillo de madera o de goma. Métodos alternativos de tratamiento para las costuras incluyen el doblar de las orillas y su costura con una engrapadora, o doblando las uniones y sellándolas con un material conductivo tal como el de marca Eccoshield.

Una vez que el blindaje es aplicado a todas las superficies, las paredes y el cielo raso pueden ser cubiertos con papeles de pared decorativos y enchapes de madera. El piso blindado debería ser cubierto con lámina de madera contrachapada las cuales pueden ser revestidas con cualquier material aceptable tal como baldosas o láminas de vinilo.

Si es necesario, la puerta puede ser reemplazada con una puerta blindada aceptable y con un marco de empaque conductivo o un empaque blindado transferido de la puerta y marco existentes. En la mayoría de los casos, es suficiente con tan solo cubrir la puerta existente con papel aluminio protector y proporcionar una orilla de acabado para prevenir desgarramiento.

Los problemas de interferencia de radiofrecuencias son resueltos primariamente con el blindaje de Faraday y una ventana especial de vidrio como la que se usa en los hornos microondas.

Cuando es requerido un blindaje para toda la recámara, se corre un alambre de cobre desnudo, #12 AWG, alrededor de la parte inferior del blindaje, se suelda al blindaje, se sueldan todas las partes del blindaje y se establece el nivel de referencia del blindaje a la tierra del transformador (X_0). El máximo permitido en lectura de la interferencia de radiofrecuencias, de medio ($\frac{1}{2}$) volt por metro a un (1) volt por metro.

Nunca ubique equipo electrónico a distancias menores de 3 pies de las lámparas fluorescentes debido a la RFI de las lámparas.

8.2.3 CONEXIÓN A TIERRA PARA LÍNEAS DE DATOS E INSTRUMENTACIÓN

Las cubiertas metálicas conectadas a tierra, conductos eléctricos, y el alambre flexible o láminas de aluminio trenzadas que rodean los conductores y el equipo electrónico, los blindan 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 conductividad del metal y por sobre todo la geometría del sistema. Los cables blindados pueden ser de alambres múltiples y pueden ser corridos como pares balanceados o como un excitador asimétrico de señal de referencia común de tierra.

El blindaje actúa como terminal para el acoplamiento electrostático de un cuerpo conductor con otro donde existen potenciales diferentes. Cuando este blindaje se coloca entre el cuerpo externo y los circuitos que protege, las corrientes inducidas mediante capacitancias parásitas en el blindaje, fluyen en el blindaje y no en los circuitos a los cuales protege. Esto es bastante efectivo a frecuencias bajas e intermedias.

A frecuencias altas donde el blindaje mismo puede entrar en resonancia o donde algunas aperturas en la cubierta o en el blindaje puedan admitir longitud de onda más corta, el problema de interferencia requiere un especial tratamiento. Un transitorio que alcanza su valor pico en un microsegundo contiene componentes de alta frecuencia iguales o superiores a 250 Khz.

Los campos electromagnéticos que alternan, inducen corrientes en cualquier material conductor.

La corriente inducida es creada de tal forma que trata de neutralizar el campo magnético que las ha creado.

Los blindajes de corrientes inducidas -Corrientes Eddy-, para protección contra estos campos dependen de la alta conductividad y el espesor de metales tales como el cobre, el aluminio y la plata. Los conductos de acero tienen una conductividad muy inferior a estos materiales, pero generalmente pueden proporcionar una protección adecuada si el espesor es suficiente.

Los campos magnéticos pueden ser dirigidos alrededor de los circuitos mediante materiales magnéticos en forma de blindaje hecho de acero, permaleaciones y ferrita.

El blindaje obtenido a partir de corrientes inducidas y propiedades magnéticas no depende de una conexión a tierra, pero es conectado a tierra para evitar el peligro de un choque eléctrico y simultáneamente aprovechar las propiedades electrostáticas de blindaje del material seleccionado.

8.2.3.1 CONEXIÓN A TIERRA PARA BLINDAJE DE BAJA FRECUENCIA

Un blindaje correctamente conectado a tierra para cable triaxial, se conecta a tierra solamente en un extremo, como se muestra en la Figura 8.9. Al conectar a tierra ambos extremos, Figura 8.10, se produce un lazo de tierra que fluirá en el blindaje, debido al hecho de que cada punto a tierra se encontrará a un potencial diferente.

Esta corriente del blindaje inducirá un voltaje en la señal o líneas de datos y producirá como resultado datos erróneos.

Es común ubicar los sensores a cientos o miles de pies de distancia de sus amplificadores, y los cables que los conectan pueden ser corridos a través de canalizadores para cables, conductos, bandejas portacables y ductos subterráneos. Típicamente estos van en paralelo a otros conductores o cables que acarrean potenciales de voltaje mucho más altos. El blindaje aísla el cable de los efectos de estos potenciales,

de tal modo que las corrientes causadas por su capacitividad mutua y acople inductivo, fluirán a través del blindaje y no en los conductores internos.

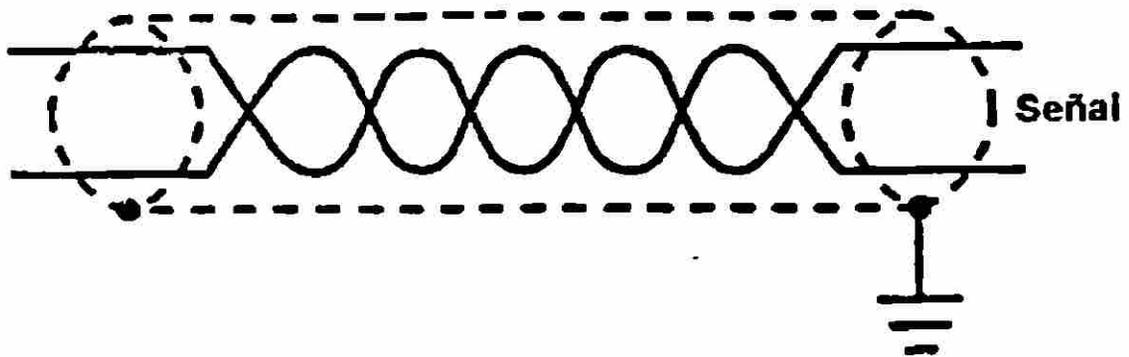


Figura 8.9 Blindaje Para Interferencias Electromagnéticas (EMI)

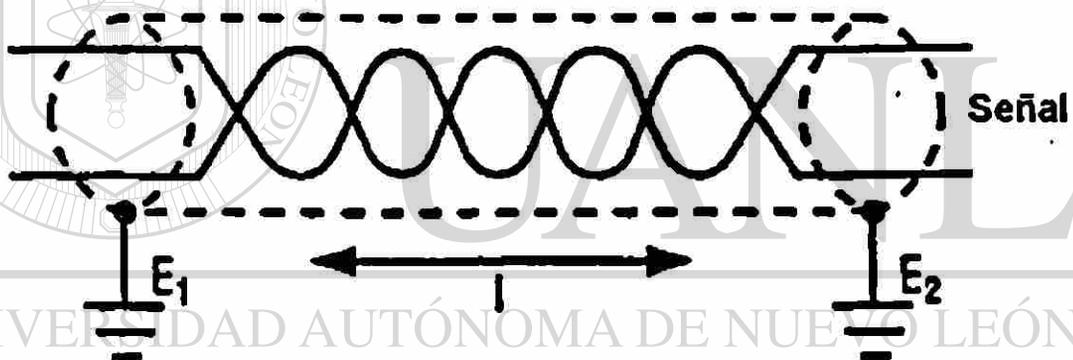


Figura 8.10 Conexión Doble a Tierra del Blindaje

Muchos de los sensores usados para medir la temperatura, la presión, la fuerza y otras cantidades físicas están unidos a estructuras que tienen contacto directo con la tierra. Los blindajes para estos dispositivos deben ser conectados a tierra solamente en el local donde se encuentre el sensor (ver Figura 8.2.3.3). Si se conecta el cable de señal cero del sensor al blindaje en un punto que no sea tierra, resultará una tendencia a anular el efecto del blindaje, y puede aún establecer un voltaje entre los puntos a tierra, produciendo un lazo de tierra.

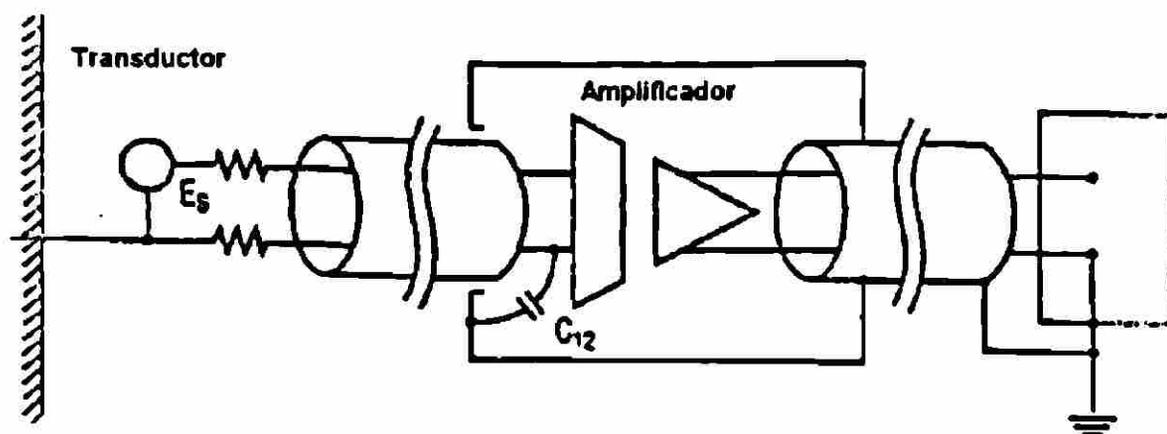


Figura 8.11 Blindaje de Señales de Bajo Nivel

8.2.3.2 CONEXIÓN A TIERRA DEL BLINDAJE DE ALTA FRECUENCIA

Las Interferencias de radiofrecuencia (RFI), superiores a 100 KHz pueden crear problemas, aún cuando se utilice blindaje de bajo nivel, debido a que el blindaje RFI debe ser conectado a tierra a intervalos frecuentes para minimizar las reflexiones de línea.

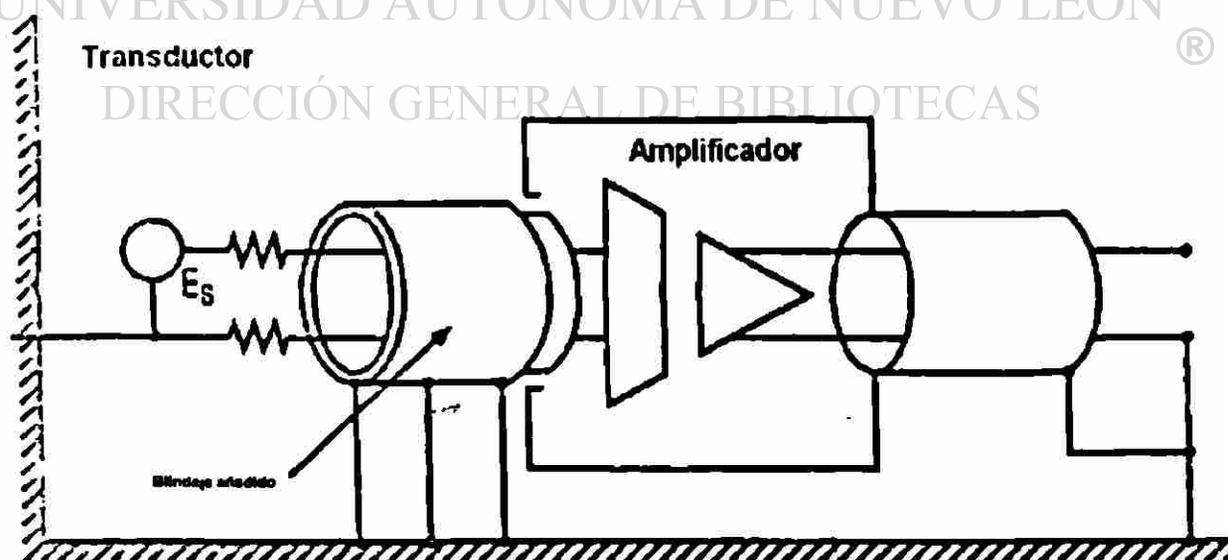


Figura 8.12 Blindaje Añadido para la Reducción de Ruido de Radiofrecuencia (RF)

La solución consiste en un blindaje RFI separado como se describe en la Figura 8.12. El blindaje exterior puede de hecho cubrir un número práctico de cables de señales con blindajes internos si está eléctricamente aislado de éstos, y puede conectarse a tierra en varios puntos sin la necesidad de introducir un gradiente de voltaje de baja frecuencia en sus envolturas internas.

8.2.3.3 CABLES COAXIALES

El transporte de energía en un cable coaxial no depende de que el cable está conectado a tierra. Si hay una disparidad de terminación en cualquiera de los extremos del cable habrá simplemente una serie de reflexiones, pero las energías de las señales permanecerán en el cable (ver Figura 8.13). Cualquier configuración múltiple de tierra permitirá que fluya la corriente en la envoltura, lo que añadirá ruido a la señal. Las conexiones a tierra en puntos medios pueden añadir ruido, el cual depende de las diferencias de potencial. Si el punto de tierra de la señal y el punto de tierra de la envoltura están ampliamente separadas, esto puede también permitir acoplamiento de ruido.

H= Campo Magnético
E= Campo Eléctrico

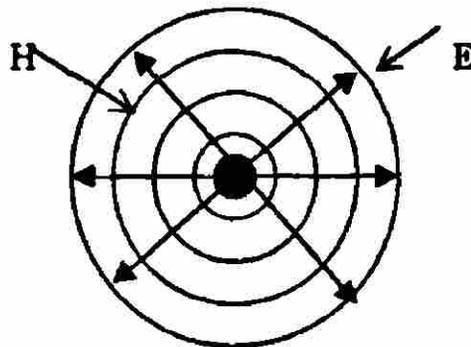


Figura 8.13 Una Configuración Simple de Campo Dentro de un Cable Coaxial

A bajas frecuencias las señales de modo común probablemente son el resultado de flujo de corriente en el plano de tierra.

A altas frecuencias, las señales de modo común pueden ser el resultado de campos electromagnéticos externos acoplados a áreas de lazos cerrados formados entre los cables y tierra o un plano de referencia a tierra. Las áreas típicas de lazos cerrados incluyen cables de potencia, cables de salida, interconexiones digitales o cables de entrada. A una frecuencia dada el acople de modo común es esencialmente proporcional al área del lazo cerrado.

Si nos referimos a la Figura 8.14 , cuando un cable coaxial es utilizado para transportar una señal entre dos puntos a tierra, la envoltura del cable forma un lazo de tierra con el plano de tierra. Aunque la envoltura del cable esté conectada a través de la fuente de modo común, ésta conexión no elimina la diferencia de potencial (V_1-V_2). A bajas frecuencias se produce una gradiente de la envoltura y el efecto producido es la adición de la señal de modo común a la señal de modo normal. El único mecanismo que permite que las corrientes de alta frecuencia se acoplen a la trayectoria de señal es la impedancia transferida. Las curvas de impedancia transferida -en unidades de ohms por metro-, como función de frecuencia, se encuentran publicadas para muchos cables estándares.

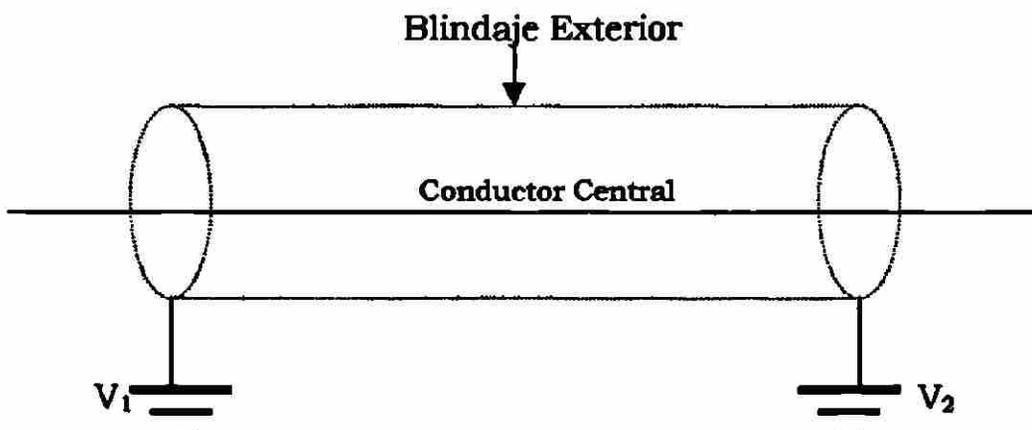


Figura 8.14 Acoplamiento de Modo Común en Líneas Coaxiales

El acoplamiento de modo común por inducción ocurre cuando la dirección de propagación del campo externo sigue la trayectoria de la señal. Resulta un acoplamiento por el hecho de que el campo toma un tiempo finito para viajar a través del lazo cerrado en consideración. Este voltaje resultante afecta el circuito en la misma forma que una diferencia de potencial de tierra. Para cables de menor longitud que la mitad de la longitud de onda, el acople de modo común aumenta con la frecuencia. A una frecuencia superior, el cable se acopla en múltiplos de $\frac{1}{2}$ de la longitud de onda. Puede ser extremadamente efectivo utilizar un cable triaxial como en la Figura 8.15, con el blindaje exterior a tierra a intervalos de $\frac{1}{2}$ de longitud de onda, para reducir las interferencias substanciales de radiofrecuencia (RF) en los enlaces coaxiales.

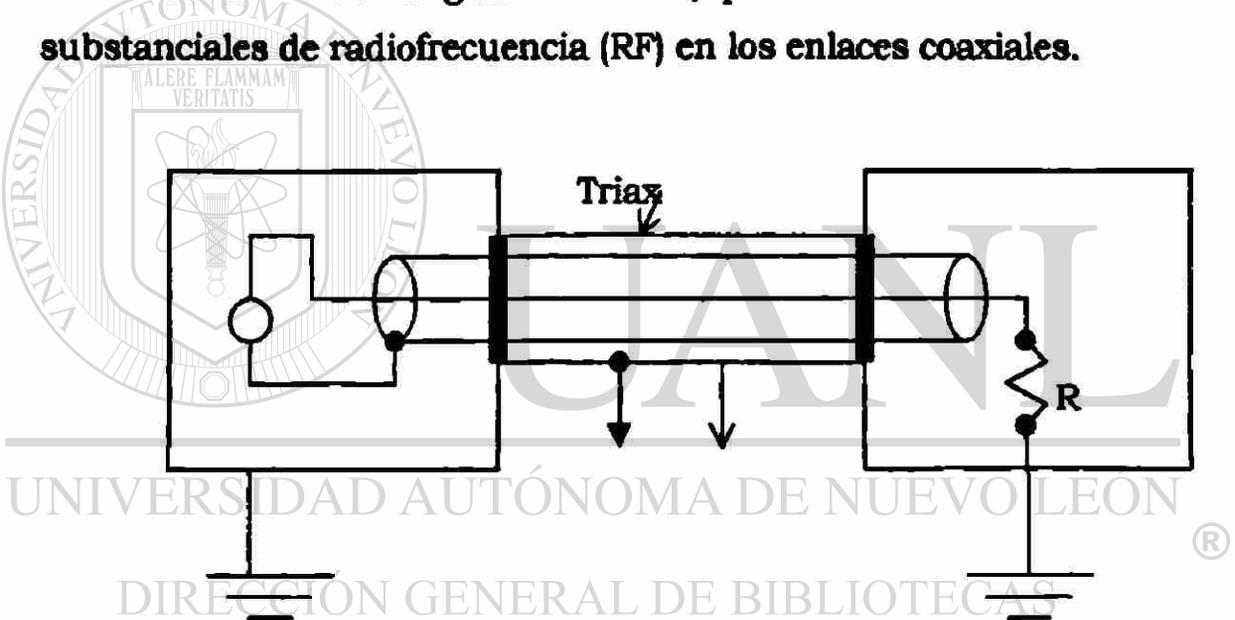


Figura 8.15 Conexiones Múltiples a Tierra de un Cable Triaxial

8.2.3.4 TERMINACIÓN DE CABLES

Un problema frecuente es la unión de las envolturas de los cables en su punto de terminación.

Si se desea una conexión libre de acople de modo común, entonces la envoltura debe hacer una transición suave al plano de tierra de terminación. Un error común consiste en usar una conexión de cable flexible o rabillo, para acarrear la envoltura eléctricamente a su destino. Esto provoca que entren a la caja corrientes de ruidos indeseables y que contaminen el circuito.

Los conectores Backsell son diseñados específicamente para resolver este tipo de conexión. Si no se utiliza un conector Backsell, debe conectarse la envoltura en forma múltiple trenzada a la superficie de terminación. Una conexión única trenzada no es tan efectiva y una conexión de rabillo es aún peor. La peor técnica de todas es una conexión de rabillo enlazada. Los conectores Backsell deben unirse correctamente a su plano de tierra. No se deben utilizar superficies pintadas o anodizadas. Para asegurar un contacto válido, la conexión puede requerir un empaque de unión. Si la placa de la cual se habla no está bien unida al resto de la armadura, el conector Backsell no es de utilidad.

A primera vista, las terminaciones de las envolturas coaxiales parecerían una cosa de rutina. Pero éste tema merece una atención especial. Por ejemplo, la práctica de usar la conexión de rabillo para unir el blindaje a tierra, añade una cantidad significativa de inductancia a la conexión. Esta inductancia abre la conexión envoltura-tierra a altas frecuencias y permite que señales de modo común aparezcan en el punto de entrada del cable. Una conexión correcta de la envoltura del cable coaxial significa que no existirá el efecto reductor de corriente en el flujo de corriente. La corriente entonces fluiría suave y uniformemente a la superficie de conexión a tierra.

8.2.3.5 CONEXIONES A TIERRA PARA CABLES DE VARIOS EDIFICIOS

Cada vez que se tiran líneas de datos entre dos o más edificios, cada extremo de cada cable tendrá como nivel de referencia diferente potencial de tierra ya que cada edificio tiene su propio sistema de electrodo de tierra. Las computadoras, terminales, instrumentos, PLC, etc., en cualquier edificio, tienen como referencia el electrodo de tierra del edificio donde se encuentran ubicados. Cuando se tiran líneas de datos entre dos edificios, los datos tendrán como referencia dos tierras separadas. Cuando las dos tierras se encuentren a diferentes potenciales, existe el peligro de que los datos se pierdan y los puertos de datos se dañen. Las descargas de rayos en áreas próximas pueden elevar el potencial de un edificio a un nivel de cientos de volts más alto que el nivel de tierra del edificio más cercano.

Una solución para el problema es unir conjuntamente los sistemas de electrodo de tierra de los dos edificios.

Esto puede hacerse enterrando un conductor grueso de cobre entre los dos edificios y uniendo sus extremos a cada uno de los sistemas de electrodo de tierra de cada edificio. El tamaño del conductor depende de la distancia entre los edificios pero nunca debe ser menor que el calibre #2/0 y debe ser cable de soldar con múltiples hilos de cobre para limitar la impedancia que aumenta debido a las corrientes de alta frecuencia de rayos debidas al efecto pelicular.

Una segunda solución es transmitir los datos con fibra óptica.

Los sistemas de fibra óptica usan luz para transmitir los datos y de ahí que la diferencia entre los potenciales de los dos extremos del enlace no serán ya una preocupación. También pueden utilizarse aisladores ópticos para eliminar cualquier unión mecánica entre los componentes del sistema de varios edificios. Mediante este método, los datos son transportados desde un diodo emisor de luz a un transistor

sensitivo por medio de la luz emitida por el diodo. Aunque los aisladores ópticos han protegido equipos durante tormentas eléctricas, hay muchos casos documentados de daños al mismo aislador óptico debido al hecho de que el transistor maneja el enlace metálico.

Un tercer método para limitar los efectos de los daños causados muy a menudo por las conexiones a tierra de varios edificios en las interfaces de líneas de datos, son los protectores de sobrevoltajes transitorios.

Si se seleccionan e instalan de forma correcta, estos pueden prevenir la elevación de voltajes intolerables de línea-a-línea y de línea-a-tierra. Es esencial que las conexiones a tierra sean correctas para estos protectores, lo cual será discutido posteriormente.

8.2.3.6 CONEXIÓN CORRECTA A TIERRA PARA LOS PROTECTORES DE SOBREVOLTAJES TRANSITORIOS

Los protectores de sobrevoltajes transitorios incorrectamente conectados a tierra no pueden proporcionar en forma precisa una referencia para la lógica de tierra de la interface de las comunicaciones y su Unidad Central de Procesamiento (CPU) o terminal requiere protección, pues permite voltajes excesivos, o puede causar un lazo de tierra CA en las líneas de datos resultando en ruido de interferencias de baja frecuencia.

Por esta razón, es imperativo que todos los protectores que proporcionen supresión de línea-a-tierra, sean conectados al mismo equipo y lógica de tierra que el equipo que van a proteger.

8.2.3.7 LÍNEAS TELEFÓNICAS POR LÍNEA CONMUTADA

Las interfaces de las conexiones por línea conmutada en uso incluyen las interfaces -RJ11 y RJ45-. Solamente las dos patillas del

medio, hacen la conexión de interface con la línea de dos alambres - conocidas como "tip" y "ring" ("punta y anillo")-. Además de los tubos de gas instalados por las telefónicas, a menudo requiere un protector secundario de estado sólido como el varistor de metal de oxido (MOV) o el diodo de avalancha de silicio para proteger adecuadamente el equipo EDP, las máquinas de fax y los moduladores de señales (módem) asociados con estos equipos. En la Figura 8.16 se muestra un típico circuito de protección. El tornillo de tierra o la conexión flexible o rabillo del protector, debe tener una referencia directa al nivel de voltaje, por medio de un alambre tan corto como sea posible, del chasis del conmutador de señales (módem), de la unidad central de proceso (CPU) o del terminal.

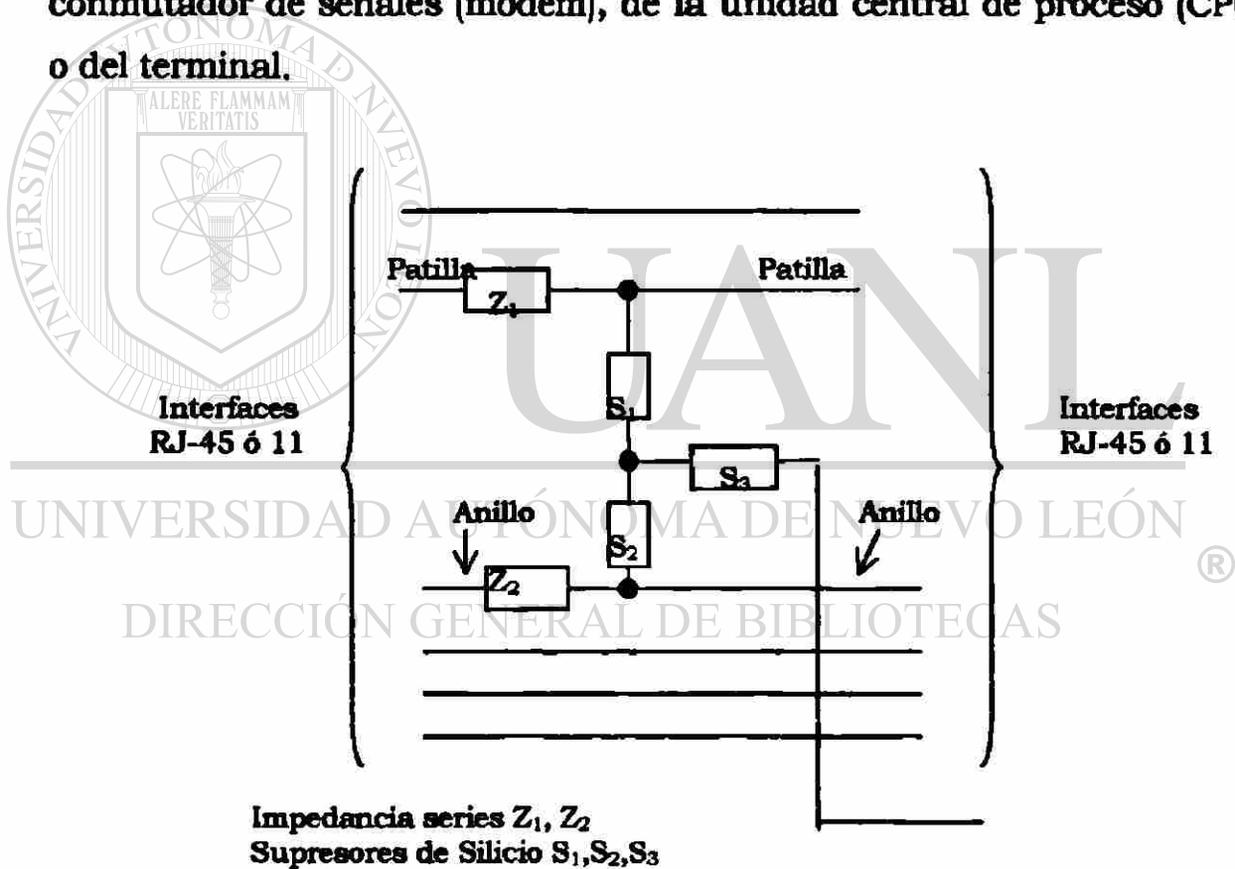


Figura 8.16 Supresores del Circuito RJ-45 o RJ-11
(Para Líneas Conmutadas de Teléfono)

8.2.3.8 LÍNEAS PRIVADAS

Las conexiones de las líneas privadas de la telefónica le dan al usuario una conexión privada de punto a punto. Las conexiones del tipo atornillado, enchufes similares RF11, o bloques con patillas pueden formar la interface del cliente. Debido a que el canal de "envío" consiste de dos alambres y el canal de "recepción" consiste de dos alambres, la protección total es para cuatro alambres. En la Figura 8.17 se muestra un circuito típico de protección para esta aplicación. Nuevamente, el tornillo de tierra o rabillo del protector debe estar en referencia directa al voltaje del chasis del equipo que se va a proteger.

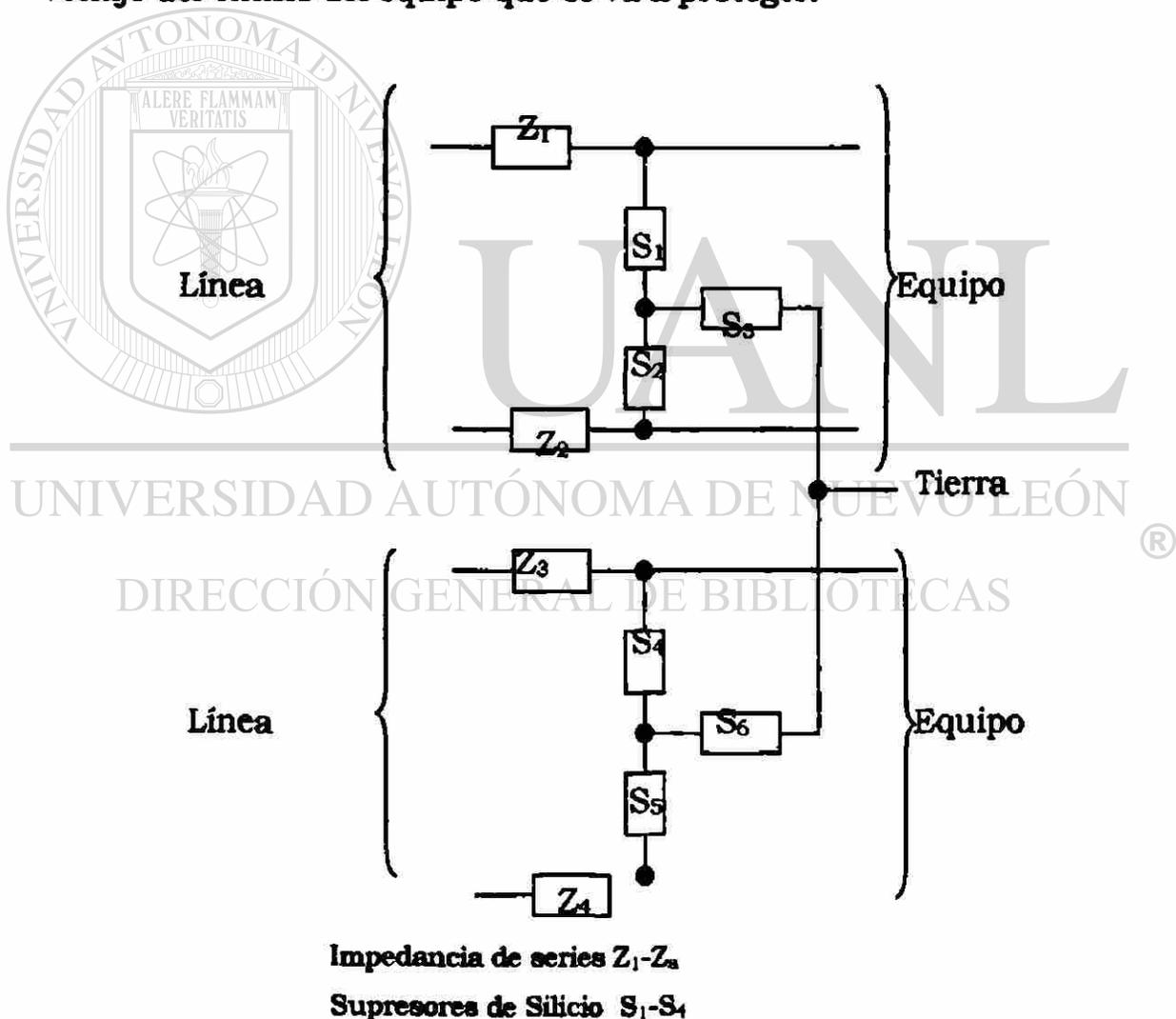


Figura 8.17 Circuito Supresor de Transitorios para Moduladores de Señales de Línea Privada

8.2.3.9 INTERFACES DE DATOS RS-232

La interface de comunicación de datos mas comúnmente usada continúa siendo la RS-232. Aunque la especificación de la interface RS-232 soporta sólo 50 pies de operación, muchas aplicaciones de miles de pies de longitud pasan datos hasta 9600 BPS. Las asignaciones para las 25 patillas, conector tipo D se definen en la Tabla 8-5. No existen estándares de asignatura para los conectores de 15 y 9 patillas también de uso común. La interface es susceptible a los daños causados por los rayos inducidos que pasan a través de los moduladores de señales (módem) o cuando son corridas entre edificios líneas de conexión alámbrica. RS-232 especifica un máximo de 15 volts, y voltajes tan pequeños como de 25 volts pueden dañar la interface del circuito.

Circuito	Num. De Patilla RS232	Num. De Patilla V.24	Descripción
AA	1	101	Tierra Protectora
BA 2	2	103	Transmisión de Datos
BB	3	104	Recepción de Datos
CA	4	105	Solicitud de Envío
CB	5	106	Listo para enviar
CC	6	107	Listo grupo de Datos
AB	7	102	Tierra de señal
CP	8	109	Recibida Detección Señal
-	9	-	(Reservado para prueba)
-	10	-	
-,SA	11	-	Sin Asignar
SCF,SB	12	121	Recibida detec. De señal
SCB	13	122	Secundario Listo p/Enviar
SBA	14	118	Transm. Datos secundarios
DB	15	114	Temporización elem. señal
SBB	16	119	Recepción de datos sec.
DD	17	115	Temp. De elem. de señal
-	18	-	Sin Asignar
SCA,SA	19	120	Solicitud de envío secundario
CD	20	106.2	Terminal de Datos Listo
CG	21	110	Detector de Calidad de Señal
CE	22	125	Indicador de timbre
CH/CI	23	111/112	Detector de Velocidad de señal
DA	24	113	Temporización de Elem. de señal
-	25	-	Sin Asignar

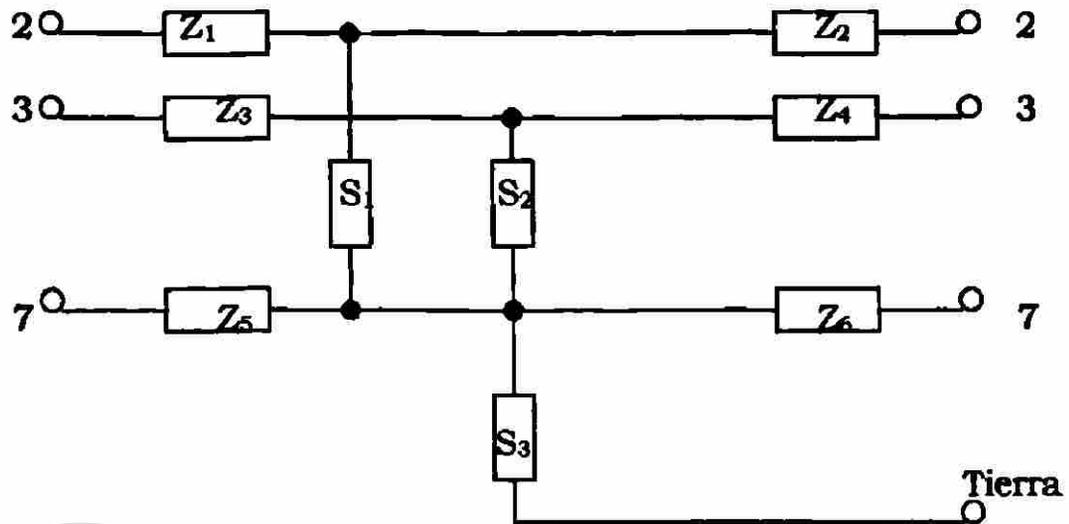
Tabla 8-5 Designación de las Patillas del Conector Interface

EIA RS232/CCITT V.24

En interfaces de alambre duro típicamente se conectan sólo patillas 2 (enviar), 3 (recibir) y 7 (señales de tierra). La referencia de voltaje de la patilla 7, en la mayoría de los casos, es el chasis de la Unidad Central de Procesamiento (CPU) o la terminal en cada extremo de los cables de enlace y posteriormente conectadas a dos diferentes sistemas de tierra, en las aplicaciones de edificio a edificio. Debido a las grandes diferencias de potenciales momentáneos que a veces se crean entre varios sistemas a tierra separados, durante una actividad atmosférica, una sobrecorriente de alta magnitud puede ser instantáneamente forzada a fluir en el alambre que conecta la patilla 7 en ambas interfaces RS-232. Esta sobrecorriente causará una gran diferencia de potencial -sobrevoltaje transitorio- entre la patilla 7 y otras patillas activas en las interfaces. Existen muchos casos documentados de equipos situados en uno o ambos extremos de una interface RS-232 que han sido destruidos durante una tormenta eléctrica.

Por esta razón, es esencial que la protección contra transitorios sea proporcionada entre la patilla 7 (señal de tierra) y todas las líneas de datos activas, lo mismo que a tierra, a ambos extremos del enlace. La protección de un solo extremo de una interface RS-232 no previene la formación de voltajes excesivos en el extremo distante. En la Figura 8.18 se ilustra un circuito básico de supresión para aplicaciones de RS-232. Es crítico en las aplicaciones de protección de RS-232 que el tornillo de protección de tierra o rabillo esté directamente referido al chasis del equipo que está protegiendo, utilizando como mínimo un alambre AWG Num. 12 -de hilos de cobre trenzados- tan corto como sea posible. Las computadoras de proceso de datos de cuadro principal o "mainframes" pueden proporcionar soporte a un número considerable de cables de datos blindados, pero desafortunadamente se conectan a tierra en ambos extremos, lo cual afecta la referencia de lógica en este punto.

Nuevamente, los 25 volts y la interface RS-232 posiblemente pueden sufrir daños.



Impedancia de series Z_1 - Z_4

Supresores de Silicio S_1 - S_3

Figura 8.18 Supresor de Transitorios de Interface Digital RS-232

Se recomienda que la patilla 1, usualmente identificada como protectora o tierra del chasis, no sea conectada a ninguna de las interfaces ya que puede acarrear bucles de tierra CA, las cuales pueden acoplar ruido de baja frecuencia en los circuitos de "envío" y "recepción".

8.2.4 PROTECCIÓN CATÓDICA

La protección catódica es utilizada para minimizar el efecto de corrosión de las estructuras metálicas enterradas. En la mayoría de los casos se piensa que el problema de corrosión es asociada con tuberías y tanques; sin embargo, la corrosión afecta cualquier estructura metálica enterrada. La corrosión puede ser producida directamente por ataques químicos, ataques microbiológicos, la acción de electroquímicos o por corrientes parásitas. El enfoque de éste tema será dirigido hacia los problemas de corrosión creados por las corrientes parásitas.

El suelo de la superficie de la tierra es una solución que no es homogénea y tiene una gran variedad de químicos, agua y oxígeno presentes que actúan como electrolitos. Esto crea la posibilidad de una reacción electroquímica entre el metal y la tierra que lo rodea. En cada tipo de celda el ánodo es consumido por la corrosión y el cátodo es protegido contra la corrosión.

Todos los metales y metales compuestos tienen una tendencia inherente de entrar en solución cuando son sumergidos en un electrolito. A una solución entran iones positivos y para lograr que ésta permanezca eléctricamente neutra, tales iones de carga positiva deben ser desalojados de la solución.

En el caso de tuberías metálicas en un suelo húmedo, los iones positivos del metal son intercambiados por el hidrógeno atómico que se forma sobre la superficie del tubo. A esto se le llama comúnmente "película de polarización" y si esta capa de hidrógeno permaneciera en este lugar, no ocurriría ningún efecto de corrosión.

Típicamente, debido al suelo y otras condiciones ambientales, este no es el caso común y salen más iones de la tubería. Con el tiempo se forma un hueco y ocurre el escape.

Ciertos metales y aleaciones forman una capa resistiva sobre la superficie y son resistentes a los problemas de corrosión; así que no necesitan protección catódica, como el cromo, el aluminio y el acero inoxidable.

Cuando se aplica protección catódica, es necesario que la estructura de metal tenga un potencial negativo con respecto a la tierra que la rodea.

Esto se logra proporcionando una fuente de corriente anódica. Otros químicos además del Hidrógeno pueden formar una capa en el cátodo y en el ánodo la cual es altamente resistiva y evita el flujo de corriente en una celda electroquímica. En la aplicación de protección catódica, para prevenir esto, se usa un suelo especialmente preparado que rodee instalación del ánodo para mejorar el flujo de corriente y prolongar su vida. Por consiguiente, la corriente protegida alimentada al suelo por la fuente de ánodo, (cama de tierra) retarda las corrientes de corrosión menos intensas y protege la estructura.

8.2.4.1 MÉTODOS PARA LA APLICACIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Existen dos métodos para la aplicación de protección catódica a las estructuras metálicas bajo tierra.

- 1) ÁNODOS GALVANIZADOS
- 2) SUELOS RECTIFICADORES

En ambos métodos, la corriente continua es alimentada de tal forma que el potencial entre la estructura que va a ser protegida y el suelo que la rodea tiene un valor de $-0.85 V_{cc}$. Este es un valor aproximado, ya que el valor real depende del lugar, resistividad del suelo, consideraciones técnicas y consideraciones económicas.

8.2.4.2 ÁNODOS GALVÁNICOS

Los ánodos galvánicos de Magnesio, Zinc o aleaciones de Aluminio, son utilizados en suelos de baja resistencia donde no se necesita gran cantidad de corriente, (ver figura 8.19). Estos son típicamente instalados en un suelo relleno químico que consiste de yeso, bentonita y sulfato de sodio, para mejorar la operación y prolongar la vida del ánodo. Puede existir una o múltiples instalaciones en lugares cercanos al lugar de corrosión.

VENTAJAS:

- 1- No es necesaria una fuente de potencia externa.
- 2- Costo mínimo de mantenimiento después de la instalación.
- 3- Mínimos problemas de interferencia con estructuras externas.
- 4- Bajo costo de instalación.

DESVENTAJAS:

- 1- Voltaje y corriente de salida limitados.
- 2- Limitaciones de resistividad del suelo.
- 3- No es tan efectivo con tubos de gran diámetro
- 4- Interferencias mutuas en instalaciones múltiples o paralelas.

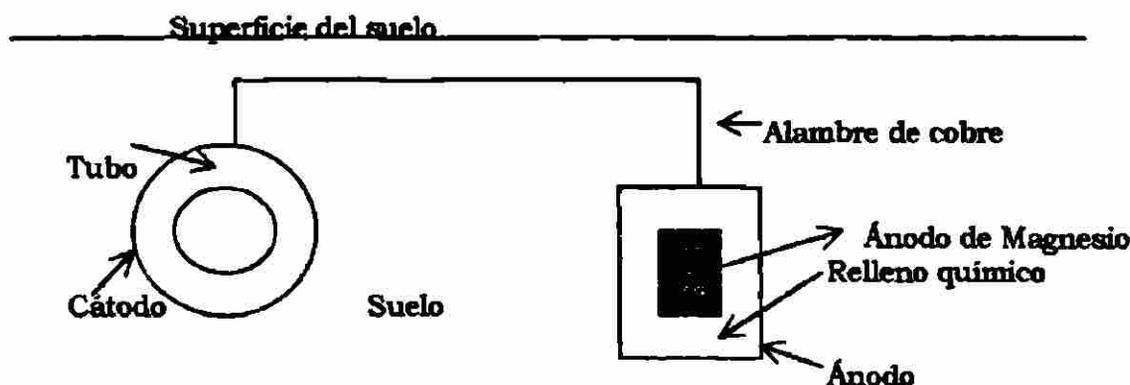


Figura 8.19 -Ánodo Galvánico

8.2.4.3 SISTEMA DE CAMA DE SUELO RECTIFICADOR

El concepto del método de cama de suelo rectificador consiste en que una celda electrolítica es desarrollada de tal forma que la estructura a proteger es el cátodo y el suelo es el ánodo,

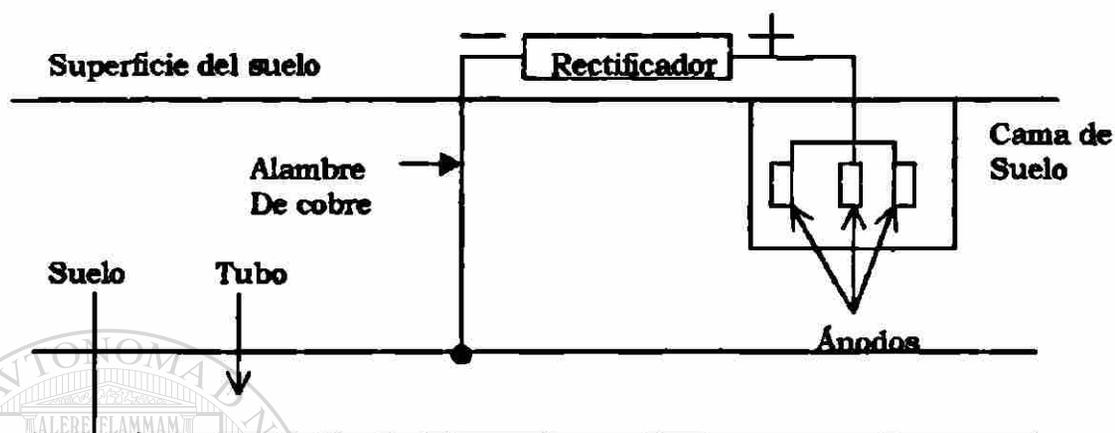


Figura 8.20 -Cama de suelo Rectificador-

El Suelo rectificador consiste de un número de electrodos enterrados en un "suelo preparado" y sujetos a la salida positiva de un rectificador y donde el lado negativo del rectificador es conectado a la estructura que va a ser protegida. El rectificador origina una corriente en la celda del electrolito de tal forma que los ánodos son consumidos y la estructura recibe la corriente del suelo y es protegida. Existen tres configuraciones principales en la instalación de estos suelos.

1.- CAMAS CONVENCIONALES O CAMAS DE SUELOS PROFUNDOS.

Ambos actúan como puntos de alimentación y proporcionan una gran distribución de corriente protectora en los suelos de alta resistividad para tuberías de gran longitud. Las camas convencionales de suelo son ubicadas a cierta distancia de la estructura que van a proteger y son instalaciones de relativamente poca profundidad - igual o

menor a 50 pies- con múltiples electrodos en suelos especialmente preparados para mejorar su distribución de corriente. Esto crea una distribución superficial horizontal de corriente. Las instalaciones de suelos profundos son de 250 a 300 pies de profundidad y consisten de múltiples electrodos de grafito instalados en una distribución vertical dentro de una estructura de acero especialmente construida y llena de un carbón llamado "Coke Breeze". Esto crea una distribución amplia de corriente que proviene desde el fondo de la estructura. Ambas configuraciones están sujetas a los problemas de interferencia de estructuras externas.

2.- CAMAS DE SUELO DISTRIBUIDAS

Estas instalaciones cercanas a la superficie son usadas a menudo en las estaciones de compresores o de bombeo, tanques agrícolas, terminales de líneas petroleras y refinerías.

Los ánodos son esparcidos a lo largo del campo y pueden ser o no configurados en diseños geométricos dependiendo de los efectos de protección de las varias estructuras del sitio.

3.- CAMAS DE SUELO CONTINUAS HORIZONTALES/PARALELAS®

En este tipo de instalación un ánodo continuo o de múltiples ánodos es instalado en una encamación paralela y cerca de la estructura que va ser protegida. Se utilizan en ambientes altamente corrosivos y donde numerosas estructuras externas se encuentran en la proximidad a las estructuras a ser protegidas y donde la interferencia es un factor importante.

VENTAJAS:

- 1- Salida de grandes corrientes
- 2- Aplicable en suelo altamente resistivo
- 3- Control flexible de corrientes

- 4- Aplicable a estructuras sin revestimiento o con revestimiento pobre
- 5- Protege estructuras más grandes de mayor expansión.

DESVENTAJAS:

- 1- Altos costos de instalación
- 2- Altos costos de mantenimiento
- 3- Costos mensuales de energía
- 4- Problemas de interferencia con estructuras externas

8.2.4.4 CORRIENTES PARÁSITAS

Las corrientes parásitas o "corrientes de fuga" introducidas al suelo por fuentes externas pueden interferir con los sistemas catódicos de protección existentes y crear flujos de corriente en sistemas no protegidos lo cual causará corrosión.

Entre las fuentes de estas corrientes se encuentran los rieles de carros trole, equipo de soldar conectado a tierra negativamente en corriente continua, u otro sistema de protección catódica en el área. Para minimizar los efectos de estas corrientes, se requieren métodos diferentes:

- 1) En el caso de equipos de soldar, se usa un sistema de dos alambres en lugar de usar el suelo como trayectoria de retorno.
- 2) Si existen múltiples sistemas de protección catódica en el área, es necesario coordinar la distribución de corriente con otros grupos y unir conjuntamente de una manera resistiva los sistemas independientes.
- 3) En el caso del sistema de trolebús, dependiendo de si los rieles son negativos o positivos y del flujo de corriente en

el sistema podría proporcionarse protección catódica para la estructura de metal. Cada caso de interferencias de corrientes parásitas debe ser examinado individualmente.

Otro problema similar a las de corrientes parásitas es el problema de "robo" de corrientes de CC por sistemas de tierra de CA. En este caso el sistema de tierra de CA sirve como una mejor trayectoria de retorno para la corriente de CC que la estructura metálica que se va a proteger.

Este problema se debe a una conexión a tierra incorrecta y a la ubicación inapropiada de los ánodos.

Para sistemas de protección catódica, el lado positivo del rectificador es conectado al sistema de electrodo de tierra. El código NEC sección 250-22, trata sobre la conexión a tierra de un sistema rectificador.

En esta configuración, una corriente de CC aparecerá en el sistema de tierra de CA, lo que puede causar alguna confusión cuando de estén efectuando investigaciones de problemas eléctricos. El voltaje y la corriente de CC son alimentados por el rectificador, el cual consiste de una fuente rectificadora de onda completa monofásica sin la aplicación de ningún filtro para minimizar la ondulación. En algunos equipos de prueba de CA esta ondulación de CC produce lecturas como si fuera una verdadera onda de CA tanto para las lecturas de corriente como para las voltaje.

Para eliminar esta confusión puede ser necesario el paro del sistema de protección catódica durante la exploración de problemas del sistema CA.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 AUDITORÍA DE SITIOS

"REPORTE DE UNA AUDITORIA DE SITIO PARA UNA EMPRESA DE TELEFONÍA CELULAR"

9.1.1 INTRODUCCIÓN

El presente reporte fue elaborado para una empresa de telefonía celular de la Ciudad de México, D.F., con el fin de determinar la calidad de potencia, el sistema de Conexión a Tierra y el sistema de protección contra rayos.

El propósito de esta auditoria era determinar la causa de un continuo daño a las tarjetas de circuitos impresos en el panel de control del rectificador durante tormentas con descargas atmosféricas.

El sitio consistía de una estructura primaria la cual contenía el equipo de comunicaciones, rectificadores y baterías; una segunda estructura contenía un generador Diesel de respaldo y un conmutador de transferencia; y dos torres de comunicación (Referirse al Dibujo #1).

La energía suministrada al sitio por la Central Eléctrica consistía de un sistema trifasico 120/208 Vrms, el cual alimentaba un interruptor de Desconexión ubicado en el exterior de la estructura de comunicaciones. El interruptor de Desconexión alimentaba el Conmutador de Transferencia ubicado dentro de la sala del generador. La salida del Conmutador de Transferencia alimentaba directamente el Tablero principal #1 ubicado dentro de la estructura de comunicaciones.

Un segundo Tablero Principal #2 adyacente al Tablero #1, también recibía energía trifásica 120/208 Vrms de la entrada del Interruptor Principal en el Tablero #1.

El equipo de comunicaciones estaba suministrado por un sistema de 24 y 48 VCC. Solamente el panel de Control del Rectificador, el sistema de alumbrado y el sistema de aire acondicionado y calefacción recibían CA. Durante la inspección del sitio al Central Eléctrica estaba suministrando energía a este sitio.

9.1.2 RESULTADOS DEL ESTUDIO DE POTENCIA

El Tablero Principal #1, ubicado en la estructura de comunicaciones, era alimentado por el Conmutador de transferencia, ubicado en el Cuarto del Generador, con 120/208 Vrms de energía trifásica. El Interruptor Principal para este tablero tenía una capacidad de 100 Amperios por fase. Los voltajes de Fase-Neutro midieron respectivamente 122, 122 y 124 Vrms y los voltajes de Fase-Fase midieron 212, 212 y 214 Vrms. El voltaje Neutro-Tierra midió 0.68 Vrms y 3.0 Vpp. No existía evidencia de un voltaje con una distorsión armónica significativa. Las corrientes no balanceadas de Fase causaron la circulación de una corriente de 10 amperes en el conductor Neutro.

Se verificó que toda la corriente disponible no cancelada estaba de hecho circulando en el conductor Neutro y esto fue efectuado midiendo conjuntamente, con el amperímetro. No se encontró ninguna medida de corriente en los conductores de tierra.

Se encontraron numerosas violaciones del Código Nacional Eléctrico (NEC) en el Tablero Principal #1, las cuales enumeramos a continuación:

1. No existía una unión Neutro-Tierra en el Tablero Principal. La unión Neutro-Tierra fue efectuada en el Conmutador de Transferencia en el Cuarto del Generador.

2. El color de aislamiento del conductor Neutro era negro en contra de lo exigido por el Código que especifica que sea o de color blanco o gris.

3. En algunos conductores de Fase ramal fueron utilizados alambres aislados de color blanco.

4. Para algunos conductores neutros de circuito ramal fueron utilizados alambres aislados de color verde.

La falta de una unión adecuada de Neutro-Tierra para la potencia de CA suministrada a esta instalación, fue uno de los factores importantes en los daños relacionados con descargas atmosféricas y será discutido mas adelante en la Sección de Conexión a Tierra de este reporte.

Un segundo Tablero Principal de 100 amperes (Tablero Principal #2) estaba alimentado directamente con 120/208 Vrms de energía trifásica proveniente de la entrada del Interruptor Principal de 100 amperes en el Panel Principal #1.

Los voltajes de Fase-Neutro en este tablero midieron respectivamente 122, 123 y 124 Vrms y los voltajes de Fase-Fase midieron 213, 213 y 214 Vrms.

El voltaje Neutro-Tierra midió 0.78 Vrms y 4.0 Vpp. Nuevamente, no fué detectada distorsión atmosférica significativa. Las corrientes de Fase midieron respectivamente 10, 7 y 6 amperios. Es importante anotar que debido a la conexión de la alimentación en tandem, estas corrientes contribuían a las corrientes medidas en el Tablero Principal #1.

Estas corrientes no balanceadas de Fase eran la causa de 3.8 amperios que circulaban en el conductor Neutro que alimentaba al Tablero Principal #2. Midiendo la corriente de los conductores de Fase

conjuntamente, por medio de un amperímetro de pinzas, se verificó de nuevo que toda la corriente disponible, no balanceada, no cancelada, circulaba en el conductor Neutro.

Existe en este Tablero una violación del Código debido al hecho de que el conducto eléctrico de metal que proviene del Tablero Principal #1 (en el cual se extienden los conductores de Fase y el Neutro) se encuentra flotando hacia el Tablero Principal #2 y no se hizo ninguna otra conexión de Tierra de Seguridad al gabinete.

En una eventualidad de un corto circuito o falla del conductor de Fase con el gabinete, no se efectuaría el disparo del Interruptor Automático de Seguridad y el personal podría estar expuesto al peligro de un choque eléctrico.

El positivo del sistema de potencia de 48 VCC se encuentra conectado a tierra. Se midió un voltaje de 51.5 VCC mas un ruido de 400mV de CA. El negativo del sistema de 24 VCC se encuentra conectado a tierra. Se midió un voltaje de 26.8 VCC mas 200mV de ruido de CA. Fueron observados picos esporádicos de voltaje mayores de 1.0 Vpp en el sistema de 24 VCC y se sospecha eran causados por descargas del SCR o un capacitor en el rectificador.

9.1.3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INSPECCIÓN DE TIERRAS

El esquema de Conexión a Tierra del sitio consistía de una barra de Tierra, enterrada en el suelo, de solamente 1.0 metro de profundidad, cerca de la estructura de comunicaciones, a la cual se conectaba una Barra de Tierra Principal (MGB), ubicada dentro de la instalación, lo mismo que el sistema de tierra de ambas torres conectadas por medio de un cable multiconductor de calibre 2/0 AWG.

El sistema de tierra de ambas torres consistía en un Anillo de Tierra con cable de calibre 2/0 AWG, enterrado en el suelo solamente

0.5 metro de profundidad, y suplementado con tres barras de un metro de profundidad, cada una ubicada en cada esquina de cada torre. Aunque el Código exige un mínimo de 8.0 pies (aproximadamente 3 metros) de profundidad para las barras de tierra y 30 pulgadas (aproximadamente 1 metro) para los Anillos de Tierra, el suelo rocoso debajo de la superficie del suelo exigía el cumplimiento de esta provisión del Código. Usando el método de caída de potencial del 62%, la Barra de Tierra Principal de la instalación (incluyendo el efecto combinado de todos los otros sistemas de tierra) se midió una resistencia de 10 ohmios a tierra.

En la parte superior de cada torre fué instalada una varilla pararrayos, para la conducción de rayos utilizando un cable correctamente calibrado como Conductor Bajante (2/0 AWG, cable multicolor) el cual se encontraba conectado a una de las Barras de Tierra en la base de cada torre. En un caso, la misma barra fué usada tanto para el Conductor Bajante como para la conexión a la Barra Principal de Tierra de la instalación. Una mejor práctica hubiera sido unirla a otra de las barras de tierra del anillo para limitar el flujo de corriente de rayos a la Barra Principal de Tierra de la instalación.

Una técnica común para limitar el salto del arco a la estructura metálica de la torre es la de conectar de nuevo el Conductor Bajante en la parte superior lo mismo que en la parte inferior de la torre. Se observó durante la inspección que una parte del Conductor Bajante en una de las torres había sido recientemente cortada y supuestamente robada por ladrones.

La Barra de Tierra Principal de la instalación proporcionaba una conexión a tierra para la Barra de Tierra para protección de cables de comunicación y para otras barras de tierra ubicadas en toda la instalación con el propósito de aterrizar todos los gabinetes del equipo, lo mismo que las fuentes de alimentación de 48 VCC y 24 VCC. Ambas barras estaban correctamente aisladas de la pared y se tuvo cuidado de

no permitir otra referencia a tierra de los gabinetes del equipo, con la intención de proporcionar un punto único de conexión a tierra en toda la instalación. Como resultado, no se detectaron corrientes de lazo cerrado en los conductores de tierra que interconectaban las diferentes barras de tierra.

Una medición efectuada entre la barra del Neutro del Panel Principal #1 y la Barra de Tierra para Protección de Cables indicó 0.68 Vrms (3 Vpp). Una inspección del Panel de Control que sufrió daños durante las tormentas de rayos mostró un voltaje Neutro-Tierra entre el Neutro que suministraba 120 Vrms de CA al Panel de Control y su gabinete el cual variaba entre 0.6 y 1.0 Vrms. Se hizo una medida de la impedancia entre el Neutro y el gabinete del Panel de Control la cual mostró 7 ohms. Esta condición existía porque el Neutro no estaba referenciado al sistema de tierra de la estructura lo cual es requerido por el Código. Durante tormentas de rayos, se generará un gran voltaje entre la entrada del Neutro al panel de Control y el chasis. La única conexión entre el chasis del Panel de Control y el gabinete era por medio de un tornillo de montaje.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

9.1.4 RESULTADOS DE TRANSITORIOS

Fueron instalados dos supresores de sobrevoltajes transitorios para la protección de potencia de CA. Fué instalado un pequeño supresor de marca EFI, Modelo Omni Phase, protector de 3 Fases en el secundario del Interruptor de Desconexión de 120/208 Vrms, montado en la pared exterior de la estructura de comunicaciones.

Desafortunadamente, la capacidad del supresor era para 277/480 y con una limitación de voltaje demasiado alto para proporcionar protección adecuada contra los sobrevoltajes transitorios que incurrían en la instalación por medio de la entrada de servicio de CA.

El segundo protector, Modelo SII de la empresa Northern Technologies, fué instalado en el secundario del Conmutador de Transferencia ubicado en el Cuarto del Generador. Este protector estaba correctamente calibrado para 120/208 Vrms, pero desafortunadamente demasiado lejos de la estructura de comunicaciones para proporcionar protección al Panel Principal contra los sobrevoltajes transitorios inducidos por rayos.

La solución adecuada para la protección del sistema de distribución de CA dentro de la estructura de comunicaciones será la instalación de un protector trifásico, con una capacidad correcta, en el Panel Principal #1. Para un tiempo de respuesta rápido en el evento de sobrevoltajes transitorios inducidos por rayos, el protector debería ser de la tecnología mas avanzada de supresión que es la Tecnología de Diodos de Avalancha de Silicio.

9.1.5 DATOS DE REPORTE

9.1.5.1 REGISTRO DE LA INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA

PANEL PRINCIPAL #1

100 Amperes, 3 Fases, 120/208 Verms

Mediciones del Tablero

N-Tierra de Seguridad 0.68 Vrms 3 Vpp.

Fase A:	38 A	A-N	122	Vrms
Fase B:	16 A	B-N	122.1	Vrms
Fase C:	25 A	C-N	124.2	Vrms
Neutro:	10 A	A-B	212.2	Vrms
Tierra de Seguridad:	0 A	A-C	211.9	Vrms
		B-C	213.7	Vrms

- Notas:**
- a) Se midieron 10 A alrededor de las tres fases
 - b) Se midieron 0.74 Vrms entre el Neutro y la Tierra de la Instalación principal.

PANEL PRINCIPAL #2

100 Amperes, 3 Fases, 120/208 Vrms

Mediciones del Tablero:

N-Tierra de Seguridad: 0.78 Vrms 4 Vpp

Fase A:	10 A	A-N	121.9 Vrms
Fase B:	7 A	B-N	122.8 Vrms
Fase C:	6 A	A-B	123.8 Vrms
Neutro:	3.8 A	A-B	213.0 Vrms
Tierra de Seguridad:	0 A	A-C	212.6 Vrms
		B-C	213.8 Vrms

- Notas:**
- a) Se midieron 3.8 Amperes alrededor de las tres fases
 - b) El conducto eléctrico del Tablero #1 flotando al Tablero #2 y ninguna otra Tierra de Seguridad aparente

TABLERO DE CONTROL PARA LOS RECTIFICADORES Y POTENCIA CC

- a) Sistema de 48 VCC= Se midieron 51.5 VCC mas 400 mVCA de ruido. Tierra al Positivo
- b) Sistema de 24 VCC= Se midieron 26.8 VCC mas 200 mVCA de ruido. Tierra al Negativo. También picos periódicos de 1 Vpp.

También se midieron:

0.6 - 1.0 Vrms de la entrada del Neutro al gabinete del Tablero de Control.

Se midió una impedancia de 7 ohmios del Neutro al gabinete del Tablero de Control.

9.1.6 RESUMEN

El sitio es estimado como un sitio bien diseñado con la intención de seguir las normas del Código Nacional Eléctrico y las prácticas de tierra en cuanto a la utilización del único punto de conexión a tierra. Algunas violaciones del Código y ciertas áreas que requieren mejoramiento contribuyeron, sin embargo, a los daños sufridos por el equipo durante tormentas con rayos. Estos y otros puntos de preocupación se resumen a continuación:

1. Las corrientes de Fase en el Panel Principal #1 estaban extremadamente desbalanceadas y causaban una circulación de corriente de 10 amperes en el conductor Neutro. Esta excesiva falta de balance puede contribuir a voltajes inestables durante la conmutación de cargas.

2. No existía unión Neutro-Tierra en el Panel Principal #1 como exige el Código. La falta de esta unión correcta de Neutro-Tierra puede crear un peligro de seguridad de contacto, impide la activación de los interruptores de circuito durante condiciones de falla, lo mismo que provoca mayor susceptibilidad a daños causados por rayos.

3. Se utilizó un color incorrecto de aislamiento de los conductores de Fase, Neutro y Tierra en ambos tableros el Tablero Principal #1 y el Tablero Principal #2. De acuerdo con el Código, el conductor Neutro debe ser de color blanco (o gris), el Conductor de Tierra debe ser verde (o verde con una raya amarilla). Estos colores no deben usarse con otros conductores diferentes.

4. El conducto metálico que conecta el Tablero Principal #1 al Tablero Principal #2 se encuentra flotando. Ninguna otra conexión de Tierra de Seguridad se ha hecho al gabinete del Tablero Principal #2. En la eventualidad de una falla de uno de los conductores de Fase al gabinete, el interruptor de Fase o el Interruptor Principal no se dispararía.

5. Se midió la impedancia a tierra del suelo del sitio y dió como resultado 10 ohms, que aunque esté dentro de los 25 ohms permitidos por el Código, es mayor que el estándar recomendado de 5 ohms para la mayoría de sitios de comunicaciones. **En áreas de alta incidencia de rayos, es deseable cuando sea posible, obtener para el sistema de protección contra rayos, una impedancia de 1 ohm o menor.** En áreas tales como este sitio, de suelo rocoso cerca a la superficie del terreno, entonces la conexión a tierra correcta de punto único de conexión y unión puede ser la única solución para eliminar grandes diferencias de potencial entre los equipos durante tormentas de rayos.

6. En una de las torres, la misma barra en la base de la torre fue usada para el Conductor Bajante y para conectar el Anillo de Tierra a la Barra de Tierra del sitio. Una mejor práctica hubiera sido haber hecho una conexión a la Barra de Tierra del sitio con una barra diferente del Anillo de Tierra para limitar el flujo de corriente de rayos a la tierra del sitio.

7. Una parte del Conductor Bajante de una de las torres fué cortado recientemente y se presume fué robado por ladrones.

8. El voltaje de Neutro-Tierra entre el Neutro alimentando al panel de Control y su gabinete midió 1.0 Vrms. La medición de impedancia entre estos dos mismos puntos dió 8.0 ohms. La causa de esta condición fué debido al hecho de que el Neutro no estaba referido al sistema de tierra de la estructura como lo requiere el Código Nacional Eléctrico. Durante una tormenta de rayos se desarrollará un gran voltaje

entre la entrada del Neutro al Tablero de Control y al chasis del Tablero de Control.

9. La única conexión entre el chasis del Tablero de Control y su gabinete era por medio de tornillos de montaje.

10. Fué instalado un protector de CA de capacidad incorrecta (277/480 vs. 120/208) en el secundario del Conmutador de Desconexión montado en la pared exterior de la estructura. Este protector tenía un límite de fijación de voltaje muy alto para proporcionar protección adecuada.

11. Un protector adicional, de capacidad correcta de 120/208 Vrms, fué instalado en el secundario del Conmutador de Transferencia ubicado en el Cuarto del Generador. Este protector estaba demasiado lejos de la estructura de comunicaciones para proporcionar una protección adecuada al equipo.

Una Empresa de Telefonía Celular

Ciudad de México, México

9.1.7 RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones están dirigidas a

1. Resolver las violaciones del Código Nacional Eléctrico.
2. Mejorar la integridad del sistema de tierra de potencia.
3. Prevenir otros daños causados por rayos a los equipos en el sitio.

1°.- Reinstalar interruptores de circuito en ambos tableros, (Tablero Principal #1 y Tablero Principal #2) para proporcionar un mejor balance de corrientes de Fase y la subsecuente reducción de corrientes en el Neutro y de voltaje asociado Neutro-Tierra.

2°. Crear una unión correcta de Neutro-Tierra en el Tablero Principal #1 a la tierra de la instalación principal de la estructura de comunicaciones de acuerdo con el Código.

3°. Instalar conductores de Fase, Neutro y Tierra con aislamiento de color correcto en ambos tableros, (Tablero Principal #1 y Tablero Principal #2) para eliminar la posibilidad de confusión y para estar de conformidad al Código Nacional Eléctrico.

4°. Proveer una Tierra de Seguridad para el gabinete del Tablero Principal #2. Utilizar alambre correctamente calibrado, preferible que usar conducto eléctrico o ambos.

5°. Si es posible, bajar la profundidad de ambos Anillos de Tierra a 1.0 metro para estar de conformidad con el Código y dirigir más la energía del rayo al suelo en tales ubicaciones. Considerar el uso de tratamiento del suelo en la proximidad del sistema de los dos Anillos de Tierra, con un electrolito no corrosivo, para reducir la impedancia general del Sistema de Tierra.

6°. Hacer la conexión a la barra de Tierra de la Instalación Principal desde las barras del Anillo de Tierra y no de las barras conectadas a los conductores bajantes a la base de las torres, para limitar el flujo de corriente de rayos a la barra de la Instalación Principal.

7°. Encontrar los ladrones, recuperar el alambre e instalar de nuevo el segmento robado del Conductor Bajante.

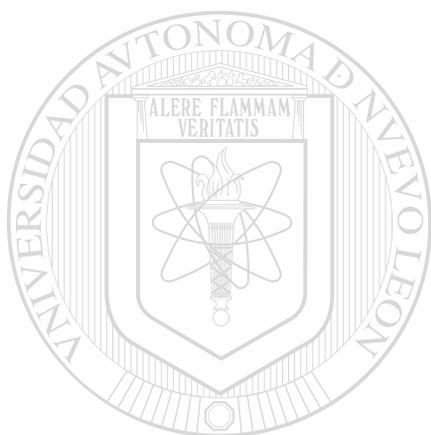
8°. Medir de nuevo la impedancia Neutro-Tierra en el Tablero de Control después de la instalación de la unión Neutro-Tierra en el Tablero Principal #1. Verificar que sea menor de 1.0 ohm.

9°. Unir el chasis del Tablero de Control con su gabinete asociado utilizando como mínimo alambre #8 AWG, multifilar.

10°. La única función del protector ubicado en el secundario del Conmutador de Desconexión, de capacidad incorrecta, parecía ser la protección del Conmutador de Transferencia electrónico ubicado en el

Cuarto del Generador. Se debe Reemplazar con un protector de capacidad 120/208 Vrms, de Diodo de Avalancha de Silicio instalado en el Cuarto del Generador, ubicado tan cerca como sea posible al Conmutador de Transferencia.

11°. Instalar un protector de Diodo de Avalancha de Silicio, de capacidad 120/208 Vrms, tan cerca como sea posible al Tablero Principal #1 (a la mínima distancia de alambrado).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

10 BIBLIOGRAFÍA

En la elaboración del presente trabajo fué utilizada información contenida en los siguientes documentos:

1.- AT&T PRACTICE STANDARD:

1.1 AT&T 154-001-000AC:

Network Power Management

July 1994

1.2 AT&T 154-001-050

Power And Infraestructure Standards Manual Sep. 1993

1.3 AT&T 802-001-180

Protective Ground Systems-General Grounding Requirements
For Communication Systems In Central Offices, Radio Stations
And Other Structures.

June 1983

1.4 AT&T 802-005-180

Assembly And Instalation Of Power Plant Bus Bar And Wiring[®]

January 1983

1.5 AT&T803-500-150

Grounding Practices -Telecommunication Systems Grounding-
New Buildings Housing Digital And/Or Analog

Telecommunications Equipement Requirements And

Engineering Information.

February 1993

1.6 AT&T803-500-410

Grounding Practices -Isolated Ground Planes-Engineering And
Application Information

June 1989

1.7 AT&T

Installation Engineering Handbook No. 181: "NCS Power Systems Engineering And Installation Standards For At&T Network Systems" May 1995

1.8 AT&T

Installation Engineering Handbook No. 1: "Power Installations" June 1995

1.9 AT&T 802-001-191

Office Ground Electrodes- General Equipement Requirements And Engineering Information

1.10 AT&T 802-001-192

Equipment Grpund System, Central Offices-General Equipement Requirements And Engineering Information

1.11 AT&T 802-001-193

Equipement Ground System, Central Offices- General Interface Requirements for DC Power Plants and Communication

Systems

1.12 AT&T 802-001-195

Equipement Ground System, Central Offices-General Interface Requirements, For Electronic Switching Systems

1.13 AT&T 802-001-196

General Equipement Ground Requirements For Microwave RadioMain And Auxiliary Stations

1.14 AT&T 802-001-198

General Equipement Ground Requirements For A.C. Service Distribution Systems In Communication System Buildings.

2.- CFE D8CME-07

Protección anticorrosiva para cimentación en estructuras de líneas de transmisión.
Enero 1990

3.- F. Dawalibi, D. Mukhedkar, IEEE Transactions On Power Apparatus and Systems.-

"Multi-Step Analysis Of Interconnected Grounding Electrodes"
Jan/Feb 1976

4.- F. Dawalibi, D. Mukhedkar, IEEE Transactions On Power Apparatus and Systems "Resistence calculation of interconected Grounding Electrodes"

Jan/Feb 1977

5.- F. Dawalibi, D. Mukhedkar "Potenciales de Tierra Transferidos en Sistemas de Potencia" Universidad Técnica del Estado, Santiago de Chile, Abril 1977.**6.- F. Dawalibi, A. Pinho, "Computerized Analysis of Power Systems and Pipelines Proximity Effects" IEEE Transactions on Power**

Delivery, April 1986.

7.- F. Dawalibi, R.D. Southey, R.S. Baishiki "Validity of Conventional Approaches for Calculating Body Currents Resulting From Electric Shocks" Transactions on Power Delivery, April 1990.**9.- NATIONAL ELECTRIC CODE (Código Nacional Eléctrico)**

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMP-1994,

Editado por el Instituto Politécnico de México, 1994.

11 LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1	Clasificación de los subsistemas de conexión a tierra en las instalaciones electrónicas
Figura 5-1	Electrodo encerrado en Concreto (tierra Ufer)
Figura 5-2	El Anillo de tierra
Figura 5-3	La Varilla de Tierra
Figura 5-4	Profundidad de Enterramiento en pies Resistencia del suelo contra Profundidad de enterramiento de la Barra.
Figura 5-5	Tierra en Estrella
Figura 5-6	Principio de la Prueba de Resistencia de Suelo (Caída Potencial)
Figura 5-7	Violaciones Múltiples a las estipulaciones de conexión a Tierra
Figura 6-1	Mapa Isokerónico de EE.UU.
Figura 6-1b	Mapa isokerónico Mundial
Figura 6-2	La Jaula de Faraday
Figura 6-3	Radio de Protección de Rayos
Figura 6-4	Unión Correcta de Instalación
Figura 7-1	Retorno de Corriente de Falla
Figura 7-2	Seguridad de Contacto
Figura 7-3	Condiciones que predominan en un sistema de Potencia
Figura 7-7A	Esquemas de Sistemas TT
Figura 7-7B	Método Europeo de Conexión a Tierra
Figura 8-1	Diagrama de Tierra para el sistema digital de control de oficina central.
Figura 8-2	Campo de Tierra de la Oficina Central

- Figura 8-3** Conexiones de los Conductores de Tierra
- Figura 8-4** Barra Principal de Tierra (MGB)
- Figura 8-5** Conexiones a Tierra
- Figura 8-6** Forma de Onda de una Corriente de Cortocircuito de Descarga Estática
- Figura 8-7** Típico Banco de Trabajo conectado a Tierra para las Descargas Electroestáticas (DOD-HDBK 263)
- Figura 8-8** Malla de Referencia de Señal
- Figura 8-9** Blindaje para Interferencias Electromagnéticas (EMI)
- Figura 8-10** Conexión Doble a Tierra de Blindaje
- Figura 8-11** Blindaje de Señales de Bajo Nivel
- Figura 8-12** Blindaje Añadido para la Reducción del Ruido de Radiofrecuencia (RF)
- Figura 8-13** Configuración Simple de Campo Dentro de un cable Coaxial
- Figura 8-14** Acoplamiento de Modo Común en Líneas Coaxiales
- Figura 8-15** Conexiones Múltiples a Tierra de un cable Triaxial
- Figura 8-16** Supresores del Circuito RJ-45 o RJ-11
(Para líneas conmutadas de Teléfono)
- Figura 8-17** Circuito Supresor de Transitorios para Moduladores de Señales de Línea Privada.
- Figura 8-18** Supresor de Transitorios de Interface Digital RS-232
- Figura 8-19** Ánodo Galvánico
- Figura 8-20** Cama de Suelo Rectificador

12 LISTADO DE TABLAS

Tabla 250-94	Conductor del Electrodo de Tierra para sistemas de CA
Tabla 5-1	Variación de la Resistividad de Tierra Arenosa
Tabla 5-2	Distancia aproximada a los Electroodos auxiliares usando el Método 62%
Tabla 250-95	Capacidad o Ajuste del Dispositivo Automático de Sobrecorriente de Circuitos
Notas 310-16	Factores de Ajuste y Conductor Neutro
Tabla 8-1	Longitud Máxima del Conductor para cumplir con los objetivos de resistividad del Conductor de Tierra
Tabla 8-2	Voltajes Electrostáticos Típicos (DOD-HDBK 263)
Tabla 8-3	Valores de k para el Cálculo del "Efecto Pelicular"
Tabla 8-4	Características de conductores para 1000 pies de longitud
Tabla 8-5	Designación de las patillas del conector de interface EIA RS232/CCITTV.24

Apéndice 1

NEC 250-5 LOS CIRCUITOS Y SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA DEBEN CONECTARSE A TIERRA.

a).- SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA DESDE 50 A 1000 VOLTS.

Los Sistemas CA de 50 a 1000 volts que Alimenten alambrados y sistemas de alambrado de edificios, se conectarán a tierra bajo cualesquiera de las condiciones siguientes:

- Donde el sistema pueda ser puesto a tierra de tal manera que el voltaje máximo a tierra de los conductores no puestos a tierra (energizados) no excedan de 150 voltios.
 - Donde el sistema sea una estrella de 3 fases, 4 hilos en el cual el neutro se usa como un conductor de circuito.
 - Donde el sistema sea de 3 fases, 4 hilos conectados en delta, en el cual el punto medio del embobinado de una fase se use como un conductor del circuito.
-
- Donde un conductor conectado a tierra de la acometida no esté aislado de acuerdo a las Excepciones de las Secciones 230-22, 230-30 y 230-41.

b) SISTEMAS DERIVADOS SEPARADAMENTE.

En sistemas de alambrado de locales o edificios, cuya energía proviene de devanados de un convertidor, generador o transformador y que no tienen conexión eléctrica directa (incluyendo un conductor de circuito sólidamente conectado a tierra para alimentar a los conductores que se originan en otro sistema), de requerir conectarse a tierra, se conectarán a tierra según se especifica en la Sección 250-26.

NOTA No. 1: Una fuente alterna de energía de corriente alterna, tal como un generador en sitio, no es un sistema derivado separadamente, si el neutro está sólidamente interconectado al neutro de un sistema que alimenta el servicio o acometida.

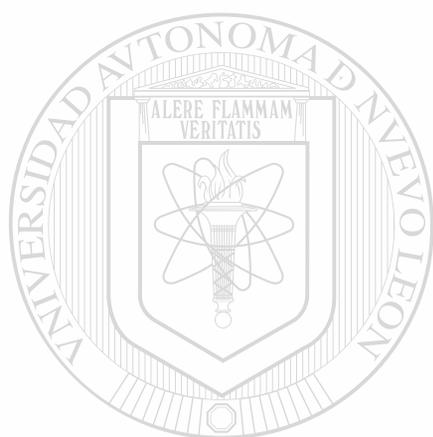
c) SISTEMAS NO REFERIDOS A TIERRA -SECCIÓN 250-5(B), (D)-

La referencia a tierra es sólo para funciones de seguridad. El sistema eléctrico de distribución y el equipo energizado por éste, no requieren de ésta conexión para operar apropiadamente. Un avión, por ejemplo, lleva y requiere una gran cantidad de equipos eléctricos y electrónicos.

Éstos equipos operan sin ninguna referencia a tierra. Los sistemas de control para las Estaciones Generadoras de Potencia también flotan -no tienen referencia a tierra-.

Los "Detectores de Tierra" se usan para alarmar al personal de operación, de un corto circuito de fase inadvertido, o de un corto en un conductor neutro a tierra. La falla puede ser localizada y removida sin causar el cese de actividades del equipo generador.

El Código NEC permite sistemas no conectados a tierra bajo muy específicas y rígidas condiciones. Sin embargo, casi todos los sistemas eléctricos son conectados a tierra y es obligatorio que se conecten a tierra.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



