

01129
26



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SISTEMAS DE TIERRA DE ACUERDO A LA
NOM - 001 - SEDE - 1999

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO
P R E S E N T A :
MIGUEL ANGEL GARCIA HERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. JAVIER BROSA CURCO



MEXICO, D. F.

2003

1A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice

Objetivo	iii
Introducción	1
CAPITULO 1. Antecedentes históricos	3
CAPITULO 2. Se deben o no aterrizar los sistemas	
2.1 La seguridad como elemento base de los sistemas de tierra	17
2.2 Sistemas que no se deben poner a tierra	19
2.2.1 Grúas	19
2.2.2 En instituciones de salud	19
2.2.3 Celdas Electrolíticas	20
2.3 Sistemas eléctricos que operan sin ser puestos a tierra	20
CAPITULO 3. Indicaciones normativas de cuáles sistemas se deben aterrizar	
3.1 Indicaciones normativas acerca de los sistemas que se deben de aterrizar	22
3.1.1 Circuitos de corriente alterna de menos de 50 volts	22
3.1.2 Sistemas de c.a. de 50 a 1000 V	22
3.1.3 Sistemas c.a. de 1kV y más	23
3.1.4 Sistemas derivados separadamente	24
3.2 Sistemas que se permite sean aterrizados pero no es requerido se realice	24
CAPITULO 4. Ilustración del artículo 250 de la NOM-001-SEDE-1999	
4.1 Disposiciones generales	26
4.2 Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos	28
4.3 Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas	33
4.4 Puesta a tierra de envolventes y canalizaciones	41
4.5 Puesta a tierra de los equipos	42
4.6 Métodos de puesta a tierra	46
4.7 Puentes de unión	53
4.8 Sistemas de electrodos de puesta a tierra	61
4.9 Conductores del electrodo de puesta a tierra	65
4.10 Conexiones de los conductores de puesta a tierra	74
4.11 Transformadores de instrumentos, relés, etcétera	78
4.12 Puesta a tierra de sistemas y circuitos de alta tensión (600 V o más)	81
CAPITULO 5. Sistema de tierra en instalaciones de comunicación	
5.1 Introducción	84
5.1.1 Breve historia de la puesta a tierra en los sistemas de comunicación	85
5.1.2 Ruido en la puesta a tierra de los sistemas de potencia	87
5.1.3 Sistemas o equipos que deben ser aterrizados	87
5.1.4 Equipos sensibles electrónicos	87
5.1.5 Tipos de puesta a tierra en los sistemas de cómputo	88
5.1.5.1 Conexión en un solo punto	88
5.1.5.2 Sistema de puesta a tierra radial central	89
5.1.5.3 Puesta a tierra de los blindajes	91
5.1.5.4 Fuera de la NOM	91
5.1.6 Redes de puesta a tierra de respaldo	92
5.1.7 Tierra separada o aislada	93
5.1.8 Conductores de puesta a tierra aislados	93
5.1.9 Supresión del Ruido	94
5.1.9.1 Problemas	95

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1.9.2 Sistemas de cómputo remotos	96
5.1.9.3 Redes de Área Local (LAN)	96
5.1.9.4 Fibras ópticas	96
5.1.10 Efectos de los rectificadores internos en los sistemas de cómputo	97
5.1.10.1 Descripción - Necesidad	99
5.1.10.2 Sobrevoltajes en puntos abiertos	100
5.1.10.3 Interferencia de Radiofrecuencias	101
CAPITULO 6. Cálculo del sistema y de la red de tierra	
6.1 Potencial de paso y de contacto	103
6.1.1 Introducción	103
6.1.2 Consideraciones	103
6.1.3 Rangos de corriente tolerables por el ser humano	104
6.1.4 Resistencia del cuerpo humano	106
6.1.5 Voltaje de paso y voltaje de contacto tolerables	107
6.2 Cálculo de la red de tierra	111
6.2.1 Materiales	119
6.2.2 Ejemplo de cálculo de redes de tierra	121
6.2.2.1 Red de tierra con forma rectangular	121
6.2.2.2 Red de tierra en forma de "L"	127
6.3 Cálculo de conductores de puesta a tierra	132
6.3.1 Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra para c.c.	133
6.3.2 Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de c.a	133
6.3.3 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo	135
CAPITULO 7. Medición de la resistencia	
7.1 Objetivos de las Pruebas	139
7.2 Medición de la resistencia de la red de tierra	139
7.3 Medición de la resistencia del sistema	143
7.3.1 Método de los dos puntos	144
7.3.2 Método de los tres puntos	144
7.3.3 Método de la relación	145
7.3.4 Prueba en apartarrayos	145
7.3.5 Consideraciones generales de los problemas relacionados con las mediciones	145
7.4 Medición de la resistividad del suelo	147
7.4.1 Información geológica y muestras de suelo	147
7.4.2 Método de la variación de profundidad	147
7.4.3 Método de los dos puntos	148
7.4.4 Método de los cuatro puntos	148
Conclusiones	149
Glosario	151
Bibliografía	153

**TEJES CON
FALLA DE ORIGEN**

Objetivo:

Crear un documento que explique de forma clara la normatividad y tener los medios audiovisuales en español para su difusión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

La tierra es considerada en su totalidad como un conductor, el cual se asume, por conveniencia, tiene un potencial eléctrico igual a cero; a su vez, la capacidad de conducción de corriente eléctrica de este elemento conductor, en teoría, es muy grande; Dado su enorme volumen. Pero la capacidad de conducción varía de región en región en la medida en que la composición del suelo lo hace también.

La puesta a tierra o aterrizaje consiste en conectar a tierra, a algún cuerpo que sirva en lugar de ésta, los elementos como: el tubo conduit, cajas metálicas, carcazas y conductores de puesta a tierra de equipos. Estos medios son una extensión de la tierra por estar conectados eléctricamente con ésta, ya sea por medios eléctricos o mecánicos. Otra opción es llevar al cabo una conexión intencional de una fase del sistema o del conductor neutro con tierra.

De aquí que frases como "red de tierras" están mal, puesto que la conexión se hace con el planeta tierra y dado que sólo existe un planeta tierra la frase debe ser "red de tierra".

Existen varias razones por las cuales se deben de poner a tierra los equipos de un sistema eléctrico. Una de ellas es para garantizar que el nivel de tensión al cual se encuentran, tanto gabinetes como partes no conductoras de corriente, efectivamente sea cero, lo anterior a su vez evita que, bajo condiciones normales y en caso de presentarse alguna falla, la tensión con respecto a tierra de ese equipo no se encuentre por encima de la tensión nominal de operación de éste.

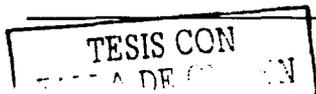
Otra razón por la cual se ponen a tierra los equipos es para ayudar a la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, al proporcionar un camino de baja impedancia desde la última aplicación hasta el tablero donde se encuentra el dispositivo de protección por medio del conductor de puesta a tierra de equipos. Ya que de no contar con este conductor la trayectoria entre los electrodos de puesta a tierra tendría un valor de impedancia mayor que el conductor antes mencionado y por supuesto que la corriente de falla regresaría a la fuente, pero bajo estas circunstancias aumenta la posibilidad de que alguien entre en contacto con alguna parte energizada por la falla y sufrir un choque eléctrico.

Pero no sólo se deben poner a tierra las partes metálicas no conductoras de corriente, ya que en la actualidad existen equipos electrónicos sensibles los cuales hacen uso de un conductor de puesta a tierra proveniente de un sistema de puesta a tierra aislado. Ello no significa que una vez conectado el conductor de puesta a tierra proveniente de este sistema se tenga que pasar por alto el realizar la conexión del conductor de puesta a tierra de equipos, al cual en algunas ocasiones se le denomina conductor de seguridad.

La duda básicamente es cómo se deben de poner a tierra de manera apropiada los equipos, especialmente cuando éstos llevan dos conductores de puesta a tierra, uno que forma parte del sistema de puesta a tierra aislado, conocido también como tierra aislada, y otro que es común a todas las partes metálicas no conductoras de corriente; por esta razón es necesario explicar el significado del término "tierra aislada", su historia y sus principales razones del por que se tiene que llevar al cabo esta conexión.

Lo anterior se extiende a la correcta selección de los electrodos de la red de puesta a tierra, ya sea para el sistema normal o el aislado, ya que en ocasiones, dependiendo de las características de los sistemas, puede requerirse el uso de dos redes de puesta a tierra o hacer uso de una sola, siempre y cuando las conexiones entre ambos sistemas se hagan en un punto en común, o bien, que estas redes se encuentren cien por ciento separadas una de la otra.

Aunque todos los aspectos antes mencionados son de suma importancia al momento de realizar una apropiada instalación del sistema de puesta a tierra, y más aún cuando se trata de que estos se encuentren a como lo exige la norma actual, hay ocasiones en que los sistemas se encuentran mal diseñados. Con esto no se pretende dar a entender que en cuanto a cálculos se refiere los sistemas se



encuentran mal diseñados, lo que pasa es que al momento de llevar al cabo la instalación algunas partes del sistemas no se encuentran puestas a tierra conforme a la normatividad vigente.

Pensando en qué parte del porqué no se hacen de manera adecuada las instalaciones, la respuesta recae en la manera en que la norma se encuentra elaborada; y es que en algunas ocasiones ésta trata de ser bastante explícita en la redacción de sus artículos, más sin embargo hay ocasiones en que interpretarla se complica, especialmente al momento de aparecer las excepciones en cada uno de los incisos que forman las diferentes secciones del artículo 250.

Es por ello que surge la inquietud de realizar un documento a través del cual, por medio de ilustraciones, se pueda hacer una correcta interpretación del artículo que atañe al tema de puesta a tierra, y por ende las personas que lo consulten adquieran la información necesaria para llevar al cabo un sistema de puesta a tierra apegado, en la medida de lo posible, a la Norma Oficial Mexicana (NOM).

Aunado a lo anterior, en este documento se presenta información correspondiente a los temas de puesta a tierra de equipos que requieran un sistema de puesta a tierra aislado, así como a la selección del sistema de electrodos de puesta a tierra dependiendo del equipo que requiera ser conectado a tierra, medición de la resistencia, tanto del sistema como de la red de tierra y un resumen acerca de la historia de la puesta a tierra de equipos y de lo que implicó el poder establecer esta regla como obligatoria.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 1

Antecedentes históricos.

En el primer Código Eléctrico Nacional, NEC por sus siglas en inglés de 1897, así como en la previa edición de "Reglas y Requerimientos" de la Asociación Eléctrica Nacional de Protectores, la única disposición obligatoria, en cuanto al tema de puesta a tierra, fue para los protectores en iluminación. No pudo haber muchos argumentos en cuanto a esto se refiere ya que era considerado bastante natural que una protección debería tener un camino hacia tierra.

En la edición del primero de julio de 1894 manual "Reglas para un Cableado Seguro", fueron incluidas instrucciones para instalar protecciones en los entonces llamados circuitos de comunicación, dichas reglas cubrían los siguientes puntos:

1. La localización de la protección.
2. El tipo de conductor a ser utilizado a partir de la última sección de distribución hasta el lugar donde se encontraba la protección.
3. Condiciones con las que debía de cumplir el conductor de puesta a tierra.
4. Formas para conectar el conductor de puesta a tierra.

Estas disposiciones fueron incluidas en las páginas del Código Eléctrico Nacional en la edición de 1897. En cuanto a las carcazas de los motores y generadores su aterrizamiento era requerido siempre y cuando no fuera posible realizar un buen aislamiento por completo.

Más sin embargo los problemas comenzaron aproximadamente 3 años después, cuando el asunto de aterrizar los circuitos secundarios de los sistemas de distribución se apresuró.

Consideremos por un momento lo que implica el aterrizar el circuito secundario. Tenemos el caso más simple de dos conductores y un circuito alimentado por un transformador a 120 (v). El transformador mantiene la diferencia de potencial de 120 (v), pero en ausencia de una tierra; el potencial del circuito con respecto a tierra es indefinido; si no hay inducción eléctrica externa, el potencial promedio de los conductores andará alrededor del valor de cero o potencial de tierra, pero si uno de los conductores se cruza con un conductor externo cuyo potencial sea mayor, éste se comenzará a cargar inmediatamente al mismo potencial, que es bastante elevado como ya se mencionó, (suponiendo que no ocurre la ruptura de la rigidez dieléctrica del aislamiento), ocasiona una situación de bastante riesgo ya que si alguna persona de manera accidental u ocasional llegase a entrar en contacto directo con tierra o con cualquier material aterrizado y con el conductor cargado sufriría una descarga terrible que podría poner en peligro su vida.

Tales condiciones de riesgo se pueden producir por el cruce accidental con algún conductor externo o por la posible ruptura en los aislamientos del transformador, de tal forma que sería como imprimir voltaje del circuito primario a un conductor del circuito secundario.

De tal forma que como una medida de seguridad para evitar el riesgo de sufrir descargas eléctricas de potenciales muy peligrosos se propuso que los circuitos secundarios fueran aterrizados o puestos a tierra, por ejemplo, en el caso de un circuito con dos conductores uno de ellos fuera aterrizado, o bien el conductor neutro, en el caso de circuitos de tres conductores, asegurando así que ningún conductor de dicho circuito secundario, debidamente aterrizado, pudiera tener un potencial, con respecto a tierra, mayor que el potencial nominal del circuito mismo.

Esta medida de seguridad parecía la correcta para aquellos casos donde el voltaje nominal del secundario no fuera, por sí mismo, peligroso. Pero como el aterrizar incrementaba la tendencia de descargas a voltajes normales, esto no parecía del todo bueno para circuitos de más de 150 volts. Por ejemplo, un circuito secundario de 220/440 volts, en el caso de ser aterrizado, se aumenta la probabilidad de recibir descargas de 220 volts lo que ya implica una descarga de consideración. Pero, por otro lado, el aterrizar protegería a los circuitos de los efectos de inducción de voltajes mayores debido al cruce

TESIS CON
FALLA DE OR...

accidental con conductores exteriores o contra la ruptura de la rigidez dieléctrica de los aislamientos de los transformadores.

Desde este punto de vista era cuestión de decidir entre el riesgo de sufrir descargas de 220 volts contra la disminución de exponerse a descargas en tensiones mucho mayores, además este era el caso límite ya que algunos expertos estaban a favor mientras que otros se oponían rotundamente.

Este era un problema de carácter eléctrico-técnico, los protectores, quienes en aquel entonces tenían a su cargo la revisión del Código, sabiamente se rehusaron a hacer obligatoria una regla para aterrizar los circuitos ya que querían asegurarse que las personas del medio estuvieran de acuerdo en la manera en que dicha regla sería construida, además de que dicha regla estaba más enfocada a reducir el peligro de muerte en lugar de reducir el riesgo de incendio.

Las diferencias entre opiniones por parte de los eléctricos expertos así como el voltaje del circuito al cual el aterrizamiento debería de hacerse obligatorio, ocasionaron un rezago en la determinación de un criterio. El cual duró por varios años.

Las discusiones acerca del aterrizamiento de los circuitos eléctricos se remontan a los inicios de los sistemas de distribución de corriente alterna y comenzaremos por mencionar la que Killingworth Hedges hizo en 1889:

"Una precaución es aterrizar los circuitos secundarios, otra es conectar una o ambas terminales a un dispositivo lo suficientemente confiable el cual pueda desconectar automáticamente cualquier exceso de corriente a tierra y al mismo tiempo interrumpir la alimentación..."

El profesor Elihu Thomson hizo lo propio en 1890 donde sugiere aterrizar los devanados secundarios del transformador o rodearlos con una cubierta debidamente aterrizada y como alternativas propone que el circuito secundario sea desconectado por medios automáticos o aterrizarlo automáticamente por medio de pequeños interruptores cuando aparecieran voltajes muy elevados.

El colocar una cubierta metálica aterrizada entre los devanados del primario y del secundario de un transformador fue denominado por los ingleses como "La Cubierta de Kenf", aunque esta idea tuvo su origen en América.

Thomson consideró a este dispositivo como muy efectivo para asegurar una conexión de puesta a tierra para el circuito secundario cuando hubiera una fuga de corriente en el lado primario. Y discutiendo este tema en una convención ante la National Electric Light Association (NELA) dijo:

"En un sistema con corriente alterna, con un secundario de bajo voltaje, la habilidad es más que suficiente para evitar los riesgos; si omitimos el alto voltaje del lado primario el cual debe estar perfectamente aislado, aunque es posible que algo de electricidad estática pueda ocasionar severas, si no es que fatales, descargas"

Es a partir de estas dos discusiones de donde datan los expedientes en cuanto a poner a tierra los secundarios o desconectarlos por medios automáticos o bien envolver al transformador con una cubierta perfectamente aterrizada. El aterrizamiento de los circuitos secundarios tuvo mucha oposición en sus inicios. Woodbury, al dar sus sugerencias acerca de los métodos para reducir el riesgo de incendio, consideró "que no era deseable mantener permanentemente aterrizado un conductor del circuito secundario".

En una reunión llevada a cabo el 10 de marzo de 1892, El Comité de Nueva York de Protectores contra Incendios (The New York Board of Fire Underwriters) editó un folleto titulado "La puesta a tierra de los conductores eléctricos", el cual fue preparado por el Comité de Control y Origen de los Incendios. Durante esta reunión se votó para que este folleto se imprimiera y se repartiera a los miembros junto con algunos fragmentos del reporte del profesor Henry Morton y, aunado a lo anterior, una respuesta por parte de la Compañía de Iluminación Eléctrica Edison de Nueva York.

El reporte comienza con una frase por parte del Comité respecto a la práctica de aterrizar el neutro y ordena que esta práctica de la puesta a tierra se detenga lo antes posible, el mensaje original fue de la siguiente manera:

"No cabe duda que el hecho de aterrizar el neutro no es tan seguro como lo es un sistema completamente aislado, más sin embargo hacer el cambio en estos momentos requerirá mucho trabajo lo que traería como consecuencia una inevitable intervención en algunos trabajos de iluminación...."

En ese folleto se incluyen, además, una serie de resoluciones tomadas respecto a los sistemas de tierra:

"Este comité informa, a todas las compañías eléctricas que han recibido certificados por parte de este comité, que la práctica de puesta a tierra realizada de manera intencional, en cualquier parte del equipo, representa una violación a las reglas establecidas por este comité y ésta práctica debe detenerse. El comité rechazará los certificados de aprobación a todas aquellas empresas con ésta y otras reglas.", "...por lo tanto este comité exige a las compañías eléctricas que todos los sistemas de puesta a tierra, hasta ahora existentes, tienen como fecha límite para ser removidos el 1° de octubre de 1892".

Las resoluciones se publicaron bajo la firma de William Del. Boughton, entonces presidente del comité.

Algunos fragmentos del reporte del profesor Morton también fueron publicados, los cuales hacían mención a los riesgos de incendio que implicaba el aterrizamiento de los conductores eléctricos, en particular el conductor neutro utilizado en el sistema Edison. Estos fragmentos incluyen lo siguiente:

"El aterrizar el conductor neutro, en mi opinión, definitivamente incrementa el peligro de incendio, por las siguientes razones:

Primero: Si todos los conductores son aislados, entonces dos contactos a tierra pueden ocurrir de tal manera que un incendio se puede producir por el contacto de un conductor con la tubería del agua o la del gas, o con cualquier otra substancia conductora que este en contacto con tierra; entonces, si el conductor neutro es aterrizado, cualquier tubería tiende a convertirse en una línea viva y al entrar en contacto se produce una corriente la cual queda limitada en magnitud por la capacidad de los conductores ubicados entre el punto de contacto y el arreglo general de los cables de alimentación.

Segundo: Esto hace completamente imposible realizar prueba alguna al nivel de aislamiento de los sistemas al no tener un lugar donde pueda ser supervisado y medido.

Como resultado de la aparición de una falla, a menos que sea muy llamativa o enorme en cantidad, esta puede continuar indefinidamente sin llegar a ser descubierta y estar causando daños la mayor parte del tiempo, mientras que con un sistema aislado una falla sería detectada inmediatamente en la estación central con la ayuda de instrumentos de medición adecuados y al mismo tiempo sería inofensivo hasta que otra falla, en el conductor de polaridad contraria, se presentara. Además, si el conductor intermedio del sistema Edison es aterrizado, el sistema por completo queda conectado a tierra de tal manera que al contacto de algún conductor, positivo o negativo, con alguna tubería, partes de acero, en la estructura de alguna construcción o con algún otro conductor, se establecería una conexión tal que una corriente muy grande fluiría por ahí."

Comentando respecto a lo antes mencionado, el primer vicepresidente de la Compañía de Iluminación Eléctrica Edison de Nueva York R.R. Bowker dijo:

"En vista al hecho que muchas de las preguntas hechas en el folleto son comparativamente nuevas para los miembros de su comité, hemos pensado hacer una explicación general de la naturaleza del sistema de 3 hilos y de lo práctico que resulta aterrizar el neutro, como se hace en el comunicado adjunto, en el cual de no tomarse en cuenta los principales asuntos del reporte, se encontrara en las referencias que estas presentan respuestas suficientes y directas a cada una de las preguntas. Para ello

cuidadosa y específica atención por parte de cada miembro de su comité es requerida ya que el asunto a tratar es de importancia relevante.

Hacemos hincapié en que nuestro sistema empleado en las calles no es de manera alguna dependiente de la práctica de aterrizar el conductor neutro y que contrariamente a la deducción hecha en el reporte del profesor Morton, nada de cobre u otro elemento de costo se salva con esta práctica, el motivo de la práctica no es comercial sino preventivo. Les recordamos que esta práctica está en boga en otras ciudades con la respectiva aprobación por parte de los protectores. Les suplicamos también corregir los malos entendidos en cuanto a que no se ha realizado conexión a tierra en las casas habitación y tampoco se han disminuido las precauciones de aislamiento al realizar esta práctica."

La Compañía de Iluminación Eléctrica Edison solicitó al comité hacer algunas modificaciones a sus reglas, dentro de las que destacan el reconocer las características y beneficios del sistema de 3 conductores y tratar así de llegar a un acuerdo para que esta práctica fuera adoptada. Por otro lado la compañía manifestó su desacuerdo y solicitó al comité tomar su responsabilidad frente a la comunidad protectora contra incendios y ante los usuarios, de haber solicitado a la compañía el suspender la puesta a tierra. Al mismo tiempo la compañía manifestó que sus inspectores contaban ya con instrucciones para llevar a cabo la desconexión de las puestas a tierra ubicadas, por toda la ciudad, en las cajas de interconexión, pero que esta labor se realizaría en un tiempo considerable. Advertió, que no se darían los resultados esperados para llevar hacer pruebas de aislamiento en las líneas a través de algún laboratorio o sistemas con circuitos especiales; además, la compañía mencionó que lo referente a la solución de este problema debería concernir a ingenieros eléctricos familiarizados con las condiciones y necesidades de la época.

Las autoridades por su parte no estaban de acuerdo en cuanto a cual era la mejor manera de llevar a cabo la puesta a tierra y por supuesto las ventajas de aterrizar el neutro, ya que en el sistema de Nueva York el neutro era aterrizado en las cajas de unión ubicadas en las calles, y no en las estaciones como se hacía en el sistema instalado en la ciudad de Brooklyn.

La compañía de iluminación Edison continúa con su rotunda protesta manifestando lo siguiente:

"Deseamos dejar muy en claro que si cualquier sistema dado se pudiera hacer y mantener absolutamente libre de fallas a tierra entonces, las autoridades correspondientes, incluyendo a la misma Edison, deberían acordaran dejar el sistema en esas condiciones y no aterrizar el conductor neutro. Pero la diferencia entre las pruebas de laboratorio y las condiciones actuales de trabajo son tan distintas, que llevarlas a cabo, sería como hacer sus conclusiones prácticas casi contradictorias..."; "...de tal manera que consideramos innecesario, después de estas observaciones contestar, más específicamente a los comentarios hechos por el profesor Morton, a las posibles diferencias existentes entre las reglas hechas para aplicarse a los sistemas de dos y tres conductores, por lo que tampoco habría razón para cambiar las reglas anunciadas anteriormente, por parte del comité, para aplicarlas a la actual situación."

"Si la regla 40, frecuentemente citada en esta discusión, es entendida por su comité para aterrizar el neutro del sistema Edison de tres conductores, ciertamente debería ser modificada, pero habiendo sido aprobada antes de que el sistema Edison entrara en operación esta compañía afirma que lo anterior no aplica y por lo tanto no es necesaria modificación alguna. Pues bien, ésta es la resolución general y de interés para la compañía de Iluminación Eléctrica Edison, quien opina que, el contar con un sistema cuyo aislamiento sea absoluto es bueno, siempre y cuando éste se pueda realizar y mantener en tales condiciones, pero los beneficios obtenidos al aterrizar el conductor neutro, bajo ciertas condiciones y particularmente en sistemas grandes son, en esos casos, el mejor método de trabajo, particularmente como medida precautoria contra el riesgo de incendio."

Después de esta respuesta lo referente a la puesta a tierra quedó en aparente calma y no volvió a ser sino hasta 1896 cuando en una conferencia acerca de las reglas eléctricas estándar, llevada a cabo en marzo de 1896, un profesor de apellido Kenely, sugirió una regla en la cual se exigiera el aterrizamiento de la bobina secundaria de un convertidor (transformador) en su parte central. Y como era de esperarse los comentarios, a favor y en contra, a esta proposición no tardaron en aparecer.

Tal es el caso de James I. Ayer quien consideraba al hecho como peligroso, desde su punto de vista, ya que en caso de presentarse alguna falla, la corriente efectivamente buscaría el camino de menor resistencia hacia tierra, pero durante este proceso, la corriente podría pasar a través del transformador y con esto someter a los aislamientos a un gran esfuerzo lo que traería como consecuencia la destrucción del transformador. A este fenómeno lo consideraba como una interrupción de corriente en el primario desde el extremo secundario.

Tampoco estaba en contra de encontrar una manera de proteger a los sistemas eléctricos, incluyendo a los transformadores, porque se necesitaba poner especial atención en las líneas de más de 2000 volts, ésto debido a su reducción a través de un sólo transformador a niveles de voltaje requeridos para uso doméstico. Sin embargo el asunto de aterrizar las redes secundarias a través de medios de baja resistencia era algo muy serio y debería ser discutido meticulosamente antes de ponerse en práctica.

Pero esta persona no se mantuvo al margen de la situación y también hizo sugerencias para el uso de ciertos dispositivos de protección, de los cuales destaca el uso de un interruptor magnético. Lo anterior se debía al modo de operación de tal dispositivo que era a través de un par de bobinas que podían ser conectadas directamente a las líneas de los circuitos secundarios y cuando los voltajes de dichos circuitos estuvieran por encima de los 500 volts entraría en operación el circuito interruptor. Lo anterior según él, brindaba una protección total e incluso al comparar su circuito propuesto con el método de puesta a tierra decía que ésta última era una protección cuya resistencia era mucho mayor.

Aunado a lo anterior el profesor Kennelly también hizo sus comentarios al respecto, en los cuales mencionaba que si por un momento se excluyera el concepto de iluminación, no podría haber objeción respecto a conectar a tierra el secundario de los transformadores porque sería obvio pensar que estos equipos estarían diseñados para resistir la tensión o voltaje de operación y por ende, el transformador no sufriría rupturas o debilitamiento en el aislamiento. Lo anterior llevaba a una solución bastante sencilla en cuanto a los transformadores a ser utilizados, ya que si éstos iban a ser tan débilmente aislados, de tal manera que el aterrizar el secundario los dañara, entonces este tipo de transformadores deberían ser reemplazados.

Además, en caso que se llegase a presentar una corriente entre el primario y los devanados del transformador, que como ya sabemos es poco probable, no se justificaría el permitir que una persona, parada en el piso de algún sótano por ejemplo, tocará algún portalámparas que estuviera haciendo contacto con alguno de los conductores secundarios porque se encontraría ante el peligro de sufrir una descarga eléctrica, la cual podría ser incluso mortal. Pero en caso de contar con un secundario aterrizado permanentemente, o protegido con algún medio o dispositivo equivalente, no existiría tal peligro en caso de presentarse algún contacto accidental.

Más sin embargo Ayer sostenía firmemente que era necesario contar con algún dispositivo, ya sea del lado primario o del lado secundario que desconectara de manera automática los circuitos, especialmente aquellos que tuvieran relación directa con el usuario. Lo anterior lo justificaba haciendo mención a las reglas inglesas en las cuales ellos, los ingleses, solicitaban la conexión a través de algún dispositivo interruptor el cual abría el circuito secundario en caso de tenerse conexión, del lado primario, con alta tensión. Además confirmaba la correcta operación de dichos circuitos al afirmar que él había hecho uso de uno de ellos en su propia casa.

Pero después de todo el dispositivo protector de Ayer no convenció del todo y la solución al problema en cuanto a sí se debían o no aterrizar los equipos sólo fue retrasada por más tiempo y sin presentar soluciones concretas en todos los aspectos.

Por si esto fuera poco los protectores se tardaron bastante tiempo en corregir su posición para permitir la puesta a tierra de manera permanente en todos los circuitos eléctricos. Mientras que las compañías eléctricas, de manera casi simultánea, se encontraban generalmente a favor de aterrizar el conductor neutro, tal es el caso de la compañía *General Electric*, que en 1899 a través de W.L.R. Emmet, dijo lo siguiente:

"El permanente aterrizamiento de los secundarios de los transformadores está prohibido por las reglas de los protectores. Esta prohibición es generalmente respetada en la mayor parte del país, de tal manera que la mayoría de los circuitos se encuentran completamente desprotegidos."

Ese mismo año el doctor Cary T. Hutchinson presentó un documento de la AIEE en el cual se hacía mención a la protección de los circuitos secundarios en el que se mostraba un gran apoyo hacia la práctica de esta medida de protección y a la vez reprochaba la postura asumida por los protectores respecto a esta propuesta.

La necesidad de contar con un medio de protección para los circuitos secundarios era innegable, aunque en aquellos momentos no se contaba con un dispositivo de plena confianza y que además brindara confiabilidad ante cualquier circunstancia. Los métodos hasta ese momento empleados, para ese fin, se podían clasificar bajo tres principales rubros:

1. Dispositivos diseñados para aterrizar cortos circuitos o circuitos abiertos en el lado del secundario cuando éste se encuentra sometido a diferencias de potencial anormales.
2. Aterrizaje las carcazas metálicas colocadas entre el primario y el secundario.
3. Aterrizamiento permanente del sistema secundario.

Este último representaba la única forma segura para prevenir que el voltaje con respecto a tierra fuese mucho mayor que el voltaje nominal de operación del circuito, es decir, los circuitos quedaban protegidos contra tensiones anormales.

Una medida de seguridad tan simple como esta pudo haber sido aplicada en la mayoría de los casos, pero sólo tenía un uso limitado, la razón, el rechazo por parte del Comité de Protectores contra Incendios para autorizar la práctica de la puesta a tierra en alguna parte del circuito por donde pudiera circular una corriente. Estas personas, los protectores, aseguraban que al aterrizar un extremo de un circuito con corriente se incrementaba la posibilidad de incendio ya que el voltaje en su totalidad actuaba continuamente sobre el aislamiento del circuito y no la mitad, como sucedería en un sistema completamente aislado; además en caso de presentarse alguna falla en el lado aislado podría ocasionar un incendio.

Lo anterior sólo representaba un rezago en cuanto a la protección de sistemas eléctricos se refiere, porque las Compañías de Iluminación Edison contaban con un comité que se encargaba del tema de la puesta a tierra desde 1890, lo que hacía que, basados en su extensa experiencia debida a la práctica de aterrizar los neutros en el sistema Edison, sus sugerencias fueran de gran importancia

Esto era puesto en práctica por la mayoría de las compañías Edison, quienes en algunos casos habían optado por esta práctica al no encontrarse disponibles para liberar los conductores neutros y en otros tantos, la habían hecho deliberadamente, considerándola como la mejor solución a problemas de incendios debidos a la operación a voltajes anormales. Esta medida fue puesta en práctica en casi todas las grandes ciudades, particularmente por medio del sistema Edison, donde los neutros la mayoría de las veces se encontraban permanentemente aterrizados en las cajas de unión. También se sabía que en varios de los sistemas de distribución de c.a. los conductores neutros estaban aterrizados.

Con base en lo anterior Cary T. Hutchinson se atrevió a proponer una serie de resoluciones, que según él, eran de suma importancia para poder poner en práctica, y no violar las reglas de los protectores, la puesta a tierra de los conductores neutros. Estas resoluciones dicen lo siguiente:

1. *"Que el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos (AIEE) promueva la creación de una regla en la cual se permita el aterrizamiento de un conductor en todos los sistemas de consumo conectados en baja tensión"*

2. *"Que el AIEE, en la reunión del Código Eléctrico Nacional (NEC), dialogue con el Comité Eléctrico de la Asociación Nacional de Protectores en Electricidad para recomendar al Comité Nacional de Protectores contra Incendios, la autorización de una regla en la cual se permita el aterrizamiento permanente de un conductor en los sistemas eléctricos, bajo determinadas circunstancias."*

La resolución de Hutchinson fue aceptada después de algunas discusiones, a continuación mencionaremos algunas de ellas.

Profesor Elihu Thompson.

"Acepto todo lo dicho por el señor Hutchinson y espero que alguna acción se lleve a cabo por un grupo tan importante como estos, para conseguir que dicha regla sea aceptada."

C.M Goddard.

"Me gustaría apoyar la resolución pero a la vez por otras razones no, porque los protectores están tan plenamente convencidos hasta ahora, que una de sus reglas, casi tan irreversibles como las de los Persas; la de no permitir el aterrizamiento permanente de cualquier circuito haya estado mal todo el tiempo. No estoy convencido del hecho porque tengamos el gusto de contar con el instituto y este pueda tomar cualquier decisión en cuanto a nuestras reglas y tratar de ayudarnos a llegar a la solución correcta."

Creo que aterizar el secundario podría ser la mejor solución, pero los protectores siempre se han mostrado muy reservados en estos asuntos."

Sería un placer contar con su ayuda para la elaboración de nuestras reglas. La regla concerniente a la puesta a tierra la modificamos el año pasado a petición del instituto y esta será modificada sólo si ustedes vienen y nos muestran que están en lo correcto, ya que guardamos un gran respeto hacia las decisiones tomadas por el instituto."

Profesor W.E. Goldsborough.

"Difícilmente me siento en posibilidades de decir algo en contra, más sin embargo estoy muy interesado en el tema pero toda mi experiencia me hace sentir que aterizar el secundario no sería la mejor solución"

Profesor W. L. Puffer.

"Aprobaría el hecho de aterizar y sugeriría se llevara a cabo la puesta a tierra en el punto de entrada de los edificios de cualquier sistema e incluir cosas como tuberías de gas y de agua. Cuando el consenso de esta discusión decidió de manera unánime aterizar los secundarios, hubo algunas opiniones adversas y los protectores parecían continuar con otra oposición a la práctica aunque en las ediciones del código (NEC) de 1897 y 1899 esta práctica no era prohibida de manera específica."

De tal forma que la rama eléctrica reportó en la reunión del Comité Eléctrico, llevada a cabo en diciembre de 1900, el movimiento hecho para cambiar el límite de los circuitos de baja tensión de 300 a 550 volts, y durante esta reunión surgió nuevamente la duda en cuanto a la conveniencia de aterizar uno de los conductores en los circuitos de baja tensión, en dicha reunión numerosas autoridades fueron citadas y prominentes ingenieros eléctricos estaban a favor poner en práctica ésta regla. Finalmente la resolución adoptada fue la de permitir el aterrizamiento de uno de los conductores en todos los circuitos de baja tensión, pero dejando esta decisión como opcional para el ingeniero a cargo de la instalación.

De acuerdo con esta edición, en la edición de 1902 del código (NEC) aparece la siguiente sección :

** 13-A Aterrizamiento de los circuitos de bajo voltaje.*

El aterrizamiento de los circuitos de baja tensión sólo es permitido cuando tales circuitos están arreglados de forma tal que bajo condiciones normales de operación no haya paso de corriente por el conductor de puesta a tierra.

"Sistemas de corriente directa de tres conductores."

a) *El conductor neutro puede ser aterrizado y al hacerlo debe de cumplir con las siguientes reglas:*

- 1. Debe ser aterrizado en la estación central sobre en una placa metálica enterrada en un lugar con un nivel de humedad constante así como a todas las tuberías de agua y gas subterráneas disponibles.*
- 2. En los sistemas subterráneos el conductor neutro también debe ser aterrizado en cada caja de interconexión a través de la misma.*
- 3. En los sistemas aéreos el conductor neutro debe ser aterrizado cada 500 pies, como está indicado en las secciones c, e, f y g.*

Los departamentos de inspección, pueden solicitar la puesta a tierra en su jurisdicción, si la consideran necesaria.

Los sistemas de corriente directa de dos conductores que no cuenten con un neutro accesible pueden no ser aterrizados.

"Sistemas secundarios de corriente alterna."

b) *El punto neutro de los transformadores, o en su caso del conductor neutro, de los sistemas de distribución puede ser aterrizado y al hacerlo se debe de cumplir con las siguientes reglas:*

- 1. Los transformadores que alimentan circuitos de dos conductores, deben ser aterrizados en el centro de las bobinas secundarias, como está indicado en las secciones d, e, f y g.*
- 2. Los transformadores alimentando sistemas con conductor neutro, deben tener su conductor neutro aterrizado como se indica en las secciones d, e, f y g. Lo anterior se debe de realizar por lo menos cada 250 pies para el caso de conductores aéreos y cada 500 pies en los sistemas subterráneos.*

Los departamentos de inspección, pueden solicitar la puesta a tierra en su jurisdicción, si la consideran necesaria."

De esta manera haciendo permisible la práctica, los protectores contra incendios comenzaron una retirada estratégica de su posición inicial en contra de la puesta a tierra de los circuitos eléctricos.

Posteriormente en una reunión del comité eléctrico, en diciembre de 1901, una carta fue enviada para consultar con el AIEE la modificación de una de las reglas con respecto al aterrizamiento de los circuitos de baja tensión, la modificación consistía en aterrizo uno de los lados del circuito en lugar de aterrizo el punto neutro del transformador.

Los protectores, ahora con una nueva postura, decían que lo referente al aterrizamiento de los circuitos secundarios implicaba una decisión que correspondía únicamente a las personas involucradas con el medio eléctrico. De manera que el 9 de diciembre de 1902 un subcomité en la materia presentó, en la conferencia del Comité Eléctrico, una rectificación a la sección b de la regla 13-A, la cual decía lo siguiente:

b) *Los secundarios de los transformadores, de los sistemas de distribución, deben preferiblemente ser aterrizados y cuando sean aterrizados se debe de cumplir con las siguientes reglas:*

- 1. El aterrizamiento debe de hacerse en el punto o conductor neutro, cuando el punto o conductor neutro sea accesible.*

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2. Cuando el punto o conductor neutro no sea accesible, la mayor diferencia de potencial del punto aterrizado, del circuito secundario, a cualquier punto del circuito no debe exceder los 250 volts.

Y dentro de esta propuesta se encontraba un tercer inciso el cual iba más allá y tendía a favorecer el aterrizamiento de los circuitos, más sin embargo, en la reunión se rechazó aprobar o negar, al instante, el contenido de este inciso pero se acordó enviarla la propuesta a la Comisión de Directores del AIEE y a los protectores de la Asociación Eléctrica Nacional.

La recomendación de modificar la parte donde dice "puede ser aterrizado" a "debe preferiblemente ser aterrizado" fue adoptada por el AIEE para la correspondiente regla en la edición del código de 1903, que substancialmente era la misma que había propuesto el subcomité, quedando de la siguiente manera:

- b) Los secundarios de los transformadores, de los sistemas de distribución, deben preferiblemente ser aterrizados y cuando sean aterrizados se debe de cumplir con las siguientes reglas:

1. El aterrizamiento debe de hacerse en el punto o conductor neutro, cuando el punto o conductor neutro sea accesible.
2. Cuando el punto o conductor neutro no sea accesible, un extremo del circuito secundario puede ser aterrizado, la máxima diferencia de potencial del punto aterrizado a cualquier otro punto del circuito no debe exceder los 250 volts.
3. La conexión a tierra debe hacerse en el transformador como se indica se indica en las secciones d, e, f y g. Y cuando los transformadores alimenten circuitos con conductor neutro, este debe también ser aterrizado por lo menos cada 250 pies para el caso de conductores aéreos y cada 500 pies en los sistemas subterráneos. Los departamentos de inspección, pueden solicitar la puesta a tierra en su jurisdicción, si la consideran necesaria.

La modificación de esta regla en el código de 1903 representó un gran cambio en comparación con la postura inicial donde se prohibía el aterrizamiento de los circuitos pero esta resolución no era del todo satisfactoria porque se dejaba en el aire la pregunta: ¿se deben o no aterrizados los circuitos secundarios?. Intentando responder a esta pregunta hubo algunas posturas a favor de hacer obligatorio el aterrizamiento de los circuitos bajo ciertas condiciones así como también hubo diferentes opiniones en cuanto a ¿Cuáles serían las condiciones que asegurarían hacer obligatorio el aterrizamiento?.

Afortunadamente de manera casi unánime se acordó que el voltaje entre el conductor de línea viva y tierra no excediera los 150 volts, ya que la seguridad era promovida por el aterrizamiento, pero donde el voltaje estuviera entre los 150 y 250 volts las ventajas de aterrizar estaban en dudosa, por lo que para circuitos con voltajes de más de 250 volts, con respecto a tierra, la opinión de los expertos de manera general era en contra de aterrizar los circuitos.

Posteriormente surgieron una serie de argumentos, algunos a favor y otros en contra del aterrizamiento de los circuitos o de otro tipo criticando la manera en que la regla 13-A había sido aprobada. Estos argumentos comienzan con H.G. Stott en la reunión del AIEE el 19 de diciembre de 1903 donde recordaba que hace algunos años se habían reunido el Comité de Protectores contra Incendios y el comité del AIEE, y en esa reunión había sido aprobada una regla que permitía aterrizar el neutro en el punto central de los transformadores o en uno de los lados del transformador y esta medida tomada, según Stott, era la mejor manera de protección que se podía obtener por aquellos años y ejemplificaba con el caso en donde un conductor del lado de bajo voltaje se cruzaba con un conductor del sistema de iluminación, los cuales operaban a un voltaje no menor de 8,000 volts, el voltaje en el conductor del lado de bajo voltaje permanecería en su voltaje nominal y el exceso de corriente inducida se iría por el conductor de puesta a tierra, razón por la que la capacidad de dicho conductor tendría que ser lo suficientemente grande para manejar esa cantidad de corriente.

Por otro lado en la reunión de la Conferencia Nacional del 21 de abril de 1905, el doctor F. A. C. Perrine, antiguo profesor de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Standford recalco los efectos contradictorios de aterrizar refiriéndose al riesgo contra incendio y los daños que se pudieran sufrir en la persona.

"Hemos escuchado una gran cantidad de reglas para aterrizar los circuitos secundarios, además sabemos que los protectores las han aceptado por los intereses eléctricos a pesar del incremento de riesgo de incendio reduce el riesgo de poner la vida en peligro. Ahora existe una condición, a la cual han accedido los protectores, ante la petición de los intereses eléctricos pero es una condición en la cual el riesgo por daños debidos a un incendio es completamente diferente al riesgo de poner en peligro la vida."

Benallack, una persona del medio, confirmó la presión ejercida por parte de las personas del medio eléctrico sobre los protectores diciendo lo siguiente:

"Otros ponentes han puesto atención a la importancia de aterrizar los circuitos secundarios como una buena forma, y de hecho de manera única, de hacer a estos circuitos más seguros ante la posibilidad de fugas de corriente provenientes de los circuitos primarios. Los protectores se tardaron en hacer esta práctica permisible desde el principio y esto se debió a los hombres de la estación central quienes comprendieron el peligro de que esta práctica fuera permitida y que posteriormente fue recomendada por los protectores."

Así el 4 de diciembre de 1905 el tema fue considerado nuevamente, ahora por H. C. Wirt quién hizo el siguiente comentario:

"La regla más importante aquí es la referente al tema de hacer obligatorio el aterrizamiento de los circuitos secundarios....."

Después de este comentario se hicieron las siguientes resoluciones:

- a) *Es el sentir de esta conferencia que el aterrizamiento de los circuitos secundarios de a. c. en baja tensión es bastante recomendable en los casos donde las conexiones puedan ser realizadas.*
- b) *En los casos donde existan tres conductores, con neutro aterrizado, las conexiones sólidas o directas, es decir sin fusibles, son permitidas en el conductor neutro.*
- c) *En caso de realizar la conexión a tierra dentro de los edificios y en las tuberías de agua o gas, esta conexión debe hacerse en el punto más próximo a la pared del sótano y fuera del medidor. Dicha conexión no sólo es segura tampoco representa carga o amenaza alguna en tales tuberías.*

Woodbury en su reporte anual correspondiente a 1905, en la reunión, se dirigió a H.V. Hayes, donde reconoció la importancia de las resoluciones tomadas en cuanto al aterrizamiento hecho a través de las tuberías del agua y que ésto no causaba daño alguno a las mismas. Aunque esto ya había sido puesto en practica por otros, Woodbury se mostraba preocupado en cuanto a su operación, porque en años anteriores algunas compañías recibieron algunas demandas en su contra hechas por oficiales locales solicitando el reembolso por daños ocasionados a las tuberías del agua por descargas atmosféricas, asegurando que el aterrizamiento de las líneas telefónicas a las tuberías del agua había sido la principal causa de dichos daños.

De cualquier manera, el comité eléctrico, en su reunión de diciembre de 1905, no adoptó las resoluciones hechas por parte de la Conferencia Nacional porque no se había recibido ninguna aprobación formal por parte del AIEE o de la NELA (National Electric Lighting Association). Este tema se discutió pero no se realizó cambio alguno en la regla referente al aterrizamiento de los circuitos y el asunto fue enviado de regreso al subcomité para ser sometido a más consideraciones.

En 1906, ni una aprobación oficial ni otra recomendación fueron hechas por las personas del medio respecto al tema de la conexión a tierra, por ende la edición de 1907 de código permaneció prácticamente sin cambios en su regla 13A.

Pero en el año de 1908 se vislumbraba un avance hacia una regla obligatoria para la puesta a tierra para el código, de tal forma que el comité eléctrico en su reunión del 25 de marzo el subcomité de la regla 13A comunicó que el momento adecuado para hacer obligatorio el aterrizamiento de los sistemas está cuando reglas convenientes fueran preparadas. Es evidente que una vez dada la forma a las reglas, de tal manera que fueran satisfactorias para todos estas deberían hacerse obligatorias para los protectores en lugar de ser simplemente permisibles.

En esta reunión los protectores querían estar seguros que al hacer una regla obligatoria, ésta fuera solicitada por parte de los interesados eléctricos, en su totalidad, por los hombres de la estación central, por la parte representativa de los ingenieros eléctricos así como por parte de los departamentos municipales. Textualmente fue de la siguiente manera: "*Queremos estar seguros que al hacer una regla obligatoria, ésta no sea en contra de sus propias necesidades....*". Aunque estas alturas para los protectores habría sido más que suficiente dejar la regla 13A tal y como se encontraba en aquellos momentos.

Pero en aquella reunión se tomó la decisión de hacer esta regla obligatoria, también se dieron a conocer las reglas para llevar a cabo un aterrizamiento adecuado.

De tal manera que en la decimoséptima reunión anual del Comité Eléctrico, llevada a cabo en la ciudad de Nueva York los días 24 y 25 de marzo de 1909, el comité encargado de la regla 13A, por parte de protectores contra incendios, reportó lo siguiente:

- I. Se nos solicitó hacer obligatoria esta regla para los circuitos secundarios de corriente alterna cuyo voltaje no exceda los 150 volts así como prohibir el aterrizamiento de los circuitos cuyo voltaje sea mayor a 150 volts. Es evidente que esta sugerencia no se puede basar en el peligro de incendio porque éste puede ser tan grande como si proviniera de un circuito que no estuviese aterrizado y cuyo voltaje exceda los 150 volts como de un circuito no aterrizado cuyo voltaje de operación sea menos a los 150 volts.*
- II. Su comité cree que los protectores no tienen capacidad para hacer respetar una regla, y que además no son capaces de defender en el campo, que tiene como propósito disminuir el peligro de incendio.*
- III. Su comité cree que los protectores deberían de hacer uso de su influencia moral para dar respaldo a cualquier regla que parezca adecuada para disminuir el peligro de incendio.*

".....Por lo tanto su comité no debería recomendar cambio alguno en la presente regla, pero si podría sugerir que la regla, en caso de hacerse obligatoria, debería hacerse en los términos establecidos por el Comité Nacional de Protectores de Incendios por medio de los inspectores aseguradores, a través de una nota diciendo: "En lo concerniente para la reducción de poner en peligro la vida se recomienda estar de acuerdo con la regla, pero como la regla no es adoptada con el fin de reducir el posible riesgo de incendio, ningún castigo podrá ser impuesto por los protectores por haber fallado al observar estas disposiciones."

Además su comité pone como excusa el no haber recibido información referente a la posición del AIEE (Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos) y de la Compañía de Iluminación Edison en cuanto a la aprobación de la regla "

Este reporte fue aceptado por las personas que se encontraban en la reunión y una vez más la sección correspondiente a conectar a tierra los sistemas permaneció intacta en la edición de 1909 del código.

Por su parte el consejo de directores del AIEE, en su reporte de anual de 1909, mencionó lo siguiente:

"El Comité del Código ha tenido varias reuniones, el asunto más importante es lo relacionado con la regla 13AA de los protectores contra incendios, esta regla trata sobre el aterrizamiento de los circuitos secundarios, el comité acordó que esta regla debería ser obligatoria para circuitos cuyo voltaje entre cualquier conductor y tierra sea mayor o igual a 150 volts, además esta regla se torna opcional para circuitos cuyo voltaje entre cualquier conductor y tierra sea mayor o igual a 250 volts. Esta resolución fue entregada al presidente de la Conferencia Nacional encargado de las reglas eléctricas estándar."

Una acción final tomada para llegar a la solución de este asunto, fue programar una futura reunión entre el Comité del Código con algunos representantes de la Planilla Nacional de Protectores contra Incendio.

Con lo anterior en la edición del código de 1911 la regla para aterrizar los sistemas, que bajo revisión se convirtió en la regla 15, se mantuvo casi como hasta el momento, es decir:

**** 15. Aterrizamiento de los circuitos de bajo voltaje.
Sistemas secundarios de corriente alterna.***

b) Los secundarios de los transformadores, de los sistemas de distribución, deben preferiblemente ser aterrizados y cuando sean aterrizados se debe de cumplir con las siguientes reglas:

- 1. El aterrizamiento debe de hacerse en el punto o conductor neutro, cuando el punto o conductor neutro sea accesible.*
- 2. Cuando el punto o conductor neutro no sea accesible, un extremo del circuito secundario puede ser aterrizado, la máxima diferencia de potencial del punto aterrizado a cualquier otro punto del circuito no debe exceder los 250 volts.*
- 3. La conexión a tierra debe hacerse en el transformador o en el servicio individual como se indica se indica en las secciones c a la g. Y cuando los transformadores alimenten circuitos con conductor neutro, este debe también ser aterrizado por lo menos cada 500 pies.*

Los departamentos de inspección, pueden solicitar la puesta a tierra en su jurisdicción, si la consideran necesaria."

Ahora después de esto, el tiempo para hacer que los circuitos secundarios de baja tensión fueran aterrizados de manera obligatoria se aproximaba, muestra de ello es que en el reporte de la junta de directores del AIEE incluyeron las siguientes aprobaciones:

"El Comité del Código a través de su presidente, representó al Instituto (AIEE) en la conferencia anual del Comité Nacional de Protectores contra Incendios, llevada a cabo en la ciudad de Nueva York los días 20 y 21 de marzo de 1911. El único asunto de interés para el instituto dentro de esta reunión fue lo relacionado al aterrizamiento de los circuitos secundarios y el trabajo de los representantes del instituto, que condujeron a la aprobación de una resolución por la conferencia de los protectores, haciendo valer la práctica de aterrizamiento de los secundarios y recomendado a los municipios y compañías de iluminación hacer esta regla obligatoria.

Aunado a lo antes mencionado se hace conocimiento de la resolución en donde el instituto hace su mayor esfuerzo para llevar a cabo un acuerdo con la NELA en el asunto de aterrizar los circuitos secundarios cuyos voltajes sean mayores o iguales a los 250 volts, en lugar de los 150 volts que es el estándar adoptado por la asociación."

De esta manera el Comité Eléctrico tuvo su primera reunión como el hijo adoptivo de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios, en esta reunión se adoptó una resolución en torno a la regla 15, anteriormente nombrada la regla 13. Esta resolución mencionaba que el aterrizamiento de los circuitos secundarios de corriente alterna que tuvieran una diferencia de potencial de operación inferior a los 150 volts, efectivamente reducían el riesgo de poner en peligro la vida al trabajar con estos circuitos. debido al

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

contacto accidental con circuitos de un potencial más peligroso y que el llevar a cabo esta práctica no incrementaba la probabilidad de incendio.

Por otro lado, debido a las diferentes opiniones en cuanto a sí el aterrizamiento de los circuitos que operaban a una diferencia de potencial mayor a 150 volts aumentan la probabilidad de incendio si eran aterrizados, fue necesario aclarar que esta medida tendía a reducir estos riesgos en lugar de incrementarlos.

En esta resolución se exhortó a los departamentos municipales a hacer obligatorio el aterrizamiento de los circuitos secundarios cuyo voltaje de operación fuese mayor a los 150 volts, como una medida de precaución, de igual forma lo hacia al dirigirse a los departamentos de inspección de los protectores quienes debían recomendar en todo momento el aterrizamiento, como una medida precautoria y deseable que no incrementaba las posibilidades de incendio.

Por su parte la NELA hacia un llamado a todas sus compañías asociadas a hacer una valoración ante la práctica de aterrizar sus circuitos como una medida de protección para sus usuarios.

A los departamentos a cargo de los trabajos relacionados con las tuberías de agua se les exhortó a permitir la unión de los conductores de puesta a tierra con sus redes de tubería, con la confianza plena de mantenerse íntegros estos sistemas independientemente del voltaje de operación de los sistemas que fueran conectados.

Referente al punto anterior se solicitó se comenzaran a idear otras formas para llevar a cabo un buen aterrizamiento en caso en que las tuberías metálicas, como las del agua o gas, no estuvieran disponibles.

También el AIEE exhortó a enfocar todos los esfuerzos en la solución de las diferencias de opinión existentes en torno a cual debería ser el límite de voltaje para el cual la puesta a tierra dejaba de ser recomendable, la solución debería ser aprobada por las personas presentes en la reunión de manera casi unánime.

Durante el siguiente año, 1912, el AIEE se unió con otras asociaciones eléctricas prominentes en un último esfuerzo para asegurar un requisito obligatorio para aterrizar los circuitos secundarios de baja tensión. De esta manera el reporte de 1912 de la junta de directores del AIEE contenía la siguiente observación:

"El comité del código llevó a cabo una reunión el 12 de marzo de 1912, a la cual asistieron representantes de la NELA, de la Asociación de las Compañías en Iluminación Edison, así como de la Asociación Nacional de Inspectores, quienes coincidieron en hacer, de manera unánime, una recomendación a la NFPA (National Fire Protection Association) para considerar el aterrizamiento de los circuitos secundarios..."

Con este respaldo substancial, el Comité Eléctrico se sentía alentado para aprobar el reporte de su comité en el cual se hacia obligatorio el aterrizamiento de los circuitos secundarios.

De esta manera finalmente en el código de 1913, una regla obligatoria en lo que al aterrizamiento de los circuitos secundarios se refiere, fue incluida, diciendo lo siguiente:

*** 15. Aterrizamiento de los circuitos de bajo voltaje.**
Sistemas secundarios de corriente alterna.

b) Los secundarios de los transformadores, de los sistemas de distribución (excepto cuando sean alimentados por empresas privadas o plantas de iluminación cuyo voltaje del lado primario no exceda los 550 volts) deben ser aterrizados, teniendo como diferencia de potencial máxima entre el punto aterrizado y cualquier otro punto del circuito 150 volts, y puede ser aterrizada cuando la diferencia de

potencial máxima entre el punto aterrizado y cualquier otro punto del circuito exceda los 150 volts. Cuando el aterrizamiento se realice se debe de cumplir con las siguientes reglas:

- 1. El aterrizamiento debe de hacerse en el punto o conductor neutro, cuando el punto o conductor neutro sea accesible.*
- 2. Cuando el punto o conductor neutro no sea accesible, un extremo del circuito secundario debe ser aterrizado.*
- 3. La conexión a tierra debe hacerse en el transformador o en el servicio individual como se indica se indica en las secciones c a la g, y cuando los transformadores alimenten circuitos con conductor neutro, este debe también ser aterrizado por lo menos cada 500 pies.*

Esta regla no ha cambiado mucho hasta la fecha, la principal diferencia es que en la edición del código de 1940 se recomienda la puesta a tierra para circuitos con voltajes de 150 a 300 volts, en lugar de ser solamente permitida. Este cambio apareció por primera vez en la edición del código de 1923.

CAPÍTULO 2

Se deben o no aterrizar los sistemas.

2.1 La seguridad como elemento base de los sistemas de tierra

El termino aterrizar está definido en la Norma Oficial Mexicana como: "conectar a tierra o a algún cuerpo conductor que sirva en lugar de la tierra". Los cuerpos conductores que sirven en lugar de la tierra incluyen el tubo conduit, cajas, carcazas, conductores componentes del sistema de puesta a tierra y dispositivos de alambrado. Estos son una extensión de la tierra por estar conectados eléctricamente con ésta por medios eléctricos y mecánicos.

La tierra en su totalidad es propiamente clasificada como un conductor; por conveniencia su potencial eléctrico es cero. Basados en la composición de la tierra, o suelo, la resistencia de los segmentos de la tierra puede variar ampliamente de un área a otra, debido a que la tierra se encuentra compuesta de muchos materiales diferentes, algunos de los cuales, especialmente cuando están secos, son malos conductores. La temperatura del suelo, el contenido de humedad y su composición química son factores que tienen una gran influencia en la resistencia del suelo. Como resultado de estos factores, la capacidad de la tierra, que es la capacidad para transportar corriente eléctrica, también variará ampliamente.

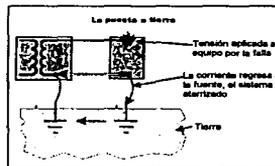


Figura 2-1

Un objeto metálico, una caja por ejemplo o cualquier compartimento de equipo que es aterrizado, es decir conectado a tierra por medio de electrodos enterrados en la tierra, es forzado, teóricamente, a tener el mismo potencial cero que tiene la tierra. Se pueden presentar pequeñas diferencias de potencial, debidas a las diferencias que existen en las impedancias de los materiales o de las conexiones. De tal manera que cualquier tendencia a incrementar o disminuir el potencial del objeto aterrizado resulta en un flujo de corriente a través del conductor de puesta a tierra, hasta que ese potencial (voltaje) sea igual al potencial de tierra (cero).

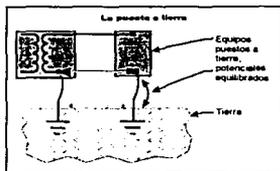


Figura 2-2

Por lo general la presencia de un potencial por encima del potencial de tierra se debe a alguna falla de fase a tierra, de tal manera que aterrizar es un medio para asegurar que el objeto aterrizado, como puede ser la carcaza de un motor, de un generador o en el caso de las líneas de transmisión las estructuras, que están sometidas cargas estáticas, no alcancen un voltaje que difiera demasiado del potencial de tierra que pueda ser peligroso.

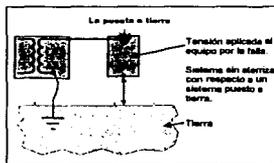


Figura 2-3

Cuando el conductor de puesta a tierra está roto, es inadecuado en dimensiones, principalmente por la cantidad de corriente a manejar; su resistencia no es la apropiada o no tiene las conexiones hechas correctamente puede ocasionar que un voltaje por encima del potencial de tierra sea mortal para alguna persona que entre en contacto con el equipo aterrizado.

Los edificios reciben el servicio de electrificación de alguna empresa suministradora. Este servicio puede ser de más de 600 volts, frecuentemente denominados como circuitos primarios; o de 600 volts o menos, a éstos se les conoce como circuitos secundarios. Además el sistema puede ser monofásico o trifásico. Existen algunos sistemas bifásicos los cuales han salido de operación en años recientes. La mayoría de los sistemas operan a una frecuencia de 60 Hz, aunque algunos sistemas de corriente directa siguen en operación, principalmente en aplicaciones industriales.

Además varios sistemas son producidos en el lugar en el que van a operar en varios niveles de voltaje y estos pueden ser del tipo monofásico o trifásico en su totalidad, o de ambos. La forma más común de producir un sistema eléctrico es con la ayuda de un transformador o un generador. En el caso de utilizarse un transformador un circuito eléctrico termina en los devanados del lado primario y otro circuito comienza en los devanados del lado secundario de este transformador.

Un ejemplo es donde una planta tiene un transformador de 480Y / 277 volts pero se requiere alimentar tableros a 120 volts. Una posible solución sería conectar un transformador monofásico de 480 volts en el lado primario, a 240 volts en el lado secundario con derivación (tap) central, lo que resulta en tener la posibilidad de utilizar dos voltajes 240 volts en los extremos del transformador o bien 120 volts entre la derivación central y cualquiera de los extremos.

Ahora bien, ¿Qué tan susceptibles son los seres humanos a la corriente eléctrica?, de igual forma que una ave colocada sobre un conductor eléctrico, el cuerpo humano es inmune a las descargas eléctricas mientras éste no se convierta en un componente que forme parte de un circuito eléctrico. La manera más fácil para evitar el peligro de una descarga eléctrica es evitar, precisamente, que el cuerpo humano sea parte de un circuito eléctrico.

Pero debido al uso frecuente de herramientas, equipos y dispositivos que funcionan sobre la base de la electricidad, el riesgo de estar expuesto a una descarga eléctrica es en la misma proporción en que este tipo de aparatos son utilizados por los seres humanos.

Pues bien una persona se puede convertir en un camino a tierra, o entre conductores de una de las siguientes formas, en un circuito serie o en un circuito paralelo. En el primer caso la persona se convierte en el único camino a través del cual la corriente fluirá en su intento por regresar hacia la fuente que la produce y así cerrar el circuito. Un ejemplo es el de un niño que sentado sobre una rejilla, en el piso, del sistema de calefacción, introdujo un pasador para cabello en un contacto, resultando que el niño se electrocutará.

Otro caso es el de un hombre que utilizó un taladro eléctrico con carcasa de metal que además contiene un cable tomacorriente de 3 conductores, el tercero es para la conexión a tierra, este hombre utiliza un adaptador dos a tres para poderse conectar a su instalación convencional de dos conductores, pero no conecta el cordón extra del convertidor al tornillo de la tapa del contacto. De forma accidental este cordón extra hace contacto con la clavija energizando la carcasa del taladro y por ende electrocutando al hombre. En este caso el equipo destinado a la puesta a tierra contribuyó en el electrocutamiento proporcionando un camino para la corriente, partiendo de la carcasa del taladro, pasando por el cuerpo del hombre y rematando en tierra para así cerrar el circuito.

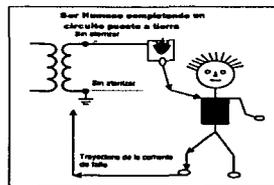


Figura 2-4

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En ambos casos el sistema aterrizado de 3 conductores resultó completamente ineficaz ya que el conductor de tierra no quedó involucrado para que circulara la corriente, y la corriente a través del cuerpo humano no fue lo suficientemente grande para activar el dispositivo de protección de sobrecorriente.

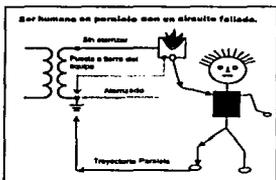


Figura 2-5

En un circuito paralelo, el cuerpo humano y otro posible camino, como el conductor de puesta a tierra de algún equipo, están conduciendo corriente al mismo tiempo. La corriente se va a dividir por las dos diferentes rutas pero la cantidad de corriente por cada una de ellas está determinada por la impedancia propia de las rutas. De esta manera la ruta que tenga mayor impedancia será la que permita un menor flujo de corriente.

De lo anterior podemos resumir que la cantidad de corriente que fluya a través de la persona estará determinada por el voltaje del circuito, el tipo de circuito con el cual la persona entró en contacto y la resistencia presentada por el cuerpo de la persona, porque eléctricamente hablando, la persona es considerada como una resistencia o una impedancia, como podemos ver es la ley de Ohm en su forma más simple.

En tanto que el daño causado a la persona está determinado por la cantidad de corriente que fluyó por el cuerpo de la persona, el tiempo y por donde circuló ésta.

Entonces, ¿se debe o no aterrizarse?, es una interrogante cuya respuesta es una combinación de respuestas dadas en los antecedentes históricos. La primera es que el sistema de puesta a tierra es utilizado para reducir al mínimo posible los daños ocasionados por entrar en contacto de manera accidental con algún equipo fallado mas no reducirlos al cien por cien. Podríamos decir que este criterio aplicaría para cuando el cuerpo humano está en paralelo con algún equipo fallado. La segunda está dada por un comentario que dice: "para reducir los riesgos no hay más que tener mucho cuidado al momento de estar trabajando", entonces haciendo uso de estas y otras recomendaciones más, es posible hacer que los sistemas eléctricos sean seguros.

2.2 Sistemas que no se deben poner a tierra.

2.2.1 Grúas.

Los circuitos de grúas eléctricas que funcionen sobre fibras combustibles en locales clase III como establece el artículo 503-13, esta acción reduce la probabilidad de que las chispas provenientes de algún equipo fallado caigan sobre las fibras combustibles ocasionando un incendio.

2.2.2 En instituciones de salud.

Aquí cada circuito de energía, dentro o parcialmente dentro, de un área de anestesia inflamable, debe aislarse de cualquier sistema de distribución mediante el uso de un sistema de energía aislado. Además todos los receptáculos y equipo fijo dentro de algún local húmedo, cerca de la zona dedicada a cuidados del paciente, deben tener una protección para el personal con interruptor de circuito por falla a tierra, si la interrupción de energía bajo condiciones de falla puede ser tolerada; cuando esta interrupción no sea tolerada, la alimentación debe ser por un sistema de energía aislado.

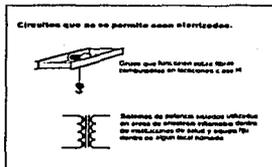


Figura 2-13

2.2.3 Celdas Electrolíticas.

El equipo ubicado o usado dentro de la zona de trabajo de las celdas electrolíticas en línea o asociado con los circuitos de energía eléctrica en c.c., no requiere cumplir con las disposiciones del Artículo 250.

2.3 Sistemas eléctricos que operan sin ser puestos a tierra.

En algunas ocasiones y bajo ciertas circunstancias, el ingeniero a cargo decidirá si operan o no a estos sistemas sin ser aterrizados. Estos sistemas se encuentran normalmente en aplicaciones agrícolas o industriales y frecuentemente son sistemas trifásicos de tres conductores de 240 o 480 V. Algunos sistemas de mayor voltaje son utilizados en algunas aplicaciones de la industria pesada. Cuando los sistemas sin aterrizar son instalados, la decisión por parte del ingeniero a menudo está basada en obtener un grado adicional en la continuidad del servicio.

Algunos sistemas que típicamente se encuentran en operación sin ser conectados a tierra, son los sistemas conectados en delta, trifásicos, de tres conductores operando a 240, 480, 2,300, 4,600 y 13,000 volts.

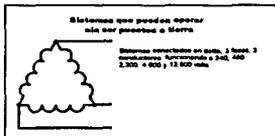


Figura 2-14

Estos sistemas se encuentran sin conexión a tierra. La ocurrencia de una primera falla a tierra no ocasiona que el dispositivo de protección de un alimentador, rama o servicio se dispare, ya que lo que esta falla hace es aterrizar el sistema en un lugar no especificado y que tampoco es controlado. En esencia el sistema se convierte en un sistema conectado en delta con esquina aterrizada.

Cuando un sistema con una falla a tierra experimenta una segunda falla, el resultado es una falla entre fases, lo que ocasiona que más de un dispositivo de sobrecorriente se active. Un asunto de mayor importancia se presenta cuando las fallas ocurren de forma distante. Algunas veces estas fallas son de la línea hacia los tubos conduit o algunos recintos metálicos tales como charolas, cajas de cuchillas o cajas de conexión en los motores.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Donde esto ocurre se establece un camino de alta impedancia para el flujo de corriente, en algunos casos se ha encontrado que una gran cantidad de calor, junto con arcos y chispas, se presentan a lo largo del camino de la falla, debidas principalmente a la perdida de algunas conexiones o uniones inadecuadas. Por ello se recomienda que todos los coples de conduit, así como los conectores, deben ser perfectamente ajustados para reducir estos arcos y chispas además de proveer un camino de baja impedancia.

Es importante por cuestiones de seguridad, así como para garantizar la continuidad del sistema, que el personal de mantenimiento localice y elimine las fallas a tierra cuando sean detectadas en los sistemas que no se encuentran aterrizados. Esto debe hacerse tan rápido y práctico como sea posible antes de que se presente una segunda falla a tierra en el sistema.

CAPÍTULO 3**Indicaciones normativas de cuáles sistemas se deben aterrizar****3.1 Indicaciones normativas acerca de los sistemas que se deben de aterrizar.**

Durante varios años hubo debates en cuanto a si se debían aterrizar los circuitos eléctricos o dejarlos en operación sin hacer la conexión a tierra, ya que la base del por qué se deben de aterrizar los sistemas eléctricos es la seguridad de los usuarios.

En México, la Norma Oficial Mexicana (NOM) establece que los sistemas eléctricos cuyas características caen dentro de los parámetros de la sección 250-5 deben ser aterrizados; en el caso de otros sistemas eléctricos se permite que éstos sean o no aterrizados debido a condiciones especiales en su funcionamiento. Hoy día algunos sistemas, básicamente en los sectores industriales y agrícolas funcionan sin ser aterrizados.

De acuerdo con la sección 250-5, los sistemas de corriente alterna que deben ser aterrizados son:

3.1.1 Circuitos de corriente alterna de menos de 50 volts.

Los circuitos de c.a. de menos de 50 V se deben de poner a tierra en cualquiera de las siguientes circunstancias:

- 1) Cuando estén alimentados por transformadores, si el sistema de suministro del transformador excede de 150 V a tierra.
- 2) Cuando estén alimentados por transformadores, si el sistema que alimenta al transformador no está puesto a tierra.
- 3) Cuando estén instalados como conductores aéreos fuera de los inmuebles.

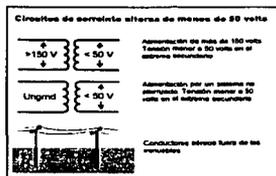


Figura 3-1

3.1.2 Sistemas de c.a. de 50 a 1000 V.

Los sistemas de 50 a 1000 V que suministren energía a instalaciones y sistemas de alumbrado de usuarios, deben de estar puestos a tierra en cualquiera de las siguientes circunstancias:

- 1) Cuando el sistema puede ser puesto a tierra de modo que la tensión eléctrica máxima a tierra de los conductores no-puestos a tierra no exceda 150 V (figura 3-2).
- 2) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en estrella el neutro se utilice como conductor del circuito (figura 3-3).
- 3) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en delta el punto medio del devanado de una fase se utilice como conductor del circuito (figura 3-4).
- 4) Cuando un conductor de acometida puesto a tierra no esté aislado, según las excepciones de 230-22, 230-30, y 230-41 (figura 3-5).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

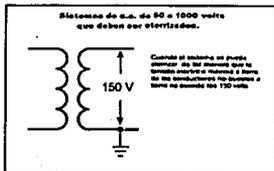


Figura 3-2



Figura 3-3

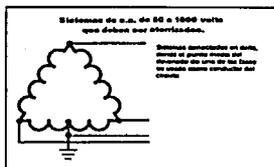


Figura 3-4



Figura 3-5

Excepción 230-22.

Está permitido que el conductor de tierra de un cable multicolor esté desnudo.

Excepción 230-30.

- Un conductor de cobre desnudo en una canalización.
- Un conductor de cobre desnudo directamente enterrado, si se estima que el cobre es adecuado para las condiciones del suelo.
- Un conductor de cobre desnudo directamente enterrado, sin tener en cuenta las condiciones del suelo, si forma parte de un cable especificado para uso subterráneo.
- Un conductor de aluminio o de cobre revestido de aluminio sin aislamiento o cubierta individual si forma parte de un cable especificado para uso subterráneo directamente enterrado o dentro de una canalización enterrada.

Excepción 230-41.

- Un conductor de cobre desnudo en una canalización.
- Un conductor de cobre desnudo directamente enterrado, si se estima que el cobre es adecuado a las condiciones del suelo.
- Un conductor de cobre desnudo, directamente enterrado con independencia de las condiciones del suelo, si forma parte de un cable identificado para uso subterráneo.
- Un conductor de aluminio sin aislante o cubierta individual, si forma parte de un cable identificado para su uso en una canalización subterránea o directamente enterrado.

3.1.3 Sistemas c.a. de 1 kV y más.

Los sistemas de c.a. que suministren energía a equipos móviles o portátiles, se deben de poner a tierra como se especifica en 250-154. Si suministra energía a otros equipos que no sean portátiles, se permite que tales sistemas se pongan a tierra. Cuando esos sistemas estén puestos a tierra, deben de cumplir con las disposiciones de este artículo que les sean aplicables.

3.1.4 Sistemas derivados separadamente.

Un sistema de alambrado de usuario cuya alimentación se deriva de los devanados de un generador, transformador o convertidor y no tenga conexión eléctrica directa, incluyendo un conductor del circuito sólidamente puesto a tierra, para alimentar conductores que se originan en otro sistema, sí se debe poner a tierra según lo anteriormente indicado en (a) o (b). Se debe de poner a tierra como se indica en 250-26.

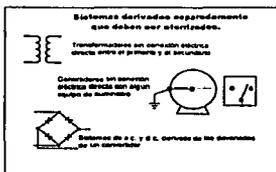


Figura 3-6

Nota 1: Una fuente alterna de energía de c.a., por ejemplo un generador, no es un sistema derivado separadamente si el neutro está sólidamente interconectado al neutro de la instalación que parte de una acometida.

Nota 2: Para los sistemas que no son derivados separadamente y que no se exige que estén puestos a tierra como se especifica en 250-26, véase en 445-5 el tamaño nominal mínimo de los conductores que deben transportar la corriente eléctrica de falla.

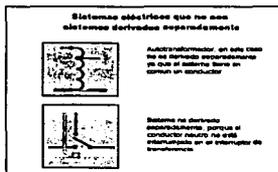


Figura 3-7

3.2 Sistemas que se permite sean aterrizados pero no es requerido que esto se haga.

Dentro de esta categoría, cinco tipos de sistemas eléctricos se permite sean aterrizados pero no se requiere, por norma; éstos sistemas de c.a. son:

1. Los sistemas eléctricos usados exclusivamente para suministrar energía a hornos eléctricos industriales para fundición, refinado, templado y usos similares.
2. Los sistemas derivados independientes utilizados exclusivamente para rectificadores que alimenten sólo a motores industriales de velocidad variable.
3. Eléctrica nominal del primario sea inferior a 1000 V siempre que se cumplan las condiciones siguientes:
 - a) Que el circuito se utilice exclusivamente para circuitos de control.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

- b) Que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personas calificadas atiendan la instalación.
 - c) Que haya continuidad de energía en el control.
 - d) Se instalan detectores de falla a tierra en el sistema de control.
4. Los sistemas aislados tal y como lo permiten los artículos 517, artículo referente a instalaciones en áreas de atención de la salud, y 668 en la instalación de los componentes eléctricos y accesorios de celdas electrolíticas, celdas electrolíticas en línea y a los procesos de suministro de energía para la producción de aluminio, cadmio, cloro, cobre, flúor, peróxido de hidrógeno, magnesio, sodio, clorato de sodio y zinc .
5. Los sistemas con neutro a tierra a través de una alta impedancia en el que la impedancia a tierra, generalmente una resistencia, limite al mínimo el valor de la corriente eléctrica de falla a tierra. Se permiten sistemas con neutro a tierra a través de una alta impedancia en instalaciones trifásicas de c.a. de 480 a 1000 V, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:
- a) Que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personas calificadas atiendan la instalación.
 - b) Que se requiera continuidad en la energía.
 - c) Se instalan detectores de falla a tierra en el sistema.
 - d) Que el sistema no alimente cargas de línea a neutro.
6. Generadores portátiles. No se exige que la armazón de un generador portátil se ponga a tierra, y si se permite que sirva como electrodo de puesta a tierra de una instalación alimentada por el generador, con las siguientes condiciones:
- a) Que el generador alimente sólo el equipo montado en el propio generador o al equipo conectado a través de cordón y clavija en receptáculos montados en el generador, o ambas cosas.
 - b) Que las partes metálicas no conductoras del equipo y las terminales puestas a tierra de los receptáculos se conecten a la armazón del generador.
7. Generadores montados en vehículos. Se permite que el chasis del éste sirva como electrodo de puesta a tierra del sistema alimentado por el generador montado en el móvil, con las siguientes condiciones:
- a) Que el armazón del generador esté conectado al chasis del vehículo, y
 - b) Que el generador alimente sólo a equipo montado sobre éste o a equipo conectado a través de cordón y clavija en receptáculos montados en el mismo o en el generador o a un equipo montado en el vehículo.
 - c) Que las partes metálicas no conductoras del equipo y de las terminales puestas a tierra de los receptáculos se conecten al armazón del generador.
 - d) Que el sistema cumpla todas las demás disposiciones de este artículo.

CAPITULO 4**Ilustración del artículo 250 de la NOM-001-SEDE-1999****4.1 Disposiciones generales**

250-1. Alcance. Este Artículo cubre los requisitos generales para la puesta a tierra y sus puentes de unión en las instalaciones eléctricas y, además, los requisitos específicos que se indican a continuación:

- a) En sistemas, circuitos y equipos en los que se exige, se permite o donde no se permite que estén puestas a tierra.
- b) El conductor del circuito que es puesto a tierra en sistemas puestas a tierra.
- c) Ubicación de las conexiones a tierra.
- d) Tipos y tamaños nominales de los conductores, puentes de unión y electrodos de conexión para puesta a tierra.
- e) Métodos de puesta a tierra y puentes de unión.
- f) Condiciones en las que se puede sustituir a los resguardos, separaciones o aislamiento por la puesta a tierra.

NOTA 1: Los sistemas se conectan a tierra para limitar las sobretensiones eléctricas debidas a descargas atmosféricas, transitorios en la red o contacto accidental con líneas de alta tensión, y para estabilizar la tensión eléctrica a tierra durante su funcionamiento normal. Los equipos se conectan a tierra de modo que ofrezcan un camino de baja impedancia para las corrientes eléctricas de falla, y que faciliten el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de falla a tierra.

NOTA 2: Los materiales conductores que rodean a conductores o equipo eléctricos o que forman parte de dicho equipo, se conectan a tierra para limitar la tensión a tierra de esos materiales y para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en caso de falla a tierra. Véase 110-10.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

250-2. Aplicación de otros Artículos. En otros Artículos relativos a casos particulares de instalación de conductores y equipo, hay otros requisitos adicionales a los de este Artículo o que modifican a los mismos:

	Artículo	Sección
Acometidas	230	
Abercas, fuentes e instalaciones similares	680	
Anuncios luminosos y alumbrado de realce	600	
Antenas de televisión comunitarias y sistemas de distribución de radio		820-33, 820-40
Aparatos eléctricos		422-16
Aparatos eléctricos y equipo de alumbrado		410-17, 410-18, 410-19, 410-21, 410-105(b)
Áreas peligrosas (clasificadas)		500-517
Cables y cordones flexibles		400-22, 400-23
Canalizaciones prealmbradas		365-9
Capacitores		460-10, 460-27
Casas móviles, casas prefabricadas y sus estacionamientos	550	
Celdas electrolíticas	668	
Circuitos Clase 1, Clase 2 y Clase 3 para control remoto, señalización y de potencia limitadas	800	725-6
Circuitos de comunicación		210-5, 210-6, 210-7
Circuitos derivados		
Circuitos y equipos que operan a menos de 50 V		
Conductores para alumbrado en general	720	
	310	
Construcciones agrícolas		547-8
Construcciones flotantes		553-8, 553-10, 553-11
Desconectores		380-12
Elevadores, montacargas, escaleras eléctricas y pasillos móviles, escaleras y elevadores para sillas de ruedas	620	230-63
Equipos de acometida	685	427-21, 427-29
Equipos de calentamiento por inducción y por pérdidas dieléctricas		427-46,
Equipo eléctrico fijo para calentamiento de tuberías y recipientes		426-27
Equipo eléctrico fijo para descongelar y derretir nieve		424-14
Equipo eléctrico fijo para calefacción de ambiente		640-4
Equipos de grabación de sonido y similares		645-15
Equipos de procesamiento de datos y de cómputo electrónico	810	
Equipos de radio y televisión	660	517-77
Equipos de rayos X		530-20, 530-66
Estudios de cine, televisión y lugares similares		
Grúas y polipastos	810	
Instalaciones en lugares de atención de la salud	517	
Instalaciones con tensiones eléctricas nominales mayores de 600 V		710-4(b)(1)
Maquinaria industrial	670	
Máquinas de riego operadas o controladas eléctricamente		675-11(c), 675-12, 675-13, 675-14
		675-15
		555-7
Marinas y muelles		
Motores, circuitos de motores y sus controladores	430	
Órganos tubulares	650	
Tableros de distribución y paneles de alumbrado y control		384-20
Luminarias, portalámparas, lámparas y receptáculos		410-58, 210-7
Salidas, dispositivos, cajas de jalado y de empalmes, cajas de paso y accesorios		370-4, 370-25
Sistemas de distribución programada		780-3
Sistemas intrínsecamente seguros		504-50
Sistemas de señalización para protección contra incendios		760-6
Sistemas solares fotovoltaicos		690-41, 690-42, 690-43, 690-45
		690-47
Tableros de distribución y paneles de alumbrado y control		384-3(d), 384-11
Teatros, áreas de audiencia en cines y estudios de televisión y lugares similares		520-81
Transformadores y bóvedas de transformadores	200	450-10
Uso e identificación de los conductores puestos a tierra	551	
Vehículos de recreo y sus estacionamientos		

4.2 Puesta a tierra de circuitos y sistemas eléctricos

250-3. Sistemas de corriente eléctrica continua (c.c.)

a) Sistemas de corriente eléctrica continua de dos conductores. Los sistemas de c.c. de dos conductores que suministren energía al sistema de alambrado de usuarios, deben estar puestos a tierra.

Excepción 1: Un sistema equipado con un detector de toma de tierra y que suministre energía sólo a equipos industriales en zonas limitadas.

Excepción 2: Un sistema que funcione a 50 V o menos entre conductores.

Excepción 3: Un sistema que funcione a más de 300 V entre conductores.

Excepción 4: Un sistema de c.c. derivado de un rectificador y alimentado desde un sistema de c.a. que cumpla con 250-5.

Excepción 5: Los circuitos de c.c. de alarma contra incendios con una corriente eléctrica máxima de 0,030 A, como se especifica en el Artículo T60 Parte C.

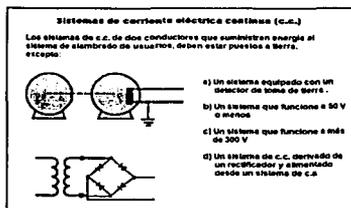


Figura 4-250-3a

b) Sistemas de corriente eléctrica continua de tres conductores. Se debe poner a tierra el conductor neutro de todos los sistemas de c.c. de tres conductores que suministren energía al sistema de alambrado de usuarios.

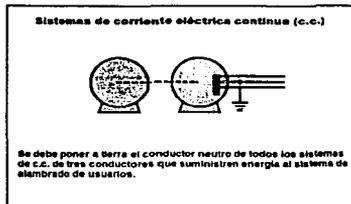


Figura 4-250-3b

250-5. Circuitos y sistemas de c.a. que se deben poner a tierra. Los circuitos y sistemas de c.a. se deben poner a tierra, según se establece en los siguientes incisos:

NOTA: Un ejemplo de sistema que se puede poner a tierra es un transformador en delta con conexiones en un vértice. Para el conductor que se debe poner a tierra, véase 250-25 (4).

a) Circuitos de c.a. de menos de 50 V. Los circuitos de c.a. de menos de 50 V se deben poner a tierra en cualquiera de las siguientes circunstancias:

- 1) Cuando estén alimentados por transformadores, si el sistema de suministro del transformador excede de 150 V a tierra.
- 2) Cuando estén alimentados por transformadores si el sistema que alimenta al transformador no está puesto a tierra.
- 3) Cuando estén instalados como conductores aéreos fuera de los inmuebles.

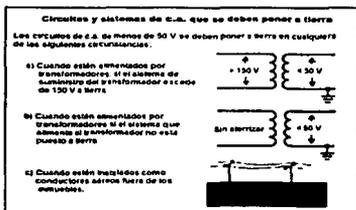


Figura 4-250-5a

b) Sistemas de c.a. de 50 a 1000 V. Los sistemas de c.a. de 50 a 1000 V que suministren energía a instalaciones y a sistemas de alambrado de usuarios, deben estar puestos a tierra en cualquiera de las siguientes circunstancias:

- 1) Cuando el sistema puede ser puesto a tierra de modo que la tensión eléctrica máxima a tierra de los conductores no-puestos a tierra no exceda 150 V.
- 2) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en estrella el neutro se utilice como conductor del circuito.
- 3) Cuando en un sistema de tres fases y cuatro conductores conectado en delta el punto medio del devanado de una fase se utilice como conductor del circuito.
- 4) Cuando un conductor de acometida puesto a tierra no esté aislado, según las excepciones de 230-22, 230-30 y 230-41.

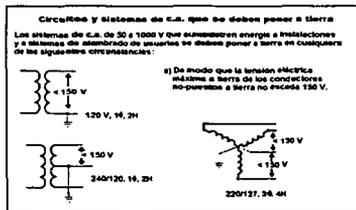


Figura 4-250-5b

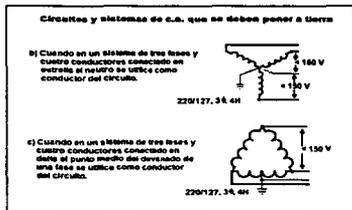


Figura 4-250-5b2

Excepción 1: Los sistemas eléctricos usados exclusivamente para suministrar energía a hornos eléctricos industriales para fundición, refinado, templado y usos similares.

Excepción 2: Los sistemas derivados independientes utilizados exclusivamente para rectificadores que alimenten sólo a motores industriales de velocidad variable.

Excepción 3: Eléctrica nominal del primario sea inferior a 1000 V, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

- a. Que el sistema se use exclusivamente para circuitos de control.
- b. Que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personas calificadas atiendan la instalación.
- c. Que haya continuidad de la energía en el control.
- d. Se instalan detectores de falla a tierra en el sistema de control.

Excepción 4: Los sistemas aislados, tal como lo permiten los Artículos 517 y 668.

NOTA: El uso de detectores adecuados de tierra en instalaciones sin aterrizaje, puede ofrecer mayor protección.

Excepción 5: Los sistemas con neutro a tierra a través de una alta impedancia en el que la impedancia a tierra, generalmente una resistencia, limite al mínimo el valor de la corriente eléctrica de falla a tierra. Se permitan sistemas con neutro a tierra a través de una alta impedancia en instalaciones trifásicas de c.a. de 480 a 1000 V, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

- a. Que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personas calificadas atiendan la instalación.
- b. Que se requiera continuidad en la energía
- c. Que se instalen detectores de falla a tierra en el sistema.
- d. Que el sistema no alimente cargas de línea a neutro

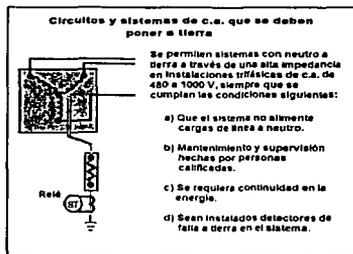


Figura 4-250-5e5

c) **Sistemas c.a. de 1 kV y más.** Los sistemas de c.a. que suministren energía a equipos móviles o portátiles, se deben poner a tierra como se especifica en 250-154. Si suministra energía a otros equipos que no sean portátiles, se permite que tales sistemas se pongan a tierra. Cuando esos sistemas estén puestos a tierra, deben cumplir las disposiciones de este Artículo que les sean aplicables.

d) **Sistemas derivados separadamente.** Un sistema de alambrado de usuario cuya alimentación se deriva de los devanados de un generador, transformador o convertidor y no tenga conexión eléctrica directa, incluyendo un conductor del circuito sólidamente puesto a tierra, para alimentar conductores que se originan en otro sistema, si se debe poner a tierra según lo anteriormente indicado en (a) o (b). Se debe poner a tierra como se indica en 250-26.

NOTA 1: Una fuente alterna de energía de c.a., por ejemplo un generador, no es un sistema derivado separadamente si el neutro está sólidamente interconectado al neutro de la instalación que parte de una acometida.

NOTA 2: Para los sistemas que no son derivados separadamente y que no se exige que estén puestos a tierra como se especifica en 250-26, véase en 445-5 el tamaño nominal mínimo de los conductores que deben transportar la corriente eléctrica de falla.

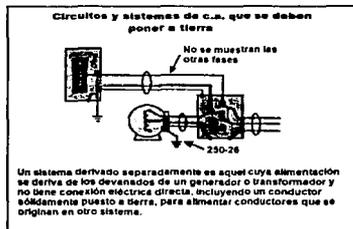


Figura 4-250-5d

250-6. Generadores portátiles y montados en vehículos

a) **Generadores portátiles.** No se exige que la armazón de un generador portátil se ponga a tierra, y si se permite que sirva como electrodo de puesta a tierra de una instalación alimentada por el generador, con las siguientes condiciones:

- 1) Que el generador alimente sólo al equipo montado en el propio generador o al equipo conectado a través de cordón y clavija en receptáculos montados en el generador, o ambas cosas.
- 2) Que las partes metálicas no conductoras del equipo y las terminales puestas a tierra de los receptáculos se conecten a la armazón del generador.

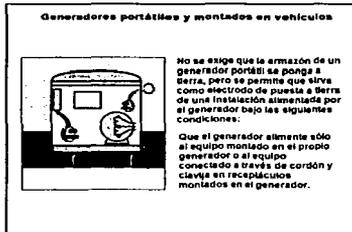


Figura 4-250-6a

b) **Generadores montados en vehículos.** Se permite que el chasis del vehículo sirva como electrodo de puesta a tierra del sistema alimentado por el generador montado en el vehículo, con las siguientes condiciones:

- 1) Que el armazón del generador esté conectado al chasis del vehículo, y
- 2) Que el generador alimente sólo a equipo montado sobre el vehículo o a equipo conectado a través de cordón y clavija en receptáculos montados en el vehículo o en el generador o a un equipo montado en el vehículo y otro conectado con cordón y clavija en receptáculos montados en el vehículo o en el generador.
- 3) Que las partes metálicas no conductoras del equipo y de las terminales puestas a tierra de los receptáculos se conecten al armazón del generador.
- 4) Que el sistema cumpla todas las demás disposiciones de este Artículo.

c) **Conexión del conductor neutro (Puente de unión).** Un conductor neutro se debe conectar al armazón del generador cuando el generador sea un componente de un sistema derivado separadamente. No se exige la conexión al armazón del generador de ningún otro conductor, excepto el neutro.

NOTA: Para la puesta a tierra de generadores portátiles que alimenten a instalaciones fijas, véase 250-5(d).

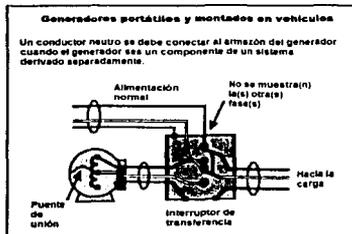


Figura 4-250-6c

250-7. Circuitos que no se deben poner a tierra. No se deben poner a tierra los siguientes circuitos:

- a) Grúas. Los circuitos de grúas eléctricas que funcionen sobre fibras combustibles en locales Clase III, como establece 503-13.
- b) Instituciones de salud (clínicas y hospitales). Los circuitos que establece el Artículo 517.
- c) Celdas electrolíticas. Los circuitos que establece el Artículo 688.

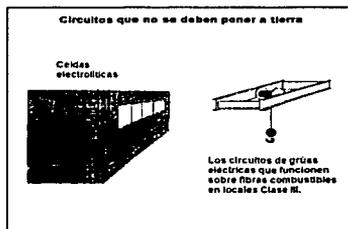


Figura 4-250-7

4.3 Ubicación de las conexiones de puesta a tierra de los sistemas

250-21. Corrientes eléctricas indeseables en los conductores de puesta a tierra

a) **Arreglo del sistema para evitar corrientes eléctricas indeseables.** La puesta a tierra de sistemas eléctricos, conductores de circuitos, apartarrrayos y partes conductoras de equipo y materiales normalmente sin energía, se debe hacer y disponer de modo que se evite el flujo de corrientes eléctricas indeseables por los conductores de puesta a tierra o por la trayectoria de puesta a tierra.

b) **Modificaciones para evitar corrientes eléctricas indeseables.** Si la instalación de varias conexiones de tierra produce un flujo de corrientes eléctricas indeseables, se permite hacer una o más de las siguientes modificaciones, siempre que se cumplan los requisitos de 250-51:

- 1) Cortar una o más de dichas conexiones a tierra, pero no todas
- 2) Cambiar la posición de las conexiones a tierra
- 3) Interrumpir la continuidad del conductor o de la trayectoria conductora de las conexiones a tierra.
- 4) Tomar otras medidas adecuadas

c) **Corriente eléctrica temporal que no se considera indeseable.** A efectos de lo especificado en los anteriores incisos, no se consideran corrientes eléctricas indeseables a las temporales que se produzcan accidentalmente, como las debidas a fallas a tierra, y que se presentan sólo mientras los conductores de puesta a tierra cumplen sus funciones de protección previstas.

d) **Limitaciones a las alteraciones permitidas.** Las disposiciones de esta Sección no se deben tomar como permiso de utilización de equipo electrónico en instalaciones o circuitos derivados de c.a. que no estén puestos a tierra como lo exige este Artículo. Las corrientes eléctricas que originan ruidos o errores en los datos de equipos electrónicos no se consideran como las corrientes eléctricas indeseables de las que trata esta Sección.

250-22. Punto de conexión de sistemas de c.c. Los sistemas de c.c. que se ponen a tierra deben tener sus conexiones de puesta a tierra en una o más de sus fuentes de alimentación. No deben hacerse en acometidas individuales ni en ningún otro punto del sistema de alambrado del usuario.

Excepción: Cuando la fuente de alimentación del sistema de c.c. esté situada en el sistema de alambrado del usuario, se debe hacer una puesta a tierra (1) en la fuente de alimentación o en el primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente del sistema o (2) mediante cualquier otro medio que ofrezca una protección equivalente al sistema y que utilice equipos aprobados e identificados para ese uso.

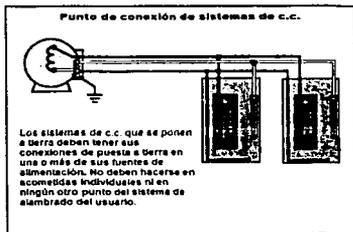


Figura 4-250-22

250-23. Puesta a tierra de sistemas de c.a. alimentados desde una acometida

a) **Puesta a tierra del sistema.** Un sistema de alambrado de usuarios que se alimenta por medio de una acometida de c.a. conectada a tierra debe tener en cada acometida un conductor conectado a un electrodo de puesta a tierra que cumpla lo establecido en la Parte H del Artículo 250. El conductor debe estar conectado al conductor puesto a tierra de la acometida en cualquier punto accesible del lado de la carga de la acometida aérea o lateral hasta, e incluyendo, la terminal o barra a la que esté conectado el conductor puesto a tierra de la acometida en el medio de desconexión de la acometida. Cuando el transformador de alimentación de la acometida esté situado fuera del edificio, se debe hacer como mínimo otra conexión de tierra desde el conductor puesto a tierra de la acometida hasta el electrodo de puesta a tierra, ya sea en el transformador o en cualquier otro punto fuera del edificio. No se debe hacer ninguna puesta a tierra a ningún conductor puesto a tierra de circuitos en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida.

NOTA: Véase 230-21.

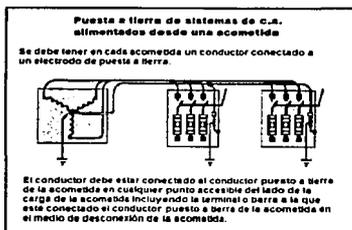


Figura 4-250-23a

Excepción 1: Un conductor para electrodo de puesta a tierra se debe conectar al conductor puesto a tierra de un sistema derivado separadamente según, lo establecido en 250-26(b).

Excepción 2: Se debe hacer una conexión a un conductor de puesta a tierra en cada edificio independientemente cuando lo requiera la Sección 250-24.

Excepción 3: En las estufas, estufas montadas en barras, hornos montados en la pared, secadoras de ropa y equipo de medición, según lo permite 250-61.

Excepción 4: En las acometidas con doble conexión a la red (doble terminación) en un envolvente común o agrupadas en envolventes distintos con una conexión al secundario, se permite una sola conexión al electrodo de puesta a tierra del punto de conexión de los conductores puestos a tierra de cada fuente de alimentación.

Excepción 5: Cuando el puente de unión principal descrito en 250-53(b) y 250-79 sea un cable o una barra instalada (a) desde la barra o conexión del neutro a la terminal de tierra del equipo de la acometida, se permite que el electrodo de puesta a tierra se conecte a la terminal de tierra del equipo al que vaya conectado el puente de unión principal.



Figura 4-250-23e4

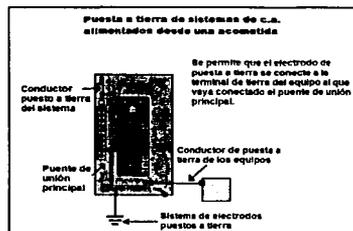


Figura 4-250-23e5

Excepción 6: Lo que se establece en 250-27 para conexiones a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una impedancia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

b) Conductor puesto a tierra conectado al equipo de la acometida. Cuando un sistema de c.a. de menos de 1000 V se conecta a tierra en cualquier punto, el conductor puesto a tierra se debe llevar hasta cada medio de desconexión de acometida y conectarlo al envolvente de cada uno de ellos. Este conductor se debe llevar junto con los conductores de fase y no debe ser inferior al conductor de puesta a tierra requerido en la Tabla 250-94 y, además, para los conductores de fase de acometidas de más de 1100 kcmils (cobre) o 1750 kcmils (aluminio), la tamaño nominal del conductor puesto a tierra no debe ser inferior a 12.5% del tamaño nominal mayor de los conductores de fase de las acometidas. Cuando los conductores de fase de entrada a la acometida vayan en paralelo, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra se debe calcular sobre la base de una sección transversal equivalente para conductores en paralelo, como se indica en esta Sección

NOTA: Para la puesta a tierra de conductores conectados en paralelo, véase 310-4

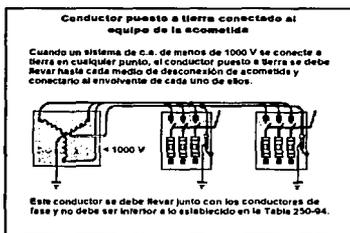


Figura 4-250-23b

Excepción 1: No se exige que el conductor puesto a tierra sea de mayor área de sección transversal que el del mayor conductor de fase de entrada a la acometida que no vaya puesto a tierra.

Excepción 2: Lo que establece la Sección 250-27 para conexiones a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una impedancia.

Excepción 3: Cuando haya más de un medio de desconexión de la acometida en un conjunto aprobado y listado como equipo de acometida, debe llevarse un conductor puesto a tierra hasta ese conjunto y conectarse al envolvente del equipo.

250-24. Suministro de energía desde la misma acometida a dos o más edificios o estructuras

a) **Sistemas puestos a tierra.** Cuando se suministre energía desde la misma acometida de c.a. a dos o más edificios o estructuras, el sistema puesto a tierra en cada edificio o estructura debe tener un electrodo de puesta a tierra como se describe en la Parte H, conectado al envolvente metálico del medio de desconexión del edificio. Cuando el conductor de puesta a tierra del equipo, descrito en 250-91(b), no vaya junto con los conductores del circuito de suministro, el tamaño nominal del conductor puesto a tierra de la instalación de c.a. a la entrada del medio de desconexión, no debe ser inferior al tamaño nominal especificado en la Tabla 250-95 para los conductores de puesta a tierra de equipo.



Figura 4-250-24a

Excepción 1: No será necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo tengan un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera ser puesto a tierra.

Excepción 2: No será necesario conectar el conductor puesto a tierra de un circuito al electrodo de puesta a tierra en un edificio o estructura independiente, si se tiende un conductor de puesta a tierra de equipo junto con los conductores del circuito para poner a tierra cualquier equipo metálico no energizado normalmente, sistemas interiores de tubería metálica y estructuras metálicas del edificio, y si el conductor de puesta a tierra del equipo va conectado al electrodo de puesta a tierra del medio de desconexión de otro edificio o estructura, como se describe en la Parte H. Si no hay electrodos y el edificio o estructura recibe el suministro de más de un circuito derivado, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra que cumpla los requisitos de la Parte H. En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que va subterránea hasta el medio de desconexión debe ser de cobre aislado o forrado.

NOTA: En cuanto a los requisitos especiales para puesta a tierra de edificios agrícolas, véase la Excepción de 547-8(a)

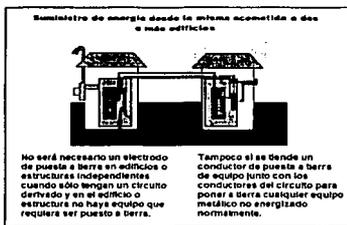


Figura 4-250-24e1

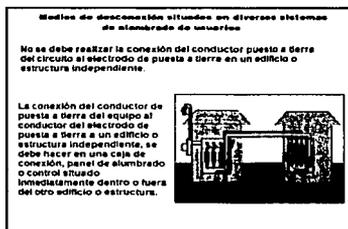


Figura 4-250-24c

b) **Sistemas no-puestos a tierra.** Cuando dos o más inmuebles o estructuras estén alimentados por un sistema no-puesto a tierra desde un solo equipo de acometida, cada inmueble o estructura debe tener un electrodo de puesta a tierra, como se especifica en la Parte H, conectado a la envolvente metálica de los medios de desconexión del inmueble o estructura.

Excepción 1: No será necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo tengan un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera ser puesto a tierra.

Excepción 2: No se requiere electrodo de puesta tierra ni conexión del electrodo de puesta a tierra a la envolvente metálica del medio de desconexión del edificio o estructura, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- a. Se instale un conductor de puesta a tierra de equipo con los conductores del circuito hasta el medio de desconexión del edificio o estructura para poner a tierra cualquier equipo metálico no destinado a la conducción de corriente, sistemas de tuberías metálicas interiores y estructuras metálicas del edificio.
- b. No existan electrodos de puesta a tierra como se describen en la Parte H.
- c. El edificio o estructura reciba energía sólo de un circuito derivado.
- d. En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que vaya subterránea hasta el medio de desconexión, debe ser de cobre aislado o forrado.

NOTA: Véase la Excepción de 547-8(a), para los requisitos especiales de puesta a tierra en edificios agrícolas.

c) **Medios de desconexión situados en diversos sistemas de alambrado de usuarios.** Cuando haya uno o más medios de desconexión que suministren energía a uno o más edificios o estructuras bajo la misma administración y esos medios de desconexión estén situados fuera de esos edificios o estructuras según lo establecido en 225-8(b), Excepciones 1 y 2, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- 1) No se debe realizar la conexión del conductor puesto a tierra del circuito al electrodo de puesta a tierra en un edificio o estructura independiente.
- 2) Se debe tender un conductor de puesta a tierra para equipo metálico no energizado normalmente, para sistemas interiores de tubería metálica y para estructuras metálicas de edificios, junto con los conductores

del circuito hasta un edificio o estructura independiente y para conectar a los electrodos de puesta a tierra existente descritos en la Parte H o, si no existieran esos electrodos, se debe instalar un electrodo de puesta a tierra que cumpla los requisitos de la Parte H, cuando se suministre energía desde un edificio o estructura independiente a más de un circuito derivado.

3) La conexión del conductor de puesta a tierra del equipo al conductor del electrodo de puesta a tierra a un edificio o estructura independiente, se debe hacer en una caja de conexión, panel de alumbrado y control o elemento similar situado inmediatamente dentro o fuera del otro edificio o estructura.

Excepción 1: No será necesario un electrodo de puesta a tierra en edificios o estructuras independientes cuando sólo tengan un circuito derivado y en el edificio o estructura no haya equipo que requiera ser puesto a tierra.

Excepción 2: En establos, la parte del conductor de puesta a tierra del equipo que vaya subterránea hasta el medio de desconexión, debe ser de cobre aislado o forrado.

d) Conductor de puesta a tierra. El tamaño nominal del conductor de puesta a tierra hasta el electrodo o electrodos de puesta a tierra, no debe ser inferior a lo indicado en la Tabla 250-95 y su instalación debe cumplir con lo establecido en 250-92(a) y (b).

Excepción 1: No se exige que el conductor de puesta a tierra tenga un tamaño nominal mayor que el mayor de los conductores no-puestos a tierra del suministro.

Excepción 2: Cuando se conecte a electrodos, como se indica en 250-83(c) o (d), no se exige que la parte del conductor de puesta a tierra que constituya la única conexión entre el electrodo o electrodos y el conductor de puesta a tierra o puesto a tierra o la envolvente metálica del medio de desconexión del edificio, sea de mayor tamaño nominal de 13,3 mm² (6 AWG) en cobre o que 21,15 mm² (4 AWG) en aluminio.

250-25. Conductor que se debe poner a tierra en sistemas de c.a. En sistemas de c.a. en sistemas de alambrado de usuarios, el conductor que se debe poner a tierra es el que se especifica a continuación:

- 1) Sistemas monofásicos de dos conductores: un conductor.
 - 2) Sistemas monofásicos de tres conductores: el neutro.
 - 3) Sistemas de varias fases con un común a todas las fases: el conductor común.
 - 4) Sistemas de varias fases en las que se deba poner a tierra una fase: el conductor de una fase.
 - 5) Sistemas de varias fases en las que una fase se utilice como la (2) anterior: el neutro.
- Los conductores puestos a tierra deben identificarse como se especifica en el Artículo 200.

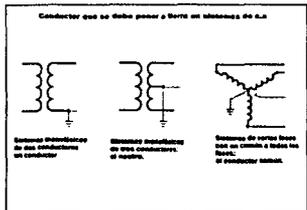


Figura 4-250-25

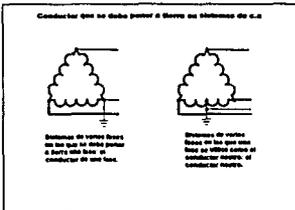


Figura 4-250-25

250-26. Puesta a tierra de los sistemas de c.a. derivados separadamente. Una instalación de c.a. derivada separadamente que deba ser puesta a tierra, debe hacerse según se especifica a continuación:

a) Puente de unión. Se debe instalar un puente de unión, de tamaño nominal que cumpla lo establecido en 250-79 (d) para los conductores de fase derivados para conectar los conductores de puesta a tierra del equipo del sistema derivado al conductor puesto a tierra. Excepto como se permite en las Excepciones 4 o 5 de 250-23(a), esta conexión se debe hacer en cualquier punto del sistema derivado separadamente, desde su fuente hasta el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema o en la fuente del sistema derivado separadamente que no tenga medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.

Excepción 1: El tamaño nominal del puente de unión de un sistema que suministre energía a un circuito de Clase 1, Clase 2 o Clase 3 y que se derive de un transformador de no-más de 1000 VA nominal, no debe ser inferior al de los conductores de la fase derivada y en ningún caso inferior a 2,08 mm² (14 AWG).

Excepción 2: Lo establecido en 250-27, 250-153 y 250-5(b), Excepción 5 para los requisitos de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una impedancia.

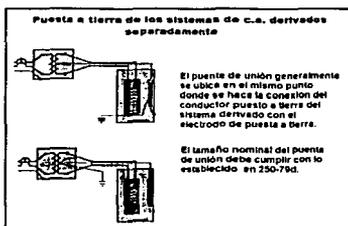


Figura 4-250-26a

b) Conductor al electrodo de puesta a tierra. Se debe emplear un conductor de tamaño nominal acorde con lo establecido en 250-94 para conectar el conductor puesto a tierra del sistema derivado con el electrodo de puesta a tierra, como se especifica a continuación en (c), para los conductores de fase del sistema derivado. Excepto lo que se permita en 250-23(a), Excepción 4, esta conexión se debe hacer en cualquier punto del sistema derivado separadamente, desde su fuente hasta el primer medio de desconexión o dispositivo de protección contra sobrecorriente del sistema o en la fuente del sistema derivado separadamente que no tenga medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente.

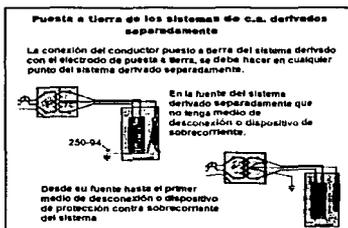


Figura 4 250-26b

Excepción 1: No es necesario un conductor hasta el electrodo de puesta a tierra en un sistema que suministre energía a circuitos de la Clase 1, Clase 2 o Clase 3 y se derive de un transformador de no-más de 1000 VA nominales, siempre que el conductor puesto a tierra del sistema se conecte a la estructura o al envoltorio del transformador por medio de un puente de unión de tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en 250-26, Excepción 1 para el anterior caso (a), y la estructura o el envoltorio del transformador estén conectadas a tierra por cualquiera de los medios especificados en 250-57

Excepción 2: Lo establecido en 250-27, 250-153 y 250-5(b), Excepción 5, para los requisitos de puesta a tierra de sistemas con neutro puesto a tierra a través de una impedancia

c) Electrodo de puesta a tierra. El electrodo de puesta a tierra debe ser lo más accesible posible y estar preferiblemente en la misma zona que la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra al sistema. Cuando no se disponga de los electrodos especificados en los anteriores incisos (1) o (2), el electrodo de puesta a tierra debe ser (1) el elemento metálico de la estructura o edificio más cercano puesto a tierra eficazmente o (2) la tubería metálica de agua puesta a tierra eficazmente que esté más cerca o (3) los electrodos especificados en 250-81 y 250-83.

NOTA: Para las conexiones de los sistemas derivados independientes, véase 250-80(a)

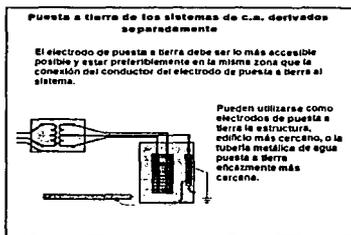


Figura 4 250-26c

d) **Métodos de puesta a tierra.** En todos los demás aspectos, los métodos de puesta a tierra deben cumplir los requisitos establecidos en otras partes de esta NOM.

250-27. Conexiones de un sistema con neutro puesto a tierra a través de una impedancia. Los sistemas con neutro puesto a tierra a través de una impedancia, tal como se permite en la Excepción 5 de 250-5(b), deben cumplir las siguientes condiciones:

a) **Ubicación de la impedancia de puesta a tierra.** La impedancia de puesta a tierra debe instalarse entre el conductor del electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra y el neutro del sistema. Cuando no haya neutro disponible, la impedancia de puesta a tierra se debe instalar entre el conductor del electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra y el neutro derivado de un transformador de puesta a tierra.

b) **Conductor neutro.** El conductor procedente del punto neutro de un transformador o de un generador hasta su punto de conexión con la impedancia de puesta a tierra, debe estar completamente aislado. El conductor neutro debe tener una capacidad de conducción de corriente no inferior a la corriente eléctrica máxima nominal de la impedancia de puesta a tierra. En ningún caso el conductor neutro debe ser inferior a 8,37 mm² (8 AWG) en cobre o a 13,3 mm² (6 AWG) en aluminio.

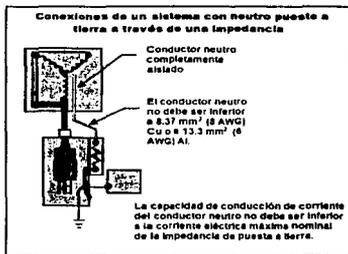


Figura 4 250-27b

c) **Conexión del neutro del sistema.** El neutro del sistema no se debe poner a tierra excepto a través de la impedancia de puesta a tierra.

NOTA: La impedancia se elige normalmente para que limite la intensidad de una corriente eléctrica de falla a tierra, a un valor igual o ligeramente superior a la carga capacitiva del sistema. Ese valor de impedancia debe limitar también las sobretensiones transitorias a valores seguros.

d) **Trayectoria del conductor neutro.** Se permite instalar el conductor que conecta el punto neutro de un transformador o de un generador a una impedancia de puesta a tierra en una canalización independiente. No es necesario que este conductor se instale junto a los conductores de fase hasta el primer medio de desconexión o dispositivo contra sobrecorriente del sistema.

e) **Puente de unión del equipo.** El puente de unión del equipo (la conexión entre los conductores de puesta a tierra del equipo y la impedancia de puesta a tierra) debe ser un conductor sin empalmes que corra desde el primer medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente del sistema hasta el lado puesto a tierra de la impedancia de puesta a tierra.

f) **Ubicación del conductor al electrodo de puesta a tierra.** El conductor al electrodo de puesta a tierra se debe conectar en cualquier punto a partir del lado puesto a tierra de la impedancia de tierra a la conexión de puesta a tierra del equipo en la acometida o en el primer medio de desconexión del sistema.

4.4 Puesta a tierra de envolventes y canalizaciones

250-32. Envolventes y canalizaciones de la acometida. Se deben poner a tierra los envolventes y canalizaciones metálicos de los conductores y el equipo de la acometida.

Excepción: Un codo metálico instalado en una instalación subterránea de tubo (conduit) rígido no-metálico que esté aislado de posibles contactos con cualquier parte del codo por una cubierta de 457 mm, mínimo.

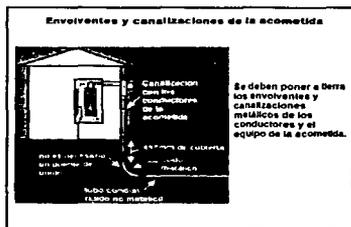


Figura 4 250-32

250-33. Envolventes y canalizaciones para otros conductores. Se deben poner a tierra los envolventes y canalizaciones metálicos para los conductores que no son de la acometida.

Excepción 1: No es necesario poner a tierra las canalizaciones y las cubiertas metálicas de conductores que se añaden a instalaciones existentes de línea abierta, y los cables de cubierta no-metálica que no constituyen toma de tierra del equipo, si no tienen más de 8 m, si están libres de posibles contactos con tierra, metales puestos a tierra, rejillas metálicas u otro material conductor y protegidos contra el contacto de las personas.

Excepción 2: No es necesario poner a tierra las partes cortas de canalizaciones o cubiertas metálicas utilizadas como soporte o protección de cables contra daños físicos.

Excepción 3: No es necesario poner a tierra los envolventes cuando no se exija en 250-43(i).

Excepción 4: Un codo metálico instalado en una instalación subterránea de tubo (conduit) rígido no-metálico que esté aislado de posibles contactos con cualquier parte del codo por una separación mínima de 45 cm.

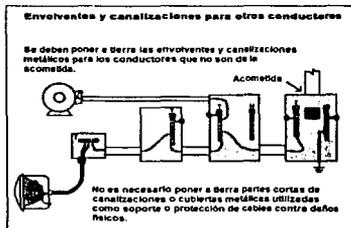


Figura 4 250-33

4.5 Puesta a tierra de los equipos

250-42. Equipo fijo o conectado de forma permanente. Las partes metálicas expuestas y no-conductoras de corriente eléctrica del equipo fijo que no estén destinadas a transportar corriente, deben ponerse a tierra si se presenta cualquiera de las circunstancias mencionadas en los siguientes incisos:

- Distancias horizontales y verticales. Si están a menos de 2.5 m en vertical o de 1.50 m en horizontal de tierra u objetos metálicos puestos a tierra y que puedan entrar en contacto con personas.
- Lugares mojados o húmedos. Cuando estén instaladas en lugares mojados o húmedos y no estén aisladas.
- Contacto eléctrico. Cuando estén en contacto eléctrico con metales.
- Locales peligrosos (clasificados). Cuando estén en un local peligroso (clasificado) de los cubiertos en los Artículos 500 a 517.
- Método de alambrado. Cuando estén alimentados por medio de cables con forro metálico, recubiertos de metal, en canalizaciones metálicas u otro método de instalación que pueda servir de puesta a tierra del equipo, excepto lo que se permita en 250-33 para tramos cortos de envolventes metálicos.
- De más de 150 V a tierra. Cuando el equipo funcione con cualquier terminal a más de 150 V a tierra.

Excepción 1: Las cubiertas de desconectadores o interruptores automáticos de circuitos que se utilicen para medios que no sean de equipo de acomoda y sólo sean accesibles a personal calificado.

Excepción 2: Carcasas metálicas de aparatos eléctricos de calefacción oxéntas por permiso especial, en cuyo caso las carcasas deben estar permanente y eficazmente aisladas de tierra.

Excepción 3: Equipo de distribución, como por ejemplo tanques de transformadores y de capacitores, montados en postes de madera y a una altura superior a 2.5 m sobre el nivel del suelo.

Excepción 4: No es necesario poner a tierra equipo aprobado y listado como protegido por un sistema de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado.

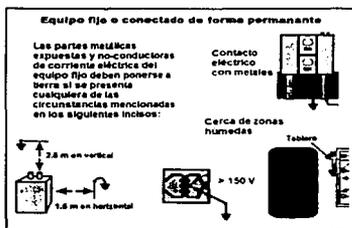


Figura 4 250-42

250-43. Equipo fijo o conectado de forma permanente. Se deben poner a tierra, independientemente de su tensión eléctrica nominal, las partes metálicas expuestas y no-conductoras de corriente eléctrica del equipo descrito a continuación ((a) a (j)), y las partes metálicas no destinadas a conducir corriente eléctrica del equipo y de envolventes descritas en (k) y (l):

a) Armazones y estructuras de tableros de distribución. Los armazones y estructuras de tableros de distribución en los que esté instalado equipo de interrupción

Excepción: Los armazones de tableros de distribución de c. a. dos conductores que estén eficazmente aislados de tierra.

b) Órganos de tubos. Las estructuras y carcasas de motores y generadores de órganos de tubos que funcionen con motor eléctrico.

Excepción: Cuando el generador esté eficazmente aislado de tierra y de su motor.

c) Armazones de motores. Las armazones de motores, como se establece en 430-12.

d) Cubiertas de los controladores de motores. Las cubiertas de los controladores de motores.

Excepción 1: Envolventes conectados a equipo portátil no-puesto a tierra.

Excepción 2: Las tapas continuas de interruptores de acción rápida.

e) Grúas y elevadores. Equipo eléctrico de grúas y elevadores.

f) Estacionamientos públicos, teatros y estudios cinematográficos. El equipo eléctrico de los estacionamientos públicos, teatros y estudios cinematográficos

- g) **Anuncios luminosos.** Los anuncios luminosos, alumbrado de realce y equipo asociado, como establece el Artículo 600.
- h) **Equipo de proyección de películas.** El equipo de proyección de películas.
- i) **Circuitos de control remoto, señalización y alarma contra incendios de energía limitada.** El equipo alimentado por circuitos de energía limitada de Clase 1 y los de control remoto y señalización de Clase 1, Clase 2 y Clase 3 y los circuitos de alarma contra incendios, se deben poner a tierra cuando así lo exija la Parte B de este Artículo.
- j) **Luminarias.** Las luminarias, tal como se establece en la Parte E del Artículo 410
- k) **Bombas de agua operadas por motor.** Las bombas de agua operadas por motor, incluso las de tipo sumergible.
- l) **Ademes metálicos de pozos.** Cuando se use una bomba sumergible con ademe metálico dentro de un pozo, el ademe se debe conectar al conductor de puesta a tierra del circuito de la bomba.

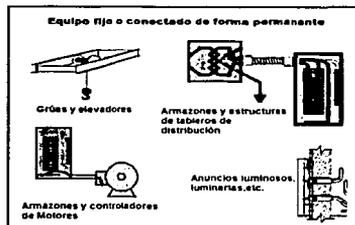


Figura 4 250-43

250-44. Equipo no-eléctrico. Se deben poner a tierra las partes metálicas del equipo no-eléctrico descrito en los siguientes incisos:

- a) **Grúas y elevadores.** Las estructuras y rieles metálicos de las grúas y de elevadores.
- b) **Cabinas de elevadores.** Estructuras de cabinas de elevadores no-eléctricos a las que vayan conectados conductores eléctricos.
- c) **Elevadores eléctricos.** Los cables metálicos manuales de elevación de elevadores eléctricos.
- d) **Separaciones metálicas.** Las separaciones metálicas, rejillas y otros elementos metálicos similares alrededor de equipo de 1 kV y más entre conductores, excepto en subestaciones o bóvedas que sean únicamente accesibles a la compañía suministradora.
- e) **Casas móviles y vehículos recreativos.** Las casas móviles y los vehículos recreativos, como se establece en los Artículos 550 y 551.

NOTA: Cuando haya partes metálicas en edificios que puedan quedar electrificadas y entrar en contacto con las personas, una adecuada conexión y puesta a tierra ofrecerán protección adicional.

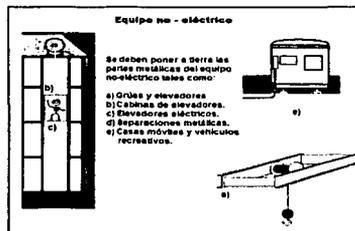


Figura 4 250-44

250-45. Equipo conectado con cordón y clavija. En cualquiera de las condiciones descritas abajo, se deben poner a tierra las partes metálicas no-conductoras de corriente eléctrica y expuestas de equipo conectado por cordón y clavija, las cuales pudieran energizarse:

a) En lugares peligrosos (clasificados). En los lugares peligrosos (clasificados) (véase los Artículos 500 a 517)

b) De más de 150 V a tierra. Cuando funcionen a más de 150 V a tierra.

Excepción 1: Los motores, cuando estén protegidos.

Excepción 2: Las carcasas metálicas de aparatos eléctricos de calefacción, exentas por permiso especial, en cuyo caso las carcasas deben estar permanente y eficazmente aisladas de tierra.

Excepción 3: No es necesario poner a tierra equipo aprobado y listado como protegido por un sistema de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado

c) En construcciones residenciales. En las construcciones residenciales: (1) los refrigeradores, congeladores y aparatos eléctricos de aire acondicionado, (2) las lavadoras, secadoras, lavavajillas, eliminadores de residuos de cocina, bombas de sumideros y equipo eléctrico de acuarios, (3) las herramientas manuales a motor, las herramientas fijas a motor, las herramientas ligeras industriales a motor, (4) los aparatos eléctricos a motor de los siguientes tipos: limpiadoras de pisos que se basen en agua, podadoras de césped, esparcidores de nieve y lavadores móviles; (5) los portalámparas portátiles.

Excepción: Las herramientas y aparatos eléctricos aprobados y listados como protegidos por un sistema de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado.

d) En construcciones no-residenciales. En las construcciones no-residenciales: (1) los refrigeradores, congeladores y aparatos eléctricos de aire acondicionado; (2) las lavadoras, secadoras, lavavajillas, computadoras electrónicas y equipo de proceso de datos, bombas de sumideros y equipo eléctrico de acuarios, (3) las herramientas manuales a motor, las herramientas fijas a motor, las herramientas ligeras industriales a motor; (4) los aparatos eléctricos a motor de los siguientes tipos: podadoras, esparcidores de nieve y lavadores móviles; (5) los aparatos eléctricos conectados con cordón y clavija utilizados en locales húmedos o mojados por personas que permanecen de pie sobre el suelo o sobre suelos metálicos o que trabajan dentro de depósitos o calderas metálicas, (6) las herramientas que se puedan utilizar en lugares mojados o conductores y (7) los portalámparas portátiles.

Excepción 1: No es necesario que las herramientas y portalámparas portátiles que se puedan utilizar en lugares mojados o conductores se conecten a tierra cuando reciben energía a través de un transformador de aislamiento con el secundario no-puesto a tierra y de no más de 50 V.

Excepción 2: Las herramientas manuales, herramientas a motor, herramientas fijas aprobadas a motor, herramientas industriales ligeras y aparatos eléctricos aprobados y listados como protegidos por un sistema de doble aislamiento o equivalente. Cuando se utilicen estos sistemas, el equipo debe estar claramente marcado.

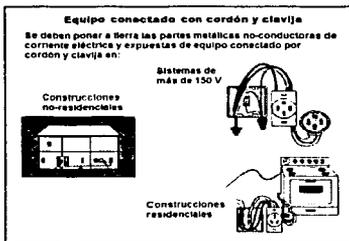


Figura 4 250-45

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

250-46. Separación de los conductores de los pararrayos. Las canalizaciones, envoltentes, estructuras y otras partes metálicas de equipo eléctrico que no transporten normalmente corriente eléctrica, se deben mantener alejadas 1.8 m como mínimo de los conductores de bajada de las varillas pararrayos o deberán interconectarse cuando la distancia a los conductores sea inferior a 1.8 m

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

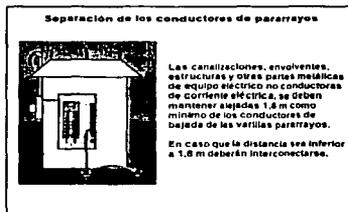


Figura 4 250-46

4.6 Métodos de puesta a tierra

250-50. Conexiones de los conductores de puesta a tierra de equipo. Las conexiones de los conductores de puesta a tierra del equipo en la fuente de suministro de los sistemas derivados independientes, se deben hacer de acuerdo con lo indicado en 250-26(a). Las conexiones de los conductores de puesta a tierra del equipo de la acometida, se deben hacer según los siguientes incisos:

- a) En sistemas puestas a tierra. La conexión se debe hacer conectando el conductor de puesta a tierra de equipo, al conductor de la acometida puesto a tierra y al conductor del electrodo de puesta a tierra.
- b) En sistemas no-puestos a tierra. La conexión se debe hacer conectando el conductor de puesta a tierra de equipo, al conductor del electrodo de puesta a tierra.

Excepción a (a) y (b): Para cambiar los receptáculos sin terminal de puesta a tierra por receptáculos con terminal de puesta a tierra y para ampliaciones de circuitos derivados sólo de instalaciones ya existentes que no tengan conductor de puesta a tierra de equipo en el circuito derivado, se permite que el conductor de puesta a tierra de los receptáculos con toma de tierra se conecte a un punto accesible de la instalación del electrodo de puesta a tierra, como se indica en 250-81 o a cualquier punto accesible del conductor del electrodo de puesta a tierra.

NOTA: Para el uso de receptáculos con interruptor de circuitos con protección por falla a tierra, véase 210-7(d)

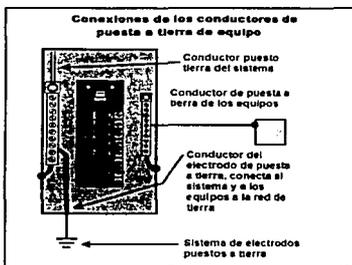


Figura 4 250-50a

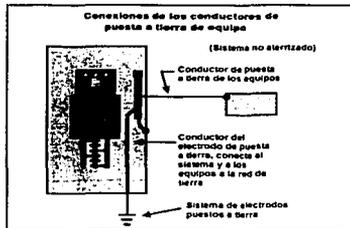


Figura 4 250-50b

250-51. Trayectoria efectiva de puesta a tierra. La trayectoria a tierra desde los circuitos, equipo y cubiertas metálicas de conductores debe ser: (1) permanente y eléctricamente continua; (2) de capacidad suficiente para conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica de falla que pueda producirse, y (3) de una impedancia suficientemente baja como para limitar la tensión eléctrica a tierra y facilitar el funcionamiento de los dispositivos de protección del circuito. El terreno natural no se debe utilizar como el único conductor de puesta a tierra de equipo.

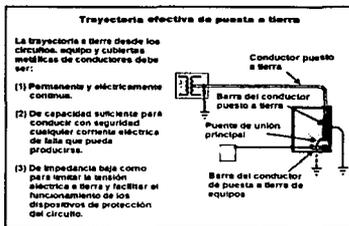


Figura 4 250-51

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

250-53. Trayectoria de puesta a tierra hasta el electrodo de puesta a tierra en la acometida

a) **Conductor al electrodo de puesta a tierra.** Se debe usar un conductor para conectar al electrodo de puesta a tierra, los conductores de puesta a tierra de equipo, los envolventes de equipo de acometida y, si el sistema está puesto a tierra, el conductor de puesta a tierra de la acometida.

Excepción: Lo que establece 250-27 para conexiones a instalaciones con neutro a tierra de alta impedancia.

NOTA: Para la puesta a tierra de los sistemas de corriente eléctrica alterna, véase 250-23(a)

b) **Puente de unión principal.** Para sistemas puestos a tierra se debe usar un puente de unión principal, sin empalmes, para conectar el conductor de puesta a tierra de equipo y el envolvente de desconexión de la acometida al conductor de puesta a tierra del sistema en cada punto de desconexión de la acometida.

Excepción 1: Cuando haya más de un medio de desconexión de la acometida en un conjunto aprobado y listado para usarse como equipo de acometida, es necesario tender un conductor puesto a tierra hasta el equipo y conectarlo al envolvente.

Excepción 2: Lo que se establece en 250-27 y 250-123 para sistemas con neutro puesto a tierra a través de una impedancia.

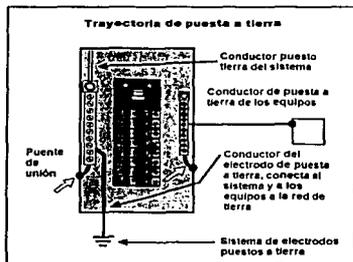


Figura 4 250-53

250-54. Electrodo común de puesta a tierra. Cuando se conecta un sistema de c.a. a un electrodo de puesta a tierra en, o a un edificio, tal como lo especifican 250-23 y 250-24, ese mismo electrodo se debe usar para poner a tierra los envolventes y el equipo en o a ese edificio. Cuando al mismo edificio lleguen dos acometidas independientes y haya que conectarlas a un electrodo de puesta a tierra, se debe usar el mismo electrodo.

Dos o más electrodos de tierra eléctricamente unidos entre sí se deben considerar a este respecto, un solo electrodo.

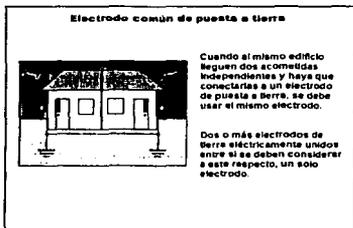


Figura 4 250-54

250-55. Cable subterráneo de acometida. Cuando la acometida a un inmueble se realiza desde un sistema subterráneo basado en cables con cubierta metálica continua, la cubierta o armadura del cable de acometida conectada al sistema subterráneo o al tubo de acometida, debe ser puesto a tierra en el inmueble, al igual que la tubería interior.

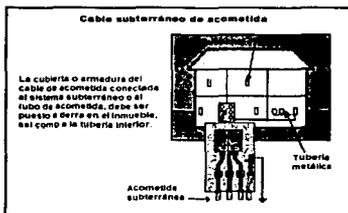


Figura 4 250-55

250-56. Tramos cortos de una canalización. Cuando se requiera poner a tierra tramos aislados de una canalización metálica o del blindaje de un cable, se deberá hacer según 250-57.

250-57. Equipo fijo o conectado por un método de alambrado permanente (fijo): puesta a tierra. Cuando se requiera poner a tierra las partes metálicas no-conductoras de equipo, canalizaciones u otros envolventes, se debe hacer por uno de los siguientes métodos.

Excepción: Cuando el equipo, las canalizaciones y envolventes están puestos a tierra a través del conductor del circuito puesto a tierra, tal como la permiten 250-24, 250-60 y 250-61.

a) Tipos de conductores de puesta a tierra de equipo. Todos los permitidos por 250-91(b).

b) Con los conductores del circuito. Mediante el conductor de puesta a tierra de equipo instalado dentro de la misma canalización, cable o cordón o tendido de cualquier otro modo con los conductores del circuito. Se permiten conductores de puesta a tierra de equipo desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores de puesta a tierra cubiertos o aislados individualmente deben tener un acabado exterior continuo, verde liso o verde con una o más franjas amarillas.

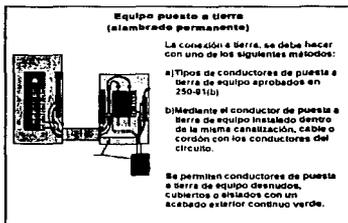


Figura 4 250-57

Excepción 1: Se permite que, durante la instalación, un conductor aislado o cubierto de tamaño nominal superior a 13.3 mm² (6 AWG), de cobre o de aluminio, se identifique permanentemente como conductor de puesta a tierra en sus dos extremos y en todos los puntos en los que el conductor esté accesible. Esta identificación se debe hacer por uno de los siguientes medios

- a. Quitando el aislamiento o el recubrimiento en toda la parte expuesta
- b. Pintando de verde el aislamiento o el recubrimiento expuesto, o

c. Marcando el aislamiento o el recubrimiento expuesto con una cinta o etiquetas adhesivas de color verde.

Excepción 2: Se permite que, en los circuitos de c.c., el conductor de puesta a tierra de equipo se instale independiente de los conductores del circuito.

Excepción 3: Como se requiere en la Excepción de 250-50(a) y (b), se permite que el conductor de puesta a tierra de equipo se instale independiente de los conductores del circuito.

Excepción 4: Cuando las condiciones de mantenimiento y de supervisión aseguren que la instalación esté atendida sólo por personal calificado, se permite identificar permanentemente durante la instalación uno o más conductores aislados en un cable multipolar como conductores de puesta a tierra de equipo, en cada extremo y en todos los puntos en los que el conductor esté accesible, por los siguientes medios:

a. Quitando el aislamiento o el recubrimiento en toda la parte expuesta

b. Pintando de verde el aislamiento o el recubrimiento expuesto

c. Marcando el aislamiento o el recubrimiento expuesto con una cinta o etiquetas adhesivas de color verde.

NOTA 1: Para los puentes de unión de equipo, véase 250-79

NOTA 2: Para el uso de cordones con equipo fijo, véase 400-7

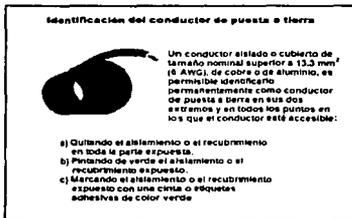


Figura 4 250-57e4

250-58. Equipo considerado eficazmente puesto a tierra. En las condiciones especificadas en los siguientes incisos, se considera que las partes metálicas no-conductoras de equipo están eficazmente puestas a tierra.

a) Equipos sujetos a soportes metálicos puestas a tierra. Los equipo eléctricos sujetos y en contacto eléctrico con bastidores o con estructuras metálicas diseñados para su soporte y puestas a tierra por uno de los medios indicados en 250-57. No se debe usar la estructura metálica de un edificio como conductor de puesta a tierra de equipo de c.a.

b) Estructura de ascensores metálicos. Las estructuras de ascensores metálicos sujetos a cables metálicos que los elevan, unidos o que circulan sobre carretes o tambores metálicos de las máquinas de los ascensores puestas a tierra por alguno de los métodos indicados en 250-57.

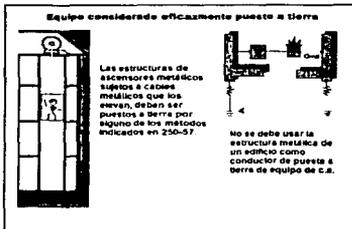


Figura 4 250-58

250-59. Equipos conectados con cordón y clavija. Cuando haya que conectarlos a tierra, las partes metálicas no-conductoras de equipo conectado con cordón y clavija se deben poner a tierra por alguno de los métodos indicados a continuación:

a) **A través de la envolvente metálica.** A través de la envolvente metálica de los conductores que suministran energía a dicho equipo, si se usa una clavija con terminal de puesta a tierra y tiene un contacto fijo para puesta a tierra, para poner a tierra la envolvente y si la envolvente metálica de los conductores se sujeta al contacto de la clavija y al equipo mediante conectadores aprobados

Excepción: Se permite un contacto de tierra auto-armable en receptáculos con toma de tierra utilizados en el extremo del cordón de aparatos eléctricos portátiles, accionados a mano o en herramientas manuales

b) **A través del conductor de puesta a tierra de equipo.** A través del conductor de puesta a tierra de equipo instalado junto con los conductores de alimentación en un cable o cordón flexible debidamente terminado en una clavija terminal de puesta a tierra, y un contacto de tierra fijo. Se permite que haya un conductor de puesta a tierra sin aislar, pero, si se aísla, el forro debe ser de acabado exterior continuo y color verde, o verde con una o más tiras amarillas.

Excepción: Se permite un contacto de tierra auto-armable en clavijas con terminal de puesta a tierra utilizada en el extremo del cordón de aparatos eléctricos portátiles, accionados a mano o aparatos eléctricos y herramientas manuales.

c) **A través de un cable o alambre independiente.** A través de un cable flexible o alambre independiente, desnudo o aislado, protegido en la medida de lo posible contra daño físico, cuando forme parte del equipo.

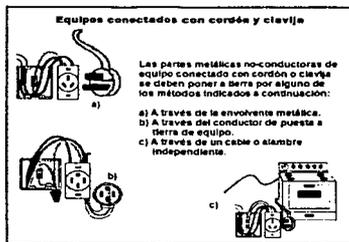


Figura 4 250-59

250-60. Carcasas de estufas y secadoras de ropa. Esta Sección se debe aplicar sólo a los circuitos derivados ya instalados. Los circuitos de nueva instalación deben cumplir lo establecido en 250-57 y 250-59. Las carcasas de estufas eléctricas, hornos montados en la pared, secadoras de ropa y salidas o cajas de empalmes que formen parte del circuito de esos aparatos, se deben poner a tierra según se especifica en 250-57 o 250-59 o se pueden poner a tierra en el conductor de un circuito puesto a tierra (excepto en las casas móviles y vehículos recreativos), si se cumplen además todas las condiciones establecidas a continuación

a) El circuito de suministro es monofásico a tres conductores, 120/240 V, o 220Y/127 V, 208Y/120 V, tres fases cuatro conductores en estrella.

b) El conductor puesto a tierra no es inferior a 5,26 mm² (10 AWG) en cobre o a 13,3 mm² (6 AWG) en aluminio.

c) El conductor puesto a tierra está aislado, o el conductor puesto a tierra sin aislar forma parte de un cable de acometida Tipo SE y el circuito derivado se origina en el equipo de acometida.

d) Los contactos de puesta a tierra de receptáculos con terminal de puesta a tierra suministrados como parte del equipo están puenteados con el equipo.

(Imagen en la siguiente página)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

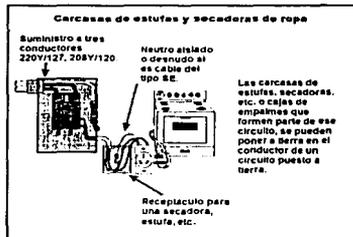


Figura 4 250-60

250-61. Uso del conductor puesto a tierra para poner a tierra equipo

a) Lado de suministro de equipo. Se permite que el conductor puesto a tierra sirva para poner a tierra las partes metálicas y no-conductoras de equipo, canalizaciones y otras envoltentes en cualquiera de los siguientes lugares:

- 1) En el lado de alimentación del medio de desconexión de la acometida.
- 2) En el lado de alimentación del medio de desconexión de la acometida para distintos edificios, como se establece en 250-24.
- 3) En el lado de alimentación del medio de desconexión o del dispositivo de sobrecorriente de la acometida de un sistema derivado separadamente

b) Lado de la carga de equipo. No se debe usar un conductor puesto a tierra para poner a tierra las partes metálicas no-conductoras de equipo que haya en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida o en el lado de la carga del medio de desconexión o del dispositivo de sobrecorriente de un sistema derivado separadamente que no tenga un medio de desconexión principal de la red.

Excepción 1: Las carcassas de estufas, hornos montados en la pared, estufas montadas en barras y secadoras de ropa en las condiciones permitidas por 250-60 para instalaciones ya existentes.

Excepción 2: Lo que permite 250-54 para edificios independientes.

Excepción 3: Se permite poner a tierra los envoltentes para medidores conectándolos al conductor puesto a tierra del circuito en el lado de la carga del medio de desconexión de la acometida, si

- a. No hay instalado un dispositivo de protección contra fallas a tierra, y
- b. Todos los medidores están situados cerca del medio de desconexión de la acometida.
- c. El tamaño nominal del conductor puesto a tierra del circuito no es inferior a lo especificado en la Tabla 250-95 para los conductores de puesta a tierra de equipo.

Excepción 4: Lo que exigen 710-72(b)(1) y 710 74

Excepción 5: Se permite poner a tierra los sistemas de c.c. del lado de la carga del medio de desconexión o dispositivo de sobrecorriente, según Excepción de 250-22

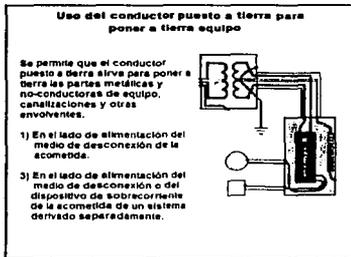


Figura 4 250-61a

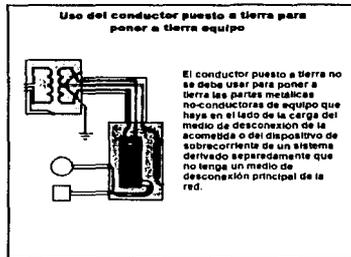


Figura 4 250-61b

250-62. Conexiones para circuitos múltiples. Cuando se requiera poner a tierra un equipo que esté alimentado mediante conexiones independientes a más de un circuito o en sistemas puestos a tierra de sistemas de alambrado de usuarios, debe haber un medio de puesta a tierra en cada una de esas conexiones, como se especifica en 250-57 y 250-59.

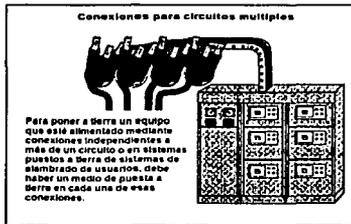


Figura 4 250-62

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.7 Puentes de unión

250-70. Disposiciones generales. Cuando sea necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica que pudiera producirse por falla a tierra, se deben hacer los puentes de unión pertinentes.

250-71. Equipo de la acometida

a) **Puente de unión del equipo de la acometida.** Las partes metálicas no-conductoras de equipo que se indican en los siguientes incisos, se deben conectar entre sí:

- 1) Excepto lo que se permita en 250-55, las canalizaciones de acometida, charolas, estructuras de electroductos, armadura o blindaje de los cables.
- 2) Todos los envoltentes de equipo de acometida que contengan conductores, conexión de medidores, cajas o similares, interpuestos en la canalización o blindaje.
- 3) Cualquier canalización metálica o envoltente por los que se lleve un conductor al electrodo de puesta a tierra, tal como se permite en 250-92(a). Las conexiones se deben hacer en cada extremo y en todas las canalizaciones, cajas y envoltentes que existan entre el equipo de acometida y el electrodo de puesta a tierra.

b) **Puente de unión con otros sistemas.** En la acometida debe haber como mínimo un medio accesible fuera de los envoltentes para conectar los puentes de unión y de tierra de otros sistemas, como mínimo formada por uno de los siguientes medios:

- 1) Canalizaciones metálicas de la acometida expuestas.
- 2) El conductor al electrodo de puesta a tierra, expuesto.
- 3) Un dispositivo aprobado para la conexión externa de un conductor de unión o de puesta a tierra, de cobre u otro elemento resistente a la corrosión, a la canalización o al equipo de la acometida.

A efectos de la existencia de un medio accesible para la conexión de sistemas, se considera equipo de acometida a los medios de desconexión de un edificio o estructura independiente, tal como se permite en 250-54, y los medios de desconexión de las casas móviles permitidos en la Excepción 1 de 550-23(a).

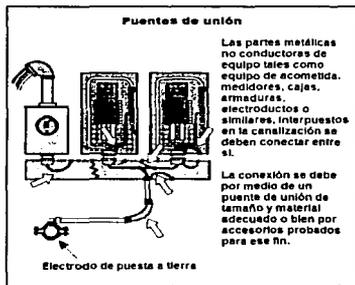


Figura 4 250-71a

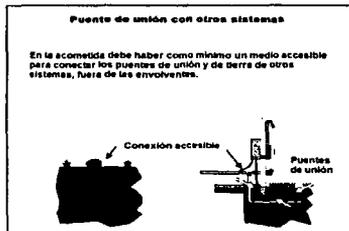


Figura 4 250-71b

NOTA 1: Un ejemplo de dispositivo aprobado mencionado en el párrafo anterior (3), es un conductor de cobre de 13,3 mm² (6 AWG) con un extremo conectado a la canalización o al equipo de acometida y más de 152 mm del otro extremo accesible por la parte exterior.

NOTA 2: Para las conexiones y puesta a tierra de circuitos de comunicaciones, radio, televisión y televisión por cable (CATV), véanse 800-40 y 820-40.

250-72. Método de para puentes de unión del equipo de la acometida. La continuidad eléctrica del equipo de acometida debe estar asegurada por uno de los métodos especificados en los siguientes incisos:

- a) Conductor puesto a tierra de acometida. Conectar el equipo al conductor de acometida puesto a tierra por alguno de los métodos indicados en 250-113.
- b) Conexiones roscadas. Cuando haya tubo (*conduit*) metálicos tipo pesado o semipesado, las uniones mediante rosca o tubos roscados en los envolventes, se deben apretar con llave.
- c) Conexiones y conectadores sin rosca. Para los puentes que requiere esta Sección, no se deben usar tuercas ni monitores normalizados para las conexiones y conectadores sin rosca de tubo (*conduit*) metálico tipo pesado, semipesado y ligero. Deben usarse tuercas y conexiones aprobadas para este fin.
- d) Puentes de unión. Los puentes de unión que cumplan los demás requisitos de este Artículo se deben usar en tomas concéntricas o excéntricas perforadas o hechos de cualquier otra forma que no afecten la conexión eléctrica a tierra.
- e) Otros dispositivos. Otros dispositivos aprobados, como contratuercas y monitores para puesta a tierra.

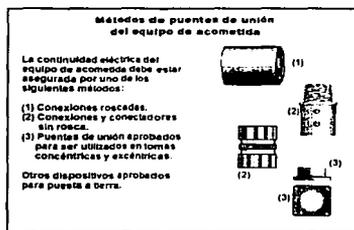


Figura 4 250-72

250-73. Cable de acometida con blindaje o cinta metálica. El blindaje o cinta metálica de un cable de acometida que tenga un conductor de acometida puesto a tierra y no-aislado, en contacto eléctrico continuo con su blindaje o cinta metálica, se considera como puesto a tierra.

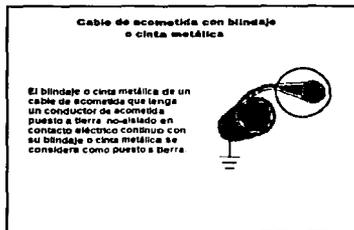


Figura 4 250-73

250-74. Conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja. Se debe realizar una conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja de conexiones efectivamente puesta a tierra.

Excepción 1: Cuando la caja vaya montada en una superficie con contacto metálico directo entre el soporte y la propia caja, se permite que la tierra del contacto se haga a la caja. Esta excepción no se aplica a los receptáculos montados en las tapas, a no ser que la caja y la tapa estén aprobados y listados como un conjunto que proporcione una continuidad satisfactoria a tierra entre la caja y el receptáculo.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Excepción 2: Se permite que los dispositivos o soportes de contacto diseñados, aprobados y listados para este fin formen, junto con los tornillos que los sujetan, el circuito de tierra entre el soporte del dispositivo y la caja montada en la pared.

Excepción 3: Las cajas en el piso diseñadas y aprobadas para ofrecer una continuidad satisfactoria a tierra entre la caja y el dispositivo.

Excepción 4: Cuando sea necesario para reducir el ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas) en el circuito de puesta a tierra, se permite un receptáculo en el que la terminal de puesta a tierra esté aislada intencionalmente de los medios de montaje del contacto. Se debe poner a tierra el receptáculo por medio de un conductor aislado que vaya con los conductores del circuito. Este conductor de puesta a tierra puede pasar a través de uno o más paneles de alumbrado y control sin necesidad de conectarlo a las terminales de puesta a tierra de los mismos, como se permite en 384-20, excepto que termine dentro del mismo edificio o estructura, directamente en la terminal de un conductor de puesta a tierra de equipo de la correspondiente acometida o del sistema derivado.

NOTA: El uso de un conductor de puesta a tierra aislado para equipo no exime del requisito de poner a tierra la canalización y la caja.



Figura 4 250-74e1

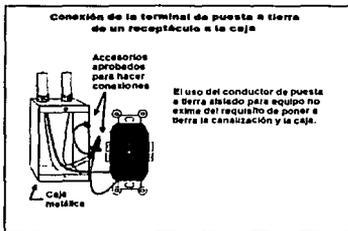


Figura 4 250-74e4

250-75. Punteo de unión de otras estructuras. Las canalizaciones metálicas, soportes para cables tipo charola, blindajes de cables, forros de cables, envoltentes, tableros, herrajes y otras partes metálicas que no lleven normalmente corriente eléctrica y que puedan servir como conductores de puesta a tierra con o sin conductores suplementarios de tierra de equipo, se deben conectar eficazmente cuando sea necesario para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad del circuito para conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica que pudiera producirse por falla a tierra en el mismo. Se deben quitar de las roscas, puntos y superficies de contacto todas las pinturas, barnices o recubrimientos similares no-conductores o conectarlos por medio de herrajes diseñados de manera que hagan tal eliminación innecesaria.

Excepción: Cuando sea necesario para reducir el ruido eléctrico (interferencias electromagnéticas) en el circuito de puesta a tierra, se permite que un envoltente en el que haya equipo instalado y al que se alimente desde un circuito derivado, esté aislado de una canalización que contenga cables que alimenten sólo a este equipo, por medio de uno o más herrajes de canalización no-metálicas aprobadas y listadas situadas en el punto de conexión de la canalización con el envoltente. La canalización metálica debe cumplir lo establecido en este Artículo y debe ir complementada por un conductor aislado interno instalado de acuerdo con lo indicado en la Excepción 4 de 250-74, para que sirva de conexión de puesta a tierra del envoltente del equipo.

NOTA: El uso de un conductor de puesta a tierra aislado para equipo no exime del requisito de poner a tierra la canalización y la caja.

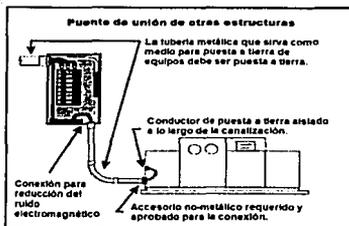


Figura 4 250-75

250-76. Puentes de unión en instalaciones a más de 250 V. En circuitos a más de 250 V a tierra, que contengan conductores que no sean los de la acometida, se debe asegurar la continuidad eléctrica de las canalizaciones metálicas y de cables con cubierta metálica por medio de uno o más de los métodos especificados para las acometidas en 250-72(b) a (e).

Excepción: Cuando no haya tapas de las cajas de empalmes de mayor tamaño nominal, concéntricas o excéntricas o cuando se hayan probado tapas concéntricas o excéntricas y el envoltente esté aprobado y listado para ese uso, se permiten los siguientes medios:

- a. Uniones y conectadores sin rosca para cables con forro metálico.
- b. Tuerca y contratuerca en un tubo (conduit) metálico tipo pesado o semipesado, una dentro y otra fuera de la caja o envoltente.
- c. Herrajes con lengüetas que asienten firmemente el envoltente, como los conectadores para tubo (conduit) metálico tipo ligero, conectadores para tubo (conduit) metálico flexible y conectadores de cables con una tuerca dentro de cajas y envoltentes.
- d. Otros herrajes aprobados y listados.

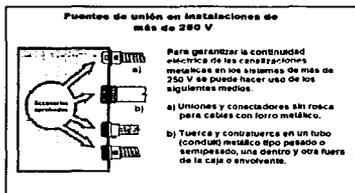


Figura 4 250-76

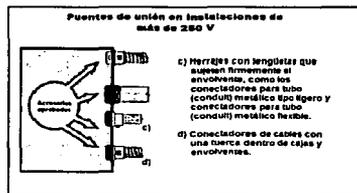


Figura 4 250-76

250-77. Puente de unión de canalizaciones metálicas con juntas de expansión. Los herrajes de dilatación y las partes telescópicas de las canalizaciones metálicas se deben hacer eléctricamente continuas mediante puentes de unión u otros medios.

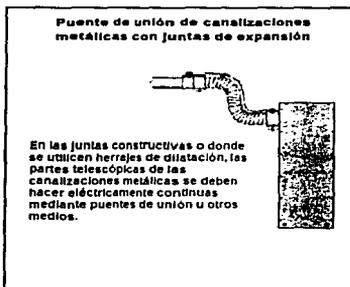


Figura 4 250-77

250-78. Puentes de unión en lugares peligrosos (clasificados). Independientemente de la tensión eléctrica del sistema eléctrico, se debe asegurar la continuidad eléctrica de las partes metálicas no-conductoras de equipo, canalizaciones y otros envolventes en los lugares peligrosos (clasificados) que define el Artículo 500, por cualquiera de los medios especificados para las acometidas en 250-72 y que estén aprobados para los métodos de instalación utilizados.

250-79. Puente de unión principal y puente del equipo

- a) **Material.** Los puentes de unión principal y del equipo deben ser de cobre o de otro material resistente a la corrosión. Un puente de unión principal o un puente de unión según lo exigido en 250-26(a) puede ser un cable, alambre, tornillo o similar adecuado.
- b) **Construcción.** Cuando el puente de unión con la red sea un solo tornillo, éste se debe identificar mediante un color verde que sea visible con el tornillo instalado.
- c) **Sujeción.** Los puentes de unión principal y de equipo se deben sujetar según se establece en 250-113 para los circuitos y equipo y en 250-115 para los electrodos de tierra.

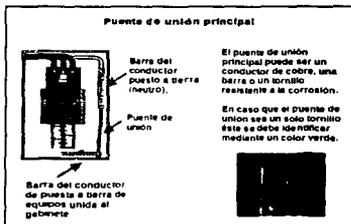


Figura 4 250-79

d) **Tamaño nominal de los puentes del equipo y de unión principal en el lado de suministro de la acometida.** El puente de unión no debe ser de menor tamaño nominal que lo establecido en la Tabla 250-94 para los conductores del electrodo de puesta a tierra. Cuando los conductores de fase de entrada a la acometida sean de cobre de más de $557,38 \text{ mm}^2$ (1100 kcmils) o de aluminio de $886,75 \text{ mm}^2$ (1750 kcmils), el puente de unión debe tener un tamaño nominal no inferior a 12,5% que el mayor conductor de fase excepto que, cuando los conductores de fase y el puente de unión sean de distinto material (cobre o aluminio), el tamaño nominal mínimo del puente de unión se debe calcular sobre la hipótesis del uso de conductores de fase del mismo material que el puente de unión y con una capacidad de conducción de corriente equivalente a la de los conductores de fase instalados. Cuando se instalen conductores de entrada a la acometida en paralelo en dos o más cables o canalizaciones, el puente de unión de equipo, si está instalado junto con esos cables o canalizaciones, debe instalarse en paralelo. El tamaño nominal del puente de unión de cada canalización o cable se debe calcular a partir del de los conductores de la acometida en cada cable o canalización.

El puente de unión de la canalización del conductor de un electrodo de puesta a tierra o cable blindado, como se indica en 250-92(b), debe ser del mismo tamaño nominal o mayor que el correspondiente conductor del electrodo de puesta a tierra. En sistemas de corriente eléctrica continua, el tamaño nominal del puente de unión no debe ser inferior al del conductor de puesta a tierra del sistema, tal como se especifica en 250-93.

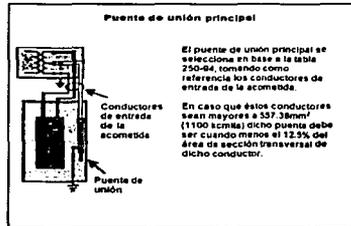


Figura 4 250-79d

e) **Tamaño nominal del puente de unión del lado de la carga de la acometida.** El puente de unión de equipo del lado de la carga de los dispositivos de sobrecorriente de la acometida no debe ser inferior al tamaño nominal que se indica en la Tabla 250-95. Se permite conectar con un solo puente de unión común continuo dos o más canalizaciones o cables, si el puente tiene un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-95 para el mayor de los dispositivos de sobrecorriente que protege a los circuitos conectados al mismo.

Excepción: No es necesario que el puente de unión para equipo sea de mayor tamaño nominal que los conductores de los circuitos que suministran energía a los mismos, pero no debe ser inferior a $2,082 \text{ mm}^2$ (14 AWG).



Figura 4 250-79e

f) **Instalación del puente de unión de equipo.** Se permite instalar el puente de unión de equipo dentro o fuera de una canalización o de un envolvente. Si se instala fuera, la longitud del puente no debe ser mayor de 1,8 m y debe ir junto con la canalización o envolvente. Cuando se instale dentro de la canalización, el puente de unión de equipo debe cumplir los requisitos establecidos en 250-114 y 310-12(b).

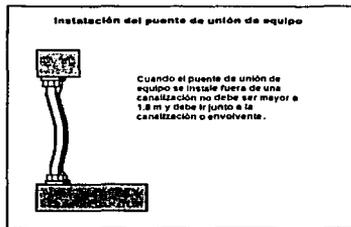


Figura 4 250-79 f

250-80. Puentes de unión de sistemas de tubería y de acero estructural expuesto

a) **Tubería metálica para agua.** Un sistema de tubería interior metálica para agua se debe conectar al envolvente del equipo de acometida, al conductor de acometida puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga tamaño nominal suficiente o a uno o más de los electrodos de tierra de la instalación. El puente de unión debe tener un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-94 y estar instalado según 250-92(a) y (b). Los puntos de unión del puente deben ser accesibles.

Excepción: En edificios de vanos departamentos en los que el sistema interior de tubería metálica para agua de cada departamento esté aislado metálicamente de los demás por medio de tubería no-metálica, se permite que la tubería interior para agua de cada departamento vaya unida al panel de alumbrado y control o al envolvente del tablero de distribución de ese departamento (distinto del equipo de acometida). El tamaño nominal del puente de unión debe ser como se establece en la Tabla 250-95.

Cuando exista un sistema derivado separadamente con electrodo de puesta a tierra, como se especifica en 250-26(c)(3), se debe conectar al conductor de puesta a tierra de cada sistema derivado en el punto más cercano posible del sistema de tubería interior metálica para agua de la zona a la que suministra energía el sistema derivado separadamente. El puente de unión debe tener un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-94 y estar instalado según 250-92(a) y (b). Los puntos de unión del puente deben ser accesibles.

b) **Otros sistemas de tubería metálica.** Los sistemas interiores de tubería metálica que pueden quedar energizadas, deben conectarse al envolvente del equipo de acometida, al conductor de acometida puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga tamaño nominal suficiente o a uno o más de los electrodos de tierra de la instalación. El puente de unión debe tener un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-95, usando la capacidad nominal del circuito que pueda energizar la tubería. Se permite utilizar como puente de unión el conductor de puesta a tierra de equipo del circuito que pueda energizar la tubería.

NOTA: Se puede tener mayor seguridad, si se une entre sí toda la tubería metálica y conductos de aire del edificio.

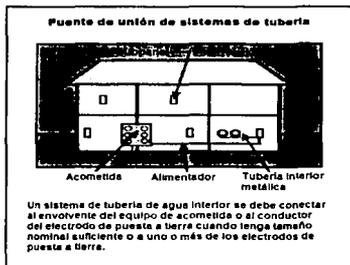


Figura 4 250-80a

c) **Acero estructural.** El acero estructural interior expuesto que se conecta para formar la estructura de acero de un edificio, que no se conecta intencionalmente a tierra y que puede quedar energizado, se debe conectar al envolvente del equipo de acometida, al conductor puesto a tierra de la acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga tamaño nominal suficiente o a uno o más de los electrodos de tierra de la instalación. El puente de unión debe tener un tamaño nominal de acuerdo con lo indicado en la Tabla 250-94 e instalarse de acuerdo con lo establecido en 250-92(a) y (b). Los puntos de unión del puente deben ser accesibles.

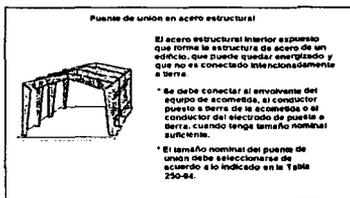


Figura 4 250-80c

4.8 Sistema de electrodos de puesta a tierra

250-81. Sistema de electrodos de puesta a tierra. Si existen en la propiedad, en cada edificio o estructura perteneciente a la misma, los elementos (a) a (d) que se indican a continuación y cualquier electrodo prefabricado instalado de acuerdo con lo indicado en 250-83(c) y (d), se deben conectar entre sí para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra. Los puentes de unión se deben instalar de acuerdo con lo indicado en 250-92(a) y (b), deben dimensionarse según lo establecido en 250-94 y deben conectarse como se indica en 250-115. Se permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra sin empalmes llegue hasta cualquier electrodo de puesta a tierra disponible en el sistema de electrodos de puesta a tierra. Debe dimensionarse de acuerdo con el conductor para electrodo de puesta a tierra exigido entre todos los electrodos disponibles.

Excepción 1: Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra mediante conectadores a presión aprobados y listados para este fin o mediante el proceso de soldadura exotérmica. La tubería metálica interior para agua situada a más de 1,5 m del punto de entrada en el edificio, no se debe utilizar como parte de la instalación del electrodo de puesta a tierra o como conductor para conectar electrodos que formen parte de dicha instalación.

Excepción 2: En las construcciones industriales y comerciales, cuando las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que sólo personal calificado atiende la instalación y la tubería metálica interior para agua que se vaya a utilizar como conductor esté expuesta en toda su longitud.

NOTA: Para los requisitos especiales de conexión y puesta a tierra en edificios agrícolas, véase 547-8.

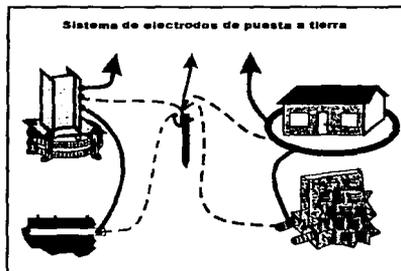


Figura 4 250-81

a) **Tubería metálica subterránea para agua.** Una tubería metálica subterránea para agua en contacto directo con la tierra a lo largo de 3 m o más (incluidos los ademes metálicos de pozos efectivamente conectados a la tubería) y con continuidad eléctrica (o continúa eléctricamente mediante puenteo de las conexiones alrededor de juntas aislantes, o secciones aislantes de tubos) hasta los puntos de conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra y de los puentes de unión. La continuidad de la tierra o de la conexión del puente de unión al interior de la tubería no se debe hacer a través de medidores de consumo de agua, filtros o equipo similares. Una tubería metálica subterránea para agua se debe complementar mediante un electrodo adicional del tipo especificado en 250-81 o 250-83. Se permite que este electrodo suplementario vaya conectado al conductor del electrodo de puesta a tierra, el conductor de la acometida puesto a tierra, la canalización de la acometida Cuando este electrodo suplementario sea prefabricado como se establece en 250-83(c) o (d), se permite que la parte del puente de unión que constituya la única conexión con dicho electrodo suplementario no sea mayor que un cable de cobre de 13,3 mm² (6 AWG) o un cable de aluminio de 21,15 mm² (4 AWG).

Excepción: Se permite que el electrodo suplementario vaya conectado al interior de la tubería metálica para agua en cualquier punto que resulte conveniente, como se explica en la Excepción 2 de 250-81.

b) **Estructura metálica del edificio.** La estructura metálica del edificio, cuando esté puesta a tierra eficazmente

c) **Electrodo empotrado en concreto.** Un electrodo empotrado como mínimo 50 mm en concreto, localizado en y cerca del fondo de un cimiento o zapata que esté en contacto directo con la tierra y que conste como mínimo de 6 m de una o más varillas de acero desnudo o galvanizado o revestido de cualquier otro recubrimiento

eléctricamente conductor, de no-menos de 13 mm de diámetro o como mínimo 6,1 m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal no-inferior a 21,15 mm² (4 AWG).

d) Anillo de tierra. Un anillo de tierra que rodee el edificio o estructura, en contacto directo con la tierra y a una profundidad bajo la superficie no-inferior a 800 mm que conste como mínimo en 6 m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal no-inferior a 33.62 mm² (2 AWG).

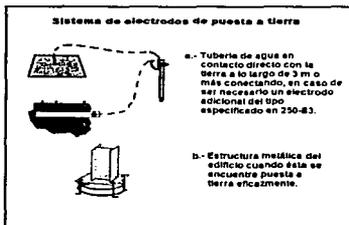


Figura 4 250-81 a,b

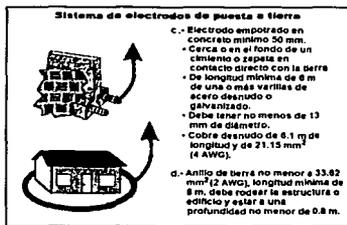


Figura 4 250-81 c,d

250-83. Electrodo especialmente contruidos. Cuando no se disponga de ninguno de los electrodos especificados en 250-81, se debe usar uno o más de los electrodos especificados en los incisos a continuación. Cuando sea posible, los electrodos contruidos especialmente se deben enterrar por debajo del nivel de humedad permanente. Los electrodos especialmente contruidos deben estar libres de recubrimientos no-conductores, como pintura o esmalte. Cuando se use más de un electrodo para el sistema de puesta a tierra, todos ellos (incluidos los que se utilicen como varillas de pararrayos) no deben estar a menos de 1,8 m de cualquier otro electrodo o sistema de puesta a tierra. Dos o más electrodos de puesta a tierra que estén efectivamente conectados entre sí, se deben considerar como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra.

- a) **Sistema de tubería metálica subterránea de gas.** No se debe usar como electrodo de puesta a tierra un sistema de tubería metálica subterránea de gas.
- b) **Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.** Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos, como tubería y tanques subterráneos.
- c) **Electrodos de varilla o tubería.** Los electrodos de varilla y tubo no deben tener menos de 2,4 m de longitud, deben ser del material especificado a continuación y estar instalados del siguiente modo
- 1) Los electrodos consistentes en tubería o tubo (*conduit*) no deben tener un tamaño nominal inferior a 19 mm (diámetro) y, si son de hierro o acero, deben tener su superficie exterior galvanizada o revestida de cualquier otro metal que los proteja contra la corrosión.
 - 2) Los electrodos de varilla de hierro o de acero deben tener como mínimo un diámetro de 16 mm. Las varillas de acero inoxidable inferiores a 16 mm de diámetro, las de metales no-ferrosos o sus equivalentes, deben estar aprobadas y tener un diámetro no-inferior a 13 mm.
 - 3) El electrodo se debe instalar de modo que tenga en contacto con el suelo un mínimo de 2,4 m. Se debe clavar a una profundidad no-inferior a 2,4 m excepto si se encuentra roca, en cuyo caso el electrodo se debe clavar a un ángulo oblicuo que no forme más de 45° con la vertical, o enterrar en una zanja que tenga como mínimo 800 mm de profundidad. El extremo superior del electrodo debe quedar a nivel del piso, excepto si el extremo superior del electrodo y la conexión con el conductor del electrodo de puesta a tierra están protegidos contra daño físico, como se especifica en 250-117.
- d) **Electrodos de placas.** Los electrodos de placas deben tener en contacto con el suelo un mínimo de 0,2 m² de superficie. Los electrodos de placas de hierro o de acero deben tener un espesor mínimo de 6,4 mm. Los electrodos de metales no-ferrosos deben tener un espesor mínimo de 1,52 mm.
- e) **Electrodos de aluminio.** No está permitido utilizar electrodos de aluminio.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

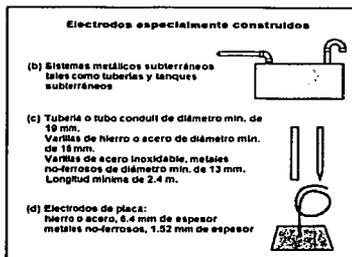


Figura 4 250-83

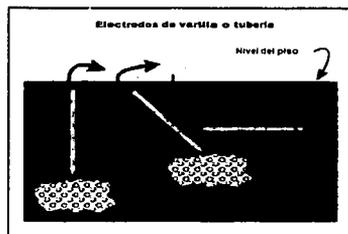


Figura 4 250-83c

250-84. Resistencia de los electrodos fabricados. Un electrodo único que consista en una varilla, tubería o placa y que no tenga una resistencia a tierra de 25 Ω o menos, se debe complementar con un electrodo adicional de cualquiera de los tipos especificados en 250-81 o 250-83. Cuando se instalen varios electrodos de barras, tubos o placas para cumplir los requisitos de esta Sección se deben colocar a una distancia mínima de 1,83 m entre sí y deben estar efectivamente conectados entre sí.

NOTA: La instalación en paralelo de varillas de más de 2,4 m aumenta la eficiencia si se separan más de 1,8 m.

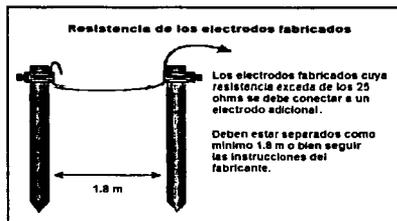


Figura 4-250-84

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

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

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

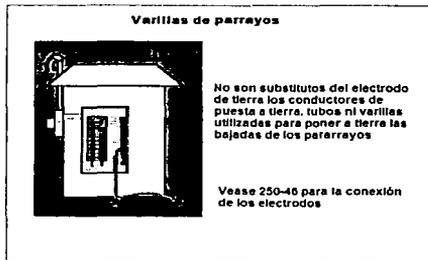


Figura 4 250-86

4.9 Conductores del electrodo de puesta a tierra

250-91. Materiales. Los materiales del conductor del electrodo de puesta a tierra se especifican en los siguientes incisos:

a) **Conductor del electrodo de puesta a tierra.** El conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser de cobre o aluminio. El material elegido debe ser resistente a la corrosión que se pueda producir en la instalación, y debe estar adecuadamente protegido contra la corrosión. El conductor debe ser macizo o cableado, aislado, forrado o desnudo y debe ser de un solo tramo continuo, sin empalmes ni uniones

Excepción 1: Se permiten empalmes en barras conductoras.

Excepción 2: Cuando haya una acometida con más de un envolvente, como se permite en la Excepción 2 de 230-40, está permitido conectar derivaciones al conductor del electrodo de puesta a tierra. Cada una de estas derivaciones debe llegar hasta el interior del envolvente. El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra debe estar de acuerdo con lo indicado en 250-94, pero los conductores de la derivación pueden tener un tamaño nominal de acuerdo con los conductores del electrodo de puesta a tierra especificados en 250-94, según el conductor de mayor tamaño nominal que entre en los respectivos envolventes. Los conductores de la derivación se deben conectar al conductor del electrodo de puesta a tierra de modo que este conductor no contenga ningún empalme o unión.

Excepción 3: Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra por medio de conectores de presión del tipo irreversible aprobados y listados para ese fin o mediante un proceso de soldadura exotérmica.

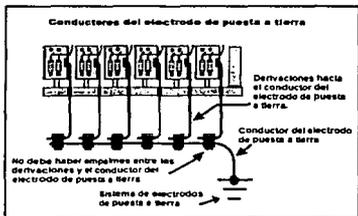


Figura 4 250-91e2

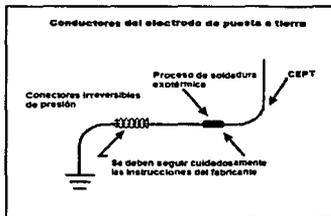


Figura 4 250-91e3

b) **Tipos de conductores para la puesta a tierra de equipo.** El conductor de puesta a tierra de equipo tendido con los conductores del circuito o canalizado con ellos, debe ser de uno de los siguientes tipos o una combinación de vanos de ellos.

- (1) Un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Este conductor debe ser macizo o cableado, aislado, cubierto o desnudo y formar un cable o barra de cualquier forma.
- (2) Un tubo (conduit) metálico tipo pesado.
- (3) Un tubo (conduit) metálico tipo semipesado.
- (4) Un tubo (conduit) metálico tipo ligero.
- (5) Un tubo (conduit) metálico flexible, si tanto el tubo (conduit) como sus accesorios están aprobados y listados para puesta a tierra
- (6) La armadura de un cable de tipo AC
- (7) El blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral.
- (8) El blindaje metálico de los conductores con blindaje metálico y los conductores de puesta a tierra que sean cables de tipo MC
- (9) Los soportes para cables tipo charola, tal como se permite en 318-3(c) y 318-7.
- (10) Cableductos, tal como se permite en 365-2(a)
- (11) Otras canalizaciones metálicas con continuidad eléctrica, aprobadas para usarse para puesta a tierra.

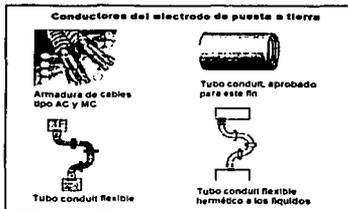


Figura 4 250-91b

Excepción 1: Cuando los conductores de un circuito, como los contenidos en este Artículo, estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente de 20 A nominales o menos, se permiten como medios de puesta a tierra de esos circuitos a tubo (conduit) metálico flexible y tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos de tamaños nominales de 10 a 35 mm, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

a. Que la longitud sumada del tubo (conduit) metálico flexible y del tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos en el mismo tramo de retorno de tierra, no sea superior a 1,8 m.

b. Que el tubo (conduit) termine en accesorios aprobados y listados para puesta a tierra.

Excepción 2: Cuando los conductores de un circuito contenidos en ellos estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente de más de 20 A nominales, pero que no excedan de 60 A, se permite utilizar como medios de puesta a tierra de esos circuitos al tubo (conduit) metálico flexible y hermético a los líquidos aprobado y listado en diámetros nominales 19 a 32 mm, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

a. Que la longitud total del tubo (conduit) metálico flexible del tramo de retorno de tierra, no sea superior a 1,8 m.

b. Que no haya otro tubo (conduit) metálico flexible o tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos de tamaños nominales de 10 a 35 mm que sirva como conductor de puesta a tierra de equipo en el mismo tramo de retorno de tierra.

c. Que el tubo (conduit) termine en accesorios aprobados y listados para puesta a tierra.

c) Puesta a tierra suplementaria. Se permiten electrodos suplementarios de puesta a tierra para aumentar los conductores de puesta a tierra de equipo especificados en 250-91(b), pero el terreno natural no se debe utilizar como el único conductor de puesta a tierra de equipo.

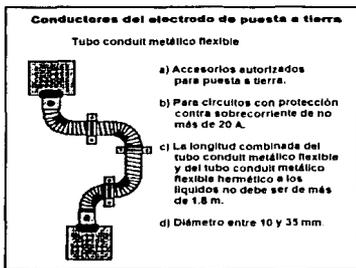


Figura 4 250-91b-e1

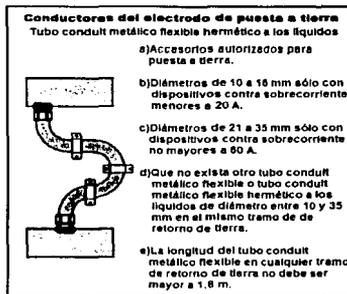


Figura 4 250-91b-e2

250-92. Instalación. Los conductores de puesta a tierra se deben instalar como se especifica en los siguientes incisos:

- a) **Conductor del electrodo de puesta a tierra.** Un conductor del electrodo de puesta a tierra o su envolvente debe sujetarse firmemente a la superficie sobre la que va instalado. Un conductor de cobre o aluminio de 21,15 mm² (4 AWG) o superior se debe proteger si está expuesto a daño físico severo. Se puede llevar un conductor de puesta a tierra de 13,3 mm² (6 AWG) que no esté expuesto a daño físico, a lo largo de la superficie del edificio sin tubería o protección metálica, cuando esté sujeto firmemente al edificio; si no, debe ir en tubo (*conduit*) metálico tipo pesado, sempesado, ligero, en tubo (*conduit*) no-metálico tipo pesado o en cable armado. Los conductores de puesta a tierra de tamaño nominal inferior a 13,3 mm² (6 AWG) deben alojarse en tubo (*conduit*) metálico tipo pesado, sempesado, ligero, en tubo (*conduit*) no-metálico tipo pesado o en cable armado.
- No se deben usar como conductores de puesta a tierra, conductores aislados o desnudos de aluminio que estén en contacto directo con materiales de albañilería o terreno natural o si están sometidos a condiciones corrosivas. Cuando se utilicen a la intemperie, los conductores de puesta a tierra de aluminio no se deben instalar a menos de 45 cm del terreno natural.

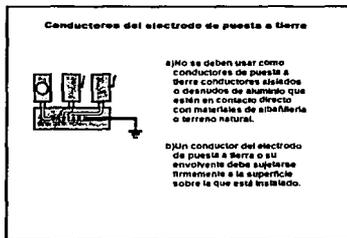


Figura 4 250-92

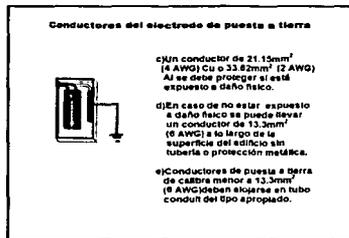


Figura 4 250-92a

- b) **Envolventes para conductores del electrodo de puesta a tierra.** Las envolventes metálicas del conductor del electrodo de puesta a tierra deben ser eléctricamente continuas desde el punto de conexión a los envolventes o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, y deben estar sujetas firmemente a las abrazaderas o herrajes de tierra. Las envolventes metálicas que no sean continuas físicamente desde el envolvente o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, se deben hacer eléctricamente continuas mediante un puente de unión de sus dos extremos al conductor de puesta a tierra. Cuando se utilice una canalización como protección del conductor de puesta a tierra, su instalación debe cumplir los requisitos del Artículo correspondiente a las canalizaciones.

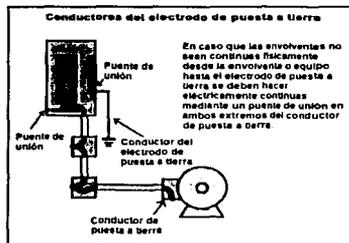


Figura 4 250-92b

c) **Conductor de puesta a tierra de equipo.** Un conductor de puesta a tierra de equipo se debe instalar como sigue:

1) Cuando consista en una canalización, un soporte para cables tipo charola, armadura o forro de cables o cuando sea un conductor dentro de una canalización o cable, se debe instalar cumpliendo las disposiciones aplicables de esta NOM usando accesorios para uniones y terminales que estén aprobados para usarlos con el tipo de canalización o cable utilizados. Todas las conexiones, uniones y accesorios se deben fijar firmemente con los medios adecuados.

2) Cuando haya un conductor independiente de tierra de equipo, como establece la Excepción de 250-50(a) y (b) y la Excepción 2 de 250-57(b) se debe instalar de acuerdo con lo indicado en el inciso (a) anterior en lo que respecta a las limitaciones del aluminio y a la posibilidad de daño físico.

Excepción: No es necesario que los cables inferiores a $13,3 \text{ mm}^2$ (6 AWG) se alojen dentro de una canalización o armadura cuando se instalen por los espacios huecos de una pared o cuando vayan instalados de modo que no sufran daño físico.

250-93. **Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra para c.c.** En los siguientes incisos se fijan los tamaños nominales de los conductores del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.c.

a) **No debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro.** Cuando un sistema eléctrico de c.c. consista en un circuito balanceado de tres conductores o un devanado de equilibrio con protección contra sobrecorriente, como se establece en 445-4(d), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro.

b) **No debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor más grande.** En instalaciones de c.c. distintas a las del anterior inciso (a), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor de mayor tamaño nominal del suministro de energía.

c) **No debe ser inferior a $8,367 \text{ mm}^2$ (8 AWG).** En ningún caso el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser inferior a $8,367 \text{ mm}^2$ (8 AWG) de cobre o de $13,3 \text{ mm}^2$ (6 AWG) de aluminio.

Excepciones a los anteriores (a) a (c):

a. Cuando esté conectado a conductores fabricados como se indica en 250-83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a $13,3 \text{ mm}^2$ (6 AWG) de cobre o $21,15 \text{ mm}^2$ (4 AWG) de aluminio.

b. Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250-81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a $13,3 \text{ mm}^2$ (6 AWG) de cobre o $21,15 \text{ mm}^2$ (4 AWG) de aluminio.

c. Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250-81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.

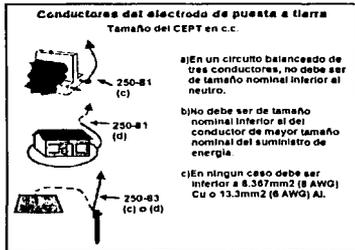


Figura 4 250-93

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

250-94. Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de c.a. El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.a. puesta o no puesta a tierra, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-94.

Excepción:

- a. Cuando esté conectado a electrodos fabricados como se indica en la sección 250-83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo, sea superior a 13,3 mm² (6 AWG) de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de aluminio.
- b. Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250-81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm² (6 AWG) de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de aluminio.
- c. Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250-81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.

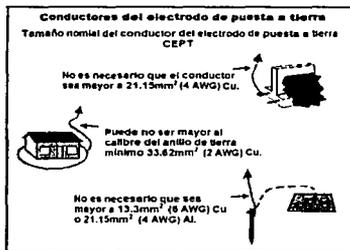


Figura 4 250-94

Tabla 250-94. Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm ² (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor al electrodo de tierra mm ² (AWG o kcmil)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33,62 (2) o menor	53,48 (1/0) o menor	8,367 (8)	13,3 (6)
42,41 o 53,48 (1 o 1/0)	67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	13,3 (6)	21,15 (4)
67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21,15 (4)	33,62 (2)
Más de 85,01 a 177,3 (3/0 a 350)	Más de 126,7 a 253,4 (250 a 500)	33,62 (2)	53,48 (1/0)
Más de 177,3 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253,4 a 456,04 (500 a 900il)	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456,04 a 886,74 (900 a 1750)	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 886,74 (1750)	85,01 (3/0)	126,7 (250)

250-95. Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo. El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95.

Cuando haya conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables, como se permite en 310-4, el conductor de puesta a tierra de equipo, cuando exista, debe estar instalado en paralelo. Cada conductor de puesta a tierra de equipo instalado en paralelo debe tener un tamaño nominal seleccionado sobre la base de la corriente eléctrica nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente que protege los conductores del circuito en la canalización o cable, según la Tabla 250-95

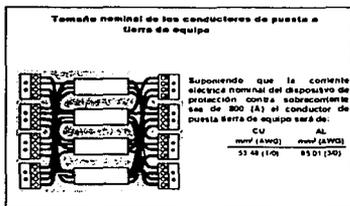


Figura 4 250-95-1

Quando se usen varios grupos de conductores de entrada a la acometida, como permite la Sección 230-40 Excepción 2, la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida se debe calcular por la mayor suma de las secciones transversales de los conductores de cada grupo.

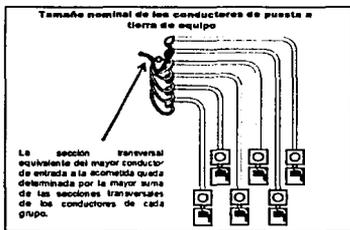


Figura 4 250-95-2

Quando no haya conductores de entrada a la acometida, la sección transversal del conductor al electrodo de puesta a tierra se debe calcular por la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida de acuerdo con la corriente eléctrica de carga calculada. Véanse las restricciones de instalación en 250-92(a)

NOTA: Para el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de una instalación de c.a. conectado con el equipo de la acometida, véase 250-23(b)

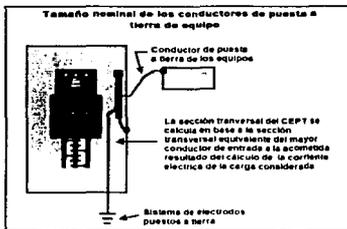


Figura 4 250-95-3

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Cuando el tamaño nominal de los conductores se ajuste para compensar caídas de tensión eléctrica, los conductores de puesta a tierra de equipo, cuando deban instalarse, se deberán ajustar proporcionalmente según el área en mm² de su sección transversal.
(Ver ejemplo en la sección 6-3).

Cuando sólo haya un conductor de puesta a tierra de equipo con varios circuitos en el mismo tubo (*conduit*) o cable, su tamaño nominal debe seleccionarse de acuerdo con el dispositivo de sobrecorriente de mayor corriente eléctrica nominal de protección de los conductores en el mismo tubo (*conduit*) o cable.

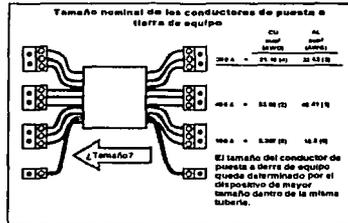


Figura 4 250-95-4

Si el dispositivo de sobrecorriente consiste en un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector de motor contra cortocircuitos, como se permite en 430-52, el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de equipo se puede seleccionar de acuerdo con la capacidad nominal del dispositivo de protección del motor contra sobrecorriente, pero no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95.

Excepción 1: Un conductor de puesta a tierra de equipo no inferior a 0,8235 mm² (18 AWG) de cobre y no menor al tamaño nominal de los conductores del circuito y que forme parte de cables de aparatos eléctricos, según se establece en 240-4.

Excepción 2: No es necesario que el conductor de puesta a tierra de equipo sea de mayor tamaño nominal que el de los conductores de los alimentadores de equipo.

Excepción 3: Cuando se use como conductor de puesta a tierra de equipo un tubo (*conduit*) o armadura o blindaje de cable, como se establece en 250-51, 250-57(a) y 250-91(b).

250-95. Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
15	2,082 (14)	---
20	3,307 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,367 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,15 (4)
300	21,15 (4)	33,62 (2)
400	33,62 (2)	42,41 (1)
500	33,62 (2)	53,48 (1/0)
600	42,41 (1)	67,43 (2/0)
800	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
1000	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
1200	85,01 (3/0)	126,7 (250)
1600	107,2 (4/0)	177,3 (350)
2000	126,7 (250)	202,7 (400)
2500	177,3 (350)	304 (500)
3000	202,7 (400)	304 (500)
4000	253,4 (500)	405,37 (800)
5000	354,7 (700)	608 (1200)
6000	405,37 (800)	608 (1200)

Véase limitaciones a la instalación en 250-92(a)

Nota: Para cumplir lo establecido en 250-51, los conductores de tierra de los equipos podrían ser de mayor tamaño que lo especificado en este Tabla.

250-97. Alumbrado de realce. Las partes metálicas aisladas y por las que no pasa corriente eléctrica normalmente de las instalaciones de alumbrado de realce, se permite que estén puenteadas mediante un conductor de 2,082 mm² (14 AWG) de cobre protegido contra daño físico, cuando un conductor que cumple con lo establecido en 250-95 se use como conductor de puesta a tierra de todo el grupo.

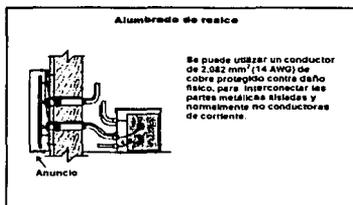


Figura 4 250-97

250-99. Continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo

a) **Conexiones removibles.** Cuando se usen conexiones removibles, como las que se usan en equipo removible o en clavijas y sus respectivos receptáculos, el conductor de puesta a tierra de equipo debe ser diseñado, para que sea la primera que conecta y la última que desconecta a este conductor.

Excepción: Equipo, receptáculos, bases y conectadores interconectados que impiden el paso de corriente eléctrica sin continuidad de la puesta a tierra del equipo.

b) **Desconectores.** En el conductor de puesta a tierra de equipo de la instalación de un sistema de alambreado de usuarios, no se debe instalar ningún medio de desconexión o de interrupción, manual o automático.

Excepción: Cuando la apertura del desconector o cortacircuitos desconecte todas las fuentes de alimentación.

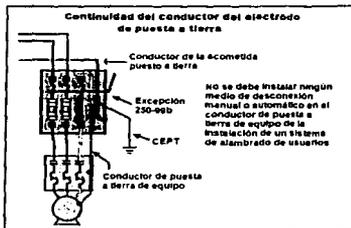


Figura 4 250-99

4.10 Conexiones de los conductores de puesta a tierra

250-112. Al electrodo de puesta a tierra. La conexión de un conductor del electrodo de puesta a tierra con el electrodo correspondiente, debe ser accesible y estar hecha de tal manera que asegure una puesta a tierra eficaz y permanente. Cuando sea necesario asegurar esta conexión a una instalación de tubería metálica utilizada como electrodo de puesta a tierra, se debe hacer un puente de unión alrededor de las juntas y secciones aisladas y alrededor de cualquier equipo que se pueda desconectar para su reparación y sustitución. Los conductores del puente de unión deben ser lo suficientemente largos como para permitir el desmontaje de dichos equipos, manteniendo la integridad de la conexión.

Excepción: No es necesario que sea accesible una conexión en un envolvente o enterrada con un electrodo de puesta a tierra empotrado en concreto, hundido o enterrado.

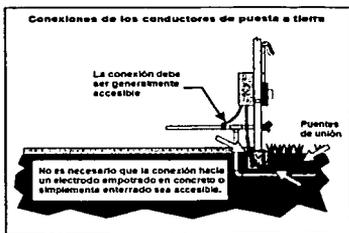


Figura 4 250-112

250-113. A los conductores y equipo. Los conductores de puesta a tierra y los cables de puentes de unión se deben conectar mediante soldadura exotérmica, conectadores a presión aprobados y listados, abrazaderas u otros medios también aprobados y listados. No se deben usar medios o herrajes de conexión que sólo dependan de soldadura. Para conectar los conductores de puesta a tierra a los envolventes no se deben usar pijas.

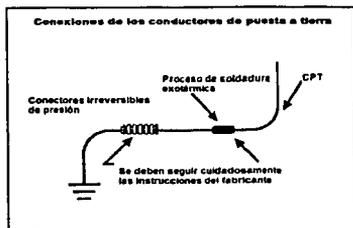


Figura 4 250-113

250-114. Continuidad y conexión de los conductores de puesta a tierra de equipo a cajas. Cuando entren en una caja o tablero dos o más conductores de puesta a tierra de equipo, todos esos conductores se deben empalmar o unir dentro de la caja o a la caja, con accesorios adecuados a ese uso. No se deben hacer conexiones que dependan únicamente de soldadura. Los empalmes se deben hacer según se indica en 110-14(b), excepto el aislamiento, que no es necesario. La instalación de las conexiones de tierra se debe hacer de forma tal que la desconexión o desmontaje de una conexión, aparato eléctrico u otro dispositivo que reciba energía desde la caja, no impida ni interrumpa la continuidad a tierra.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Excepción: No es necesario que el conductor de puesta a tierra de equipo, tal como se permite en la Excepción 4 de 250-74, esté conectado a los otros conductores de puesta a tierra de equipo ni a la caja.

- a) **Cajas metálicas.** Se debe hacer una conexión entre el conductor o conductores de puesta a tierra de equipo y la caja metálica, por medio de un tornillo de tierra que no debe utilizarse para otro uso o de un dispositivo aprobado y listado para puesta a tierra
- b) **Cajas no metálicas.** Cuando lleguen a una caja de empalmes no-metálica uno o más conductores de puesta a tierra de equipo, se deben instalar de manera que se puedan conectar a cualquier herraje o dispositivo de la caja que se deba poner a tierra.

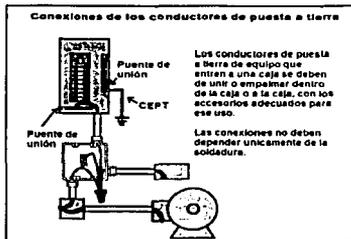


Figura 4 250-114

250-115. Conexión a los electrodos. El conductor de puesta a tierra de equipo se debe conectar al electrodo de puesta a tierra mediante soldadura exotérmica, zapatas, conectadores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados y listados. No se deben usar conexiones que dependan únicamente de la soldadura. Las abrazaderas de tierra deben estar aprobadas y listadas para el material del electrodo de puesta a tierra y para el conductor del electrodo de puesta a tierra y, cuando se usen en tuberías, varillas u otros electrodos enterrados, deben estar también aprobadas y listadas para su uso enterradas directamente en el terreno natural. No se debe conectar al electrodo de puesta a tierra con la misma abrazadera o accesorio más de un conductor, excepto si la abrazadera o accesorio está aprobada(o) y listada(o) para usarla con varios conductores. La conexión debe hacerse por uno de los métodos explicados en los siguientes incisos:

- a) **Abrazadera sujeta con pernos.** Abrazadera aprobada de latón o bronce fundido o hierro dulce o maleable.
- b) **Accesorios y abrazaderas para tubería.** Un accesorio, abrazadera u otro mecanismo aprobado, sujeto con pernos a la tubería o a sus conexiones.
- c) **Abrazadera de tierra de tipo solera.** Una abrazadera de tierra aprobada y listada de tipo solera, con una base de metal rígido que asiente en el electrodo y con una solera de un material y dimensiones que no sea probable que cedan durante o después de la instalación.
- d) **Otros medios.** Otros medios sustancialmente iguales a los descritos y aprobados.

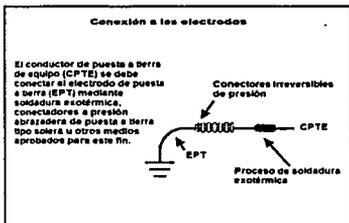


Figura 4 250-115

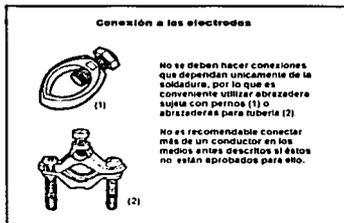


Figura 4 250-115a

250-117. **Protección de las uniones.** Las abrazaderas u otros accesorios para puesta a tierra deben estar aprobados para su uso general sin protección o protegerse contra daño físico, como se indica en los siguientes incisos:

- a) Sin daños probables. Se deben instalar en lugares donde no sea probable que sufran daño.
- b) Con una cubierta protectora. Dentro de una cubierta protectora metálica, de madera o equivalente.



Figura 4 250-117

250-118. **Superficies limpias.** Se deben eliminar de las roscas y de otras superficies de contacto de equipo que se conecten a tierra, las capas no-conductoras (como pinturas, barnices y lacas), para asegurar la continuidad eléctrica, o conectarlos por medio de accesorios hechos de tal modo que hagan innecesaria dicha operación.

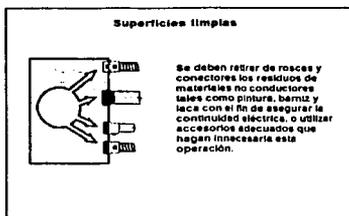


Figura 4 250-118

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4

Sistemas de Tierra de Acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999

250-119. Identificación de las terminales de los dispositivos de puesta a tierra. Las terminales de conexión de los conductores de puesta a tierra de equipo se deben identificar:

- (1) Mediante un tornillo terminal de cabeza hexagonal pintada de verde, que no se pueda quitar fácilmente.
- (2) Mediante una tuerca terminal hexagonal pintada de verde, que no se pueda quitar fácilmente.
- (3) Mediante un conector a presión pintado de verde. Si la terminal del conductor de puesta a tierra no es visible, se debe marcar el orificio de entrada del cable de tierra con la palabra "verde" o "puesta a tierra", con las letras "V" o "T" o con el símbolo de puesta a tierra No. 5019 de la Comisión Electrotécnica Internacional de cualquier otro modo en color verde.

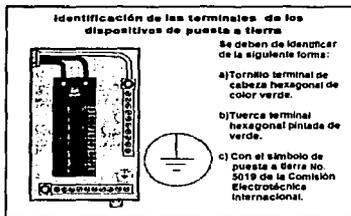


Figura 4 250-119

4.11 Transformadores de Instrumentos, relés, etcétera

250-121. Circuitos para transformadores de instrumentos. Los circuitos del secundario de transformadores de corriente y de potencial para instrumentos de medición deben ponerse a tierra cuando el devanado del primario vaya conectado a circuitos de 300 V o más a tierra. Se deben poner a tierra en los tableros de distribución, independientemente del valor de la tensión eléctrica.

Excepción: Los circuitos en los que el devanado del primario va conectado a circuitos de menos de 1000 V sin partes o cables expuestos ni accesibles más que a personas calificadas.

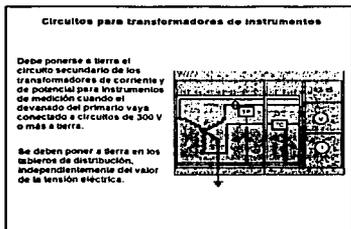


Figura 4 250-121

250-122. Carcasas de los transformadores de Instrumentos. Las carcasas o armazones de transformadores de instrumentos se deben poner a tierra siempre que sean accesibles a personas no-calificadas.

Excepción: Carcasas o armazones de transformadores de instrumentos cuyos primarios no tengan más de 150 V a tierra y que se utilicen exclusivamente para alimentar medidores.



Figura 4 250-122

250-123. Carcasas de instrumentos, medidores y relés a menos de 1000 V. Los instrumentos, medidores y relés que funcionen con devanados o partes a menos de 1000 V, se deben poner a tierra como se especifica en los siguientes incisos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4

Sistemas de Tierra de Acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999

a) Fuera de los tableros de distribución. Los instrumentos, medidores y relés que funcionen con devanados o partes que no estén situados en tableros de distribución y que funcionen con devanados o partes a 300 V o más a tierra y accesibles a personas no-calificadas, deben tener las carcasas y otras partes metálicas expuestas conectadas a tierra. (Imagen en la siguiente página)

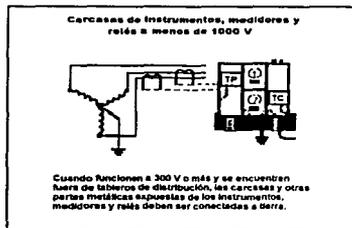


Figura 4 250-123a

b) En los tableros de distribución de frente muerto. Los instrumentos, medidores y relés (ya sea que funcionen conectados con transformadores de corriente y potencial o conectados directamente a su circuito), en tableros de distribución de frente muerto, deben tener sus carcasas puestas a tierra.

c) En los tableros de distribución de frente vivo. Los instrumentos, medidores y relés (ya sea que funcionen conectados con transformadores de corriente y potencial o conectados directamente a su circuito), en tableros de distribución que tengan partes energizadas en la parte frontal de los mismos, no deben tener sus carcasas puestas a tierra. Cuando la tensión eléctrica a tierra exceda de 150 V, debe haber tapetes de hule u otro material aislante para las personas que manipulen el tablero de distribución.



Figura 4 250-123b

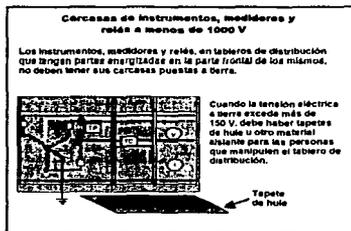


Figura 4 250-123c

250-124. Carcasas de Instrumentos, contadores y relés que funcionan a 1 kV y más. Cuando los instrumentos, medidoras y relés contengan partes conductoras a 1 kV o más a tierra, se deben separar elevándolas o protegiéndolas por medio de barreras adecuadas puestas a tierra en las partes metálicas o cubiertas aislantes o protectores aislantes. Sus carcasas no se deben poner a tierra.

Excepción: Las carcasas de detectores electrostáticos de tierra cuando las partes internas del instrumento puestas a tierra vayan conectadas a la carcasa del instrumento y puestas a tierra y el detector esté aislado mediante elevación.

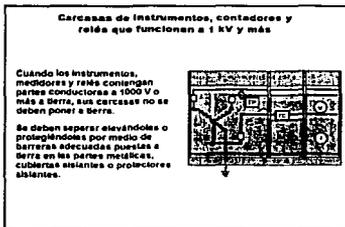


Figura 4 250-124

250-125. Conductor de puesta a tierra de los Instrumentos. El conductor de puesta a tierra de los circuitos derivados de transformadores de instrumentos y de las carcasas de los instrumentos, no debe ser menor de 3,307 mm² (12 AWG) de cobre. Se considera que las carcasas de transformadores de instrumentos, contadores y relés que vayan montados directamente sobre superficies o envoltorios metálicos puestas a tierra o paneles de instrumentos metálicos puestas a tierra, están también puestas a tierra y no se requiere usar un conductor adicional.

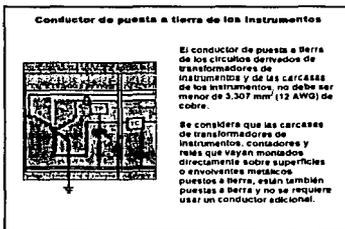


Figura 4 250-125

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4.12 Puesta a tierra de sistemas y circuitos de alta tensión (600 V o más)

250-150. Disposiciones generales. Cuando se pongan a tierra instalaciones de alta tensión eléctrica (600 V o más), deben cumplir todas las disposiciones aplicables de las anteriores Secciones de este Artículo y con las siguientes, en cuanto complementen y modifiquen a las anteriores.

250-151. Sistema con neutro derivado. Se permite usar para puesta a tierra de sistemas de alta tensión eléctrica al neutro derivado de un transformador de puesta a tierra.

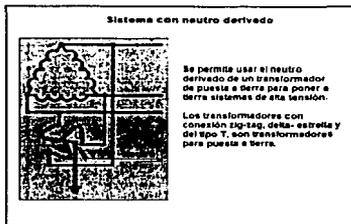


Figura 4 250-151

250-152. Sistemas con neutro sólidamente puestos a tierra

a) **Conductor neutro.** El nivel mínimo de aislamiento de conductores neutros de sistemas sólidamente puestos a tierra, debe ser de 600 V.

Excepción 1: Se permite usar conductores de cobre desnudos como neutro de la acometida y como neutro de la parte directamente enterrada de alimentadores.

Excepción 2: Se permite usar conductores desnudos como neutro de las instalaciones aéreas.

NOTA: Véase 225-4 acerca de los conductores que estén a menos de 3,05 m de cualquier edificio o estructura.

b) **Puestas a tierra múltiples.** Se permite que el neutro de un sistema con neutro sólidamente puesto a tierra, esté puesto a tierra en más de un punto en el caso de:

- 1) Acometidas.
- 2) Partes directamente enterradas de los alimentadores cuyo neutro sea de cobre desnudo.
- 3) Instalaciones aéreas.

c) **Conductor de puesta a tierra del neutro.** Se permite que el conductor de puesta a tierra del neutro sea un conductor desnudo si está aislado de los conductores de fase y protegido contra daño físico.

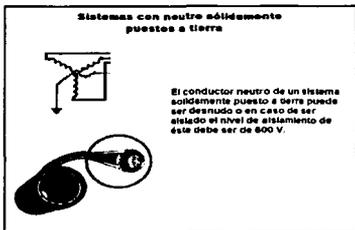


Figura 4 250-152a



Figura 4 250-152b

250-153. Sistemas con neutro puesto a tierra a través de impedancia. Los sistemas con neutro puesto a tierra a través de impedancia deben cumplir lo establecido en los siguientes incisos.

- a) **Ubicación.** La impedancia de puesta a tierra se debe insertar en el conductor de puesta a tierra entre el electrodo (o sistema de electrodos) de puesta a tierra del sistema de suministro y el punto neutro del transformador o del generador de suministro
- b) **Identificación y aislamiento.** Cuando se emplee el conductor neutro de un sistema con neutro puesto a tierra a través de impedancia, se debe identificar así y aislarlo totalmente con el mismo nivel de aislamiento que los conductores de fase.
- c) **Conexión con el neutro del sistema.** El neutro de la instalación no se debe poner a tierra si no es a través de la impedancia de puesta a tierra del sistema.
- d) **Conductores de puesta a tierra de equipo.** Se permite que los conductores de puesta a tierra de equipo sean cables desnudos y deben ser conectados al conductor del electrodo de puesta a tierra y al conductor de puesta a tierra del equipo de la acometida, prolongándolos hasta el sistema de tierra del sistema.

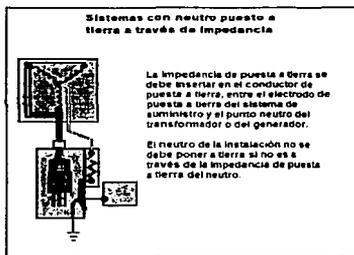


Figura 4 250-153

250-154. Puesta a tierra de sistemas de suministro a equipo móvil o portátil. Los sistemas que suministren energía a equipo portátil o móvil en alta tensión, distintos de las subestaciones provisionales, deben cumplir con los siguientes incisos.

- a) **Equipo móvil o portátil.** El equipo móvil o portátil en alta tensión se debe alimentar desde un sistema que tenga su neutro puesto a tierra a través de una impedancia. Cuando se utilice para alimentar equipo móvil o portátil una instalación de alta tensión conectada en delta, se debe obtener un neutro derivado del sistema.
- b) **Partes expuestas no-conductoras de corriente eléctrica normalmente.** Las partes expuestas de equipo móvil o portátil por las que no pase corriente eléctrica normalmente, se deben conectar mediante un conductor de puesta a tierra de equipo al punto de puesta a tierra de la impedancia del neutro del sistema.
- c) **Corriente eléctrica por falla de tierra.** La tensión eléctrica que se crea entre las carcasas de equipo móvil o portátil y tierra cuando pase la corriente eléctrica máxima de falla a tierra, no debe superar 100 V.



Figura 4 250-154a

d) **Detección y relés de falla a tierra.** Se deben instalar dispositivos de detección y relés de falla a tierra que desconecten automáticamente cualquier componente de una instalación de alta tensión en la que se haya producido una falla a tierra. Se debe vigilar permanentemente la continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo para ver si descarga automáticamente la alta tensión de alimentación que se produce en el equipo móvil o portátil, si se pierde la continuidad del conductor de puesta a tierra de equipo.

e) **Aislamiento.** El electrodo de puesta a tierra al que va conectada la impedancia del neutro del sistema de equipo móvil o portátil, debe ser independiente e ir separado 6,1 m como mínimo, de cualquier otro electrodo de puesta a tierra de sistemas o equipo y no debe haber conexión directa entre los electrodos de tierra, como tuberías enterradas, cercas u otros.

f) **Cable y conectadores de acoplamiento.** El cable y los conectadores de alta tensión para interconectar equipo móvil o portátil, debe cumplir con lo establecido en la Parte C del Artículo 400 (cable) y en 710-45 (conectores).

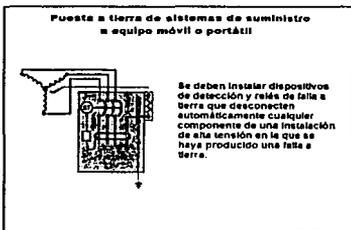


Figura 4 250-154d

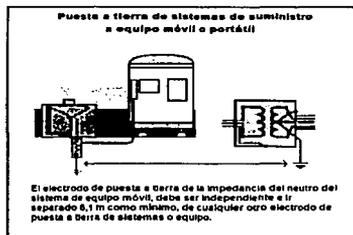


Figura 4 250-154e

250-155. Puesta a tierra de equipo. Todas las carcasas de equipo fijo, móvil o portátil y de sus correspondientes cercas, alojamientos, envolventes y estructuras de soporte por las que no pase corriente eléctrica normalmente, se deben poner a tierra.

Excepción 1: Cuando estén aisladas de tierra y situadas de modo que impidan que cualquier persona pueda entrar en contacto con tierra a través de dichas partes metálicas cuando pase corriente eléctrica por el equipo.

Excepción 2: Equipo de distribución montado en postes, como se establece en la Excepción 3 de 250-42

Los conductores de puesta a tierra que no formen parte integrante de un cable ensamblado en fábrica, no deben ser de un tamaño nominal menor a 13,3 mm² (6 AWG) de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de aluminio.

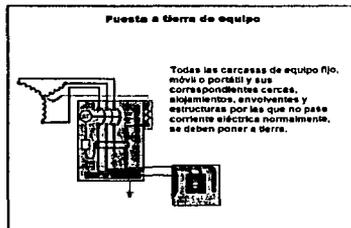


Figura 4 250-155

CAPÍTULO 5**El sistema de tierra en las instalaciones de comunicación.****5.1 Introducción.**

La puesta a tierra de equipos electrónicos sensibles, tales como computadoras, controladores lógicos programables, sistemas de control distribuidos en plantas de procesos y equipo electrónico similar, ha sido uno de los puntos más importantes para lograr un funcionamiento óptimo de estos equipos.

Las computadoras y otros equipos electrónicos que funcionan con bajo voltaje, en comparación con el utilizado comúnmente en los equipos del sistema eléctrico de potencia, son sensibles ante las variaciones de éste cuyo valor se encuentra muy por debajo de aquellos niveles que son perceptibles para los seres humanos y que no tienen efecto alguno en los sistemas eléctricos de potencia. Como ejemplo tenemos que este tipo de equipos electrónicos es muy sensible a la electrostática, generada por los seres humanos mediante movimientos bastantes simples del cuerpo, caminar por ejemplo, o bien debido a los voltajes inducidos a través de tierra, que se producen principalmente cuando las descargas atmosféricas entran en contacto con tierra, incluso cuando éste se produzca a cientos de metros de los equipos.

Estas variaciones de voltaje pueden ocasionar un mal funcionamiento o incluso dañar muy seriamente el equipo, a menos que una adecuada protección sea llevada a cabo.

Mucho se ha aprendido, probablemente no como evitar estas fuentes de interferencia pero sí cómo reducir su efecto sobre los equipos de sistemas electrónicos sensibles, ya que ahora con los medios disponibles, los malos funcionamientos o los daños ocasionados por los voltajes transferidos a través de tierra pueden ser minimizados.

Cabe mencionar que de manera contraria a la noción popular, la NOM no favorece el uso de barras o electrodos ya que en su sección 250-81 establece que si los siguientes medios se encuentran disponibles deben de ser utilizados y unidos, ante todo, para formar el sistema de electrodos de la puesta a tierra:

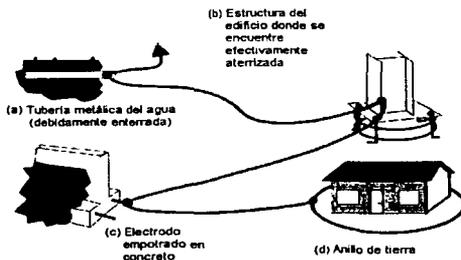
La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

Figura 5-1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Capítulo 5

Sistemas de Tierra de Acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999

Por otra parte, la sección 250-83 establece que en caso de no contar con ninguno de los medios antes mencionados, y sólo de esta manera, se puede utilizar uno de los siguientes medios:

- Sistemas de tubería metálica subterránea de gas.
- Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.
- Electrodo de varilla o tubería.
- Electrodo de placas.
- Electrodo de aluminio.

Uno de los métodos de electrodos más efectivos es el anillo de tierra unido a la estructura de acero del edificio a determinados intervalos. Los electrodos empotrados en concreto conectados a la estructura de acero son efectivos siempre y cuando la estructura de acero del edificio se encuentre debidamente aterrizada; éste no sólo es un método efectivo de puesta a tierra sino que también es conveniente desde el punto de vista económico.

5.1 1 Breve historia de la puesta a tierra en los sistemas de comunicación.

Los sistemas de cómputo son puestos a tierra, porque así lo establece la NOM en cuanto al tema de seguridad se refiere. Al principio, los sistemas de cómputo eran conectados a tierra a través de la puesta a tierra del sistema eléctrico de potencia. El conductor del equipo eléctrico era un cable aislado verde o bien un cable desnudo y en muchos casos, la tubería metálica de conduit era utilizada con este mismo propósito.

La puesta a tierra estaba conectada en la acometida del edificio hacia el conductor neutro de la aplicación o equipo a utilizarse. En este punto los gabinetes de los equipos también se encontraban unidos, conectados al neutro, al conductor de puesta a tierra del equipo, y por último, a tierra.

La puesta a tierra podía ser una varilla enterrada y/o la tubería principal del agua, asimismo la estructura de acero del edificio, de manera intencional o no, era conectada también a la red de puesta a tierra del edificio.

En aquellos días no existía requisito alguno en particular que indicara en que parte de la puesta a tierra del sistema de potencia se debía conectar la del sistema de cómputo, así que generalmente las conexiones se hacían en el conductor ubicado en la clavija, receptáculo o panel por medio del cual se suministraba energía al sistema de cómputo. Esto era más que suficiente para cumplir con los requerimientos de la NOM en cuanto a que no había posibilidad de que alguien resultara electrocutado por el hecho de tocar el gabinete de un equipo de cómputo, bajo las condiciones de una falla de fase a tierra (monofásica).

Pero en cuanto los componentes de los sistemas de cómputo se volvieron más complejos y más sensibles a variaciones de tensión menores, se descubrió que estas variaciones transitorias de tensión podían ser dañinas y perjudiciales para los dispositivos de estado sólido.

Se descubrió que los transitorios en la tensión se debían a las múltiples conexiones hechas del conductor neutro al sistema de puesta a tierra. Por ejemplo, en un edificio comercial no era raro encontrar el conductor neutro de un transformador conectado a tierra y que a su vez, a cada servicio que recibía energía de dicho transformador; el neutro correspondiente, también se encontraba conectado a tierra. Tampoco era extraño encontrar la barra del neutro de los gabinetes, tanto de aparato y receptáculo, conectada a la caja metálica del gabinete, lo cual era una violación de la NOM.

Un estudio arrojó como resultado que el 20% de los conductores neutros de circuitos que alimentan accesorios de iluminación se encuentran accidentalmente fallados.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

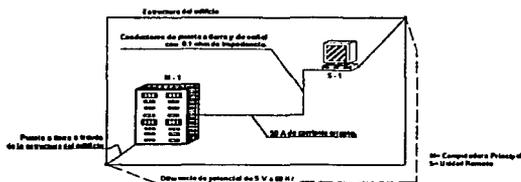


Figura 5-2

Con las múltiples conexiones del sistema de puesta a tierra, al cual se encuentran conectados los sistemas de cómputo, el flujo de corriente induce tensiones dentro del sistema, ocasionando, en el mejor de los casos, errores en el funcionamiento de los sistemas de cómputo.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

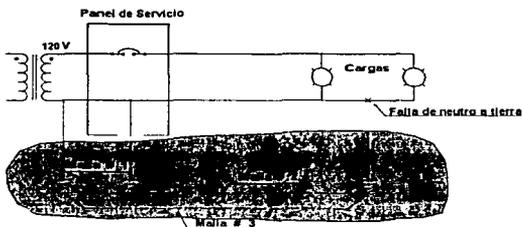


Figura 5-3

El término de tierra tranquila, o libre de ruido electromagnético, surge cuando se comienza a hacer uso de la puesta a tierra aislada o "separada". Esto sucedió aproximadamente durante los años 60's, dejando la definición de tierra ruidosa, o con mucho ruido electromagnético al sistema de puesta a tierra de los sistemas de potencia, donde se realizan múltiples conexiones a tierra a través de dicho sistema.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1.2 Ruido en la puesta a tierra de los sistemas de potencia.

Con la creciente complejidad en los sistemas de cómputo, se ha vuelto muy común el uso de computadoras satelitales, o terminales remotas, colocadas a una distancia considerable de la computadora principal. De tal manera que las terminales remotas cuentan con fuentes de alimentación, que en un momento dado puede ser la misma que alimenta a la computadora principal, pero existe la posibilidad de ser alimentadas por distintas fuentes, dada su principal característica de poder encontrarse distantes de la computadora principal.

Es común encontrarse con sistemas de puesta a tierra en algunos edificios que tienen diferencias de tensión bastante elevadas entre punto y punto. Esto se debe al flujo de corriente, ya sea de 60 Hz o a transitorios de alta frecuencia. Así una conexión a la red de tierra del sistema de potencia en la terminal remota podría producir, en la puesta a tierra de la misma, una diferencia de tensión de unos cuantos volts con respecto a la de la red de tierra de la computadora principal. Esto ocasionaría que la diferencia de tensión entre las dos conexiones de puesta a tierra afectara al sistema, interfiriendo con las señales o información del sistema de cómputo.

Con múltiples trayectorias a tierra y el conductor neutro conectado, de manera intencional o no, al sistema de puesta a tierra en diversos puntos, figura 5-4, la corriente de retorno por el neutro podría fluir de forma incontrolada en el sistema de puesta a tierra. Ello ocasiona que en cada punto donde el neutro es conectado a tierra, y existan trayectorias paralelas, la corriente se va a distribuir de acuerdo con el inverso de la impedancia del circuito de acuerdo con la ley de ohm y asumiendo un voltaje en por unidad igual a 1.

Es este flujo de corriente incontrolado presente en el sistema de tierra lo que hace que la puesta a tierra del sistema de potencia se conozca como "sucio" o ruidoso, y al respecto, las personas a cargo de los sistemas de cómputo concluyeron que no había nada que hacer con tales sistemas de puesta a tierra en los edificios.

5.1.3 Sistemas o equipos que deben ser aterrizados.

En los sistemas eléctricos de potencia existen al menos dos grupos o clases de puesta a tierra.

- Puesta a tierra de los sistemas: Es la puesta a tierra de alguna parte del sistema eléctrico, que normalmente es el neutro del sistema.
- Puesta a tierra del equipo: Esto es conectar a la red de tierra todas las partes metálicas, gabinetes por ejemplo, mediante la unión de todas las partes de los componentes y de conexión a tierra.

5.1.4 Equipos sensibles electrónicos.

De igual manera que en los sistemas de suministro de energía, las computadoras tienen diversos sistemas que deben ser aterrizados.

1. Puesta a tierra de la señal común: La señal común también es conocida como "La Señal Común de c.d.", es el sistema de referencia a cero para líneas de información, y para cualquier tipo de información, representa el neutro sensible del equipo de cómputo. Este es uno de los sistemas sensibles a variaciones de tensión y por lo tanto requiere de un punto de referencia estable, con respecto al voltaje de la fuente.
2. Barra de referencia de puesta a tierra de la fuente de poder de c. d.: Los equipos de cómputo pueden funcionar con diferentes niveles tensión de c. d., tales como +12/ 0/-12, +24/-24 V.

3. Barra de puesta a tierra del equipo: Esto es el gabinete del equipo de cómputo, incluyendo el chasis de los elementos de la computadora. Algunos fabricantes de computadoras se refieren al bus de puesta a tierra del equipo como el "bus de tierra de seguridad".

Aparte de los términos listados arriba para los diferentes tipos de barras de puesta a tierra, se pueden encontrar términos como: tierra segura de c.a., tierra de referencia de la computadora, señal común de c.d., tierra común, bus de tierra de c.d., punto de la tierra principal de c.d. y punto de la tierra común de la fuente de poder. Al parecer cada compañía de equipo de cómputo ha creado sus propios términos para diversas partes conectadas a tierra dentro de sus sistemas. No existe uniformidad en la terminología aunque, como se verá posteriormente, todos los sistemas de puesta a tierra dentro de un equipo de cómputo al final se deben de conectar a un punto en común.

5.1.5 Tipos de puesta a tierra en los sistemas de cómputo.

5.1.5.1 Conexión en un sólo punto.

Para prevenir corrientes circulantes que afectan a las señales del equipo de cómputo y su funcionamiento, es necesario mantener la tierra del equipo de cómputo separada de los equipos de puesta a tierra de componentes y conectarlos sólo en un punto único. Incluso es deseable mantener la red de tierra de las computadoras completamente aislada de la red de tierra de los equipos del sistema eléctrico de potencia, excepto donde las dos redes de puesta a tierra se deban unir en un punto único.

Los fabricantes de equipo de cómputo pueden tener diferentes términos para referirse a los sistemas de puesta a tierra, diferentes entre ellos, como puede ser la puesta a tierra del equipo de potencia, de señal, de seguridad, etc. Con la excepción de ésta última, que corresponde al gabinete del equipo y por norma debe estar aterrizada, el resto de las tierras por lo general terminarán en un punto en común.

El punto único de conexión donde se unen las dos redes de puesta a tierra, tanto de los equipos del sistema eléctrico de potencia como el de los sistemas de cómputo, se puede realizar en alguna de las dos, por ende este punto se convertirá en el punto común de puesta a tierra. También existe la posibilidad de conectar la red de puesta a tierra de los sistemas de cómputo a la parte más próxima de la estructura del edificio que se encuentre efectivamente aterrizada.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

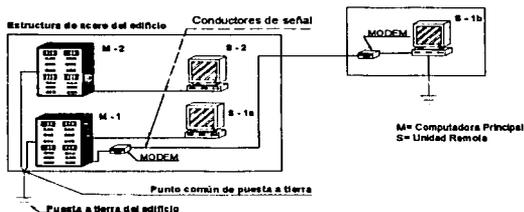


Figura 5-4

Donde el montaje principal de un sistema de cómputo está compuesto por varios gabinetes, las conexiones internas de la tierra, no la tierra del gabinete, deben dirigirse hacia el punto en particular, dentro del gabinete, y este punto se debe de conectar a tierra. La forma de agrupar las tierras individuales debe de hacerse siguiendo el esquema de un sistema radial o de un árbol, es decir, sin que existan trayectorias paralelas.

La conexión a tierra de las señales internas debería estar conectada al gabinete en lugar de quedar aislada de éste, razón por la cual todos los gabinetes de los componentes necesitan ser aislados de tierra o de un piso conductor sobre el cual pudieran estar montados. Es por ello que la tierra colectiva señal-gabinete se debe conectar a la parte más próxima de la estructura del edificio que se encuentre efectivamente aterrizada.

Si los sistemas separados de puesta a tierra, computadora-síñal, se encuentran aislados de gabinete y son llevados hasta el punto común, entonces no es necesario aislar el gabinete de la computadora del piso puesto a tierra o de cualquier piso. En alguna ocasión en el manual de instalación de un fabricante se solicitaba un acoplamiento por medio de conduit plástico aislado, lo que implicaba una violación a la NOM, ya que existía la posibilidad de una disminución en la rigidez dieléctrica del aislamiento por el uso de sistemas de calefacción o de enfriamiento, disminuyendo el efecto de aislamiento que el fabricante estaba tratando de obtener.

Por último, para rechazar la inducción de frecuencias muy altas, será necesario tener un conductor de unión tan corto como sea posible al conectar el sistema de cómputo a un enrejado de puesta a tierra dentro del piso o a algún tipo de piso de puesta a tierra para equipos de cómputo.

5.1.5.2 Sistema de puesta a tierra radial central.

El sistema radial central de puesta a tierra consiste en conectar las redes de tierra, tanto de la computadora principal como de las computadoras remotas, en un punto en común por medio de conductores aislados para 600V. El electrodo de puesta a tierra de la unidad principal es conectado, nuevamente por medio de un conductor aislado, a un punto en común con la red de tierra del sistema eléctrico de potencia. El punto óptimo para realizar esta conexión es donde los sistemas de potencia derivados o el secundario del transformador que suministra energía a los sistemas de cómputo, se encuentra puesto a tierra. Más sin embargo esta conexión también se puede realizar en cualquier otro punto en común en el sistema de puesta a tierra del edificio o en el sistema de potencia derivado separadamente.

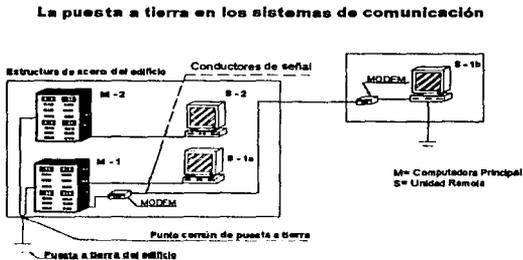


Figura 5-5

Los conductores de la puesta a tierra tanto del sistema principal como de las unidades remotas son conectados a un punto en común. Para mayor facilidad nos referiremos en la figura a M1 como sistema o unidad principal. Los conductores de puesta a tierra de este sistema son aislados del resto de los sistemas, (M2) por ejemplo, y del sistema de puesta a tierra del edificio, excepto que la terminal de conexión de puesta a tierra de la unidad principal de cada sistema sea puesta a tierra por medio de un conductor aislado, no desnudo, a un punto de la red de tierra del edificio.

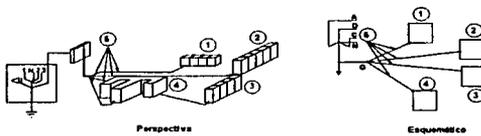
Este punto en común debe ser el mismo tanto para M1 como para M2, o de lo contrario cada sistema debe ser conectado a un punto diferente, es decir, un electrodo aislado. Por ejemplo, si una unidad de cómputo remota es aislada del sistema principal, con la ayuda de un MODEM adecuado, puede soportar

la diferencia de voltaje entre dicha terminal remota y la principal. Así la unidad remota debe ser puesta a tierra a través de su propia tierra aislada o separada.

Estos modems son los mismos dispositivos utilizados para conectar a los sistemas de cómputo a los centros de información por medio de las líneas telefónicas.

Cuando hay varias computadoras en una central o mejor conocido como "cuarto de computadoras", todas ellas deben de ser conectadas a tierra a través de un punto en común, como se muestra en la figura; además, estas unidades de cómputo pueden ser energizadas por medio de una sola fuente por medio de un transformador aislado que puede ser aterrizado dentro o en la periferia del cuarto de computadoras, siendo que puede ser utilizado como el punto de puesta a tierra de los equipos que se encuentren dentro de dicho cuarto.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación



De 1 a 4 son módulos típicos de sistemas de cómputo.
 5 Es el conductor de puesta a tierra para seguridad del equipo "el cable verde"

Los conductores del equipo de cómputo se encuentran expuestos a una resonancia de alta frecuencia debida a señales de radiofrecuencia (RF)

Figura 5-6

En caso de que exista una interconexión, todas aquellas unidades que se encuentren interconectadas a ésta deben de compartir sólo un electrodo de puesta a tierra de la señal, un sólo punto en común a la estructura del edificio, etc.

Por otro lado, cuando existen varios cuartos de computadoras, o sistemas de cómputo localizados en diferentes lugares dentro del edificio y no existe otra conexión entre estos sistemas o entre los cuartos de computadoras, cada uno de estos grupos o unidades individuales puede ser conectado a la red de puesta a tierra del sistema eléctrico de potencia en su ubicación más próxima, ésta puede ser una estructura de acero efectivamente aterrizada, etc.

La conexión a tierra de las señales internas debería estar conectada al gabinete en lugar de quedar aislada de éste, razón por la cual todos los gabinetes de los componentes necesitan ser aislados de tierra o de un piso conductor sobre el cual pudieran estar montados. Es por ello que la tierra colectiva señal-gabinete se debe conectar a la parte más próxima de la estructura del edificio que se encuentre efectivamente aterrizada.

Si los sistemas separados de puesta a tierra, computadora-sígnal, se encuentran aislados de gabinete y son llevados hasta el punto común, entonces no es necesario aislar el gabinete de la computadora del piso puesto a tierra o de cualquier piso. En alguna ocasión en el manual de instalación de un fabricante se solicitaba un acoplamiento por medio de conduit plástico aislado, que implica una violación a la NOM, ya que existía la posibilidad de una disminución en la rigidez dieléctrica del aislamiento por el uso de sistemas de calefacción o de enfriamiento, disminuyendo el efecto de aislamiento que el fabricante estaba tratando de obtener.

Por último, para rechazar la inducción de frecuencias muy altas, será necesario tener un conductor de unión tan corto como sea posible al conectar el sistema de cómputo a un enrejado de puesta a tierra dentro del piso o a algún tipo de piso de puesta a tierra para equipos de cómputo.

5.1.5.3 Puesta a tierra de los blindajes.

Cuando se utiliza tubo conduit metálico rígido para alojar conductores portadores de señal de información, este tubo funciona, en su conjunto como un blindaje. Este blindaje se ha conectado a tierra en varios puntos, en particular, en todos aquellos puntos donde el tubo conduit ha sido unido a la estructura del edificio. Con el advenimiento de canaletas y otro tipo de elementos para soportar los conductores este blindaje prácticamente ha desaparecido. Es por ello que se debe proporcionar un blindaje adecuado a cada conductor que porte una señal de información.

5.1.5.4 Fuera de la NOM.

Las secciones de la NOM 250-5, 26, 51, 54, 57, 58 y 59 establecen que todo equipo que se alimente de una fuente de poder debe ser aterrizado o en su defecto se establezca una unión con el punto de puesta a tierra de dicha fuente, además es requisito que el neutro de todas las fuentes de poder sea puesto a tierra salvo algunas excepciones. Entonces, de acuerdo a estas especificaciones, las secciones antes mencionadas son en parte desobedecidas cuando se hace uso de un sistema de puesta a tierra aislado en los sistemas de cómputo.

La NOM establece que se debe contar con una trayectoria metálica que sirva como camino de regreso para la corriente hacia el neutro de la fuente, proveniente de los gabinetes de todos los equipos conectados a esta fuente. De tal forma que si dicha trayectoria cuenta con una impedancia lo suficientemente baja asegura que la magnitud de cualquier falla será de una magnitud más que suficiente para activar de manera eficaz los dispositivos de protección y desenergizar la unidad fallada.

Por otro lado cuando se tienen electrodos de puesta a tierra aislados es necesario que la corriente pase a través de la resistencia que presentan tanto el electrodo aislado como la de la puesta a tierra de la fuente, que se encuentra conectada al edificio, quedando conectadas en serie

Supongamos que en algún lugar se cuenta con unos electrodos de puesta a tierra aislados cuya resistencia total es de 20Ω y la resistencia del edificio es también de 20Ω , además la falla ocurre a una tensión de 120 V, esto nos da como resultado una corriente de 3 amperes ($120 \text{ V} / 40\Omega$). Esta magnitud de corriente no es suficiente para operar siquiera un dispositivo de protección de 15 amperes.

La puesta a tierra de los sistemas de comunicación

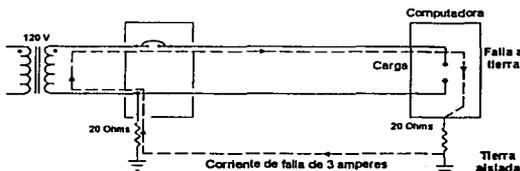


Figura 5-7

Veinte ohms resulta ser un buen valor de resistencia para un solo electrodo enterrado en algunas partes del planeta pero, en un caso en particular, en una red de puesta a tierra se enterraron tres electrodos separados en el suelo cerca del fondo de un río y se registraron resistencias diferentes 55, 45 y 30 Ω respectivamente. Esto podría ser considerado como un valor típico, pero con estos valores de resistencia la corriente de falla podría permanecer en los armazones de los equipos de cómputo y en algunas partes metálicas adyacentes del edificio, lo que representa un peligro latente para el personal.

5.1.6 Redes de puesta a tierra de respaldo.

Ocasionalmente existe la necesidad de hacer mediciones de la resistencia de los electrodos de la puesta a tierra en una instalación eléctrica. Esto se hace por medio de la aplicación de una tensión entre los electrodos de puesta a tierra y uno o más electrodos externos provisionales. Es probable que al llevar a cabo la medición de la resistencia esta manera se produzcan sobretensiones en algún punto del sistema de cómputo, especialmente si el equipo de cómputo cuenta con líneas de información provenientes del exterior de las instalaciones.

Para adaptar el procedimiento de la medición de la resistencia de tierra, es conveniente contar con una conexión removible entre la terminal de la red de tierra del equipo de cómputo y del conjunto de electrodos de la red tierra del sistema de potencia, así como colocar un electrodo temporal fuera de la instalación.

Esta conexión a tierra provisional debe de encontrarse fuera de la influencia del electrodo principal al cual se encuentra conectada la red de puesta a tierra del sistema de cómputo. El retiro de la conexión principal de la red de tierra y la conexión con el electrodo temporal de puesta a tierra se hace sólo por el tiempo que se necesite para realizar la prueba de resistencia del electrodo principal.

El electrodo de prueba se puede dejar conectado a la terminal de la red de tierra del sistema de cómputo incluso después de haber realizado la prueba; esto hace que el electrodo principal quede conectado en paralelo con el electrodo de prueba, sin que esta conexión afecte a la red de puesta a tierra principal, ya que sería como una rama más de la red de tierra.

5.1.7 Tierra Separada o Aislada

Desde que se descubrió que los sistemas de potencia inducían ruido en los sistemas electrónicos, la solución lógica a este problema fue dejar de utilizar, dentro de las instalaciones, el mismo sistema de puesta a tierra tanto para los equipos de potencia como para los sistemas de cómputo. La falta de conocimiento por parte de los fabricantes de equipo electrónico sensible en cuanto al funcionamiento y operación de la conexión a tierra del conductor neutro, y del sistema de puesta a tierra, originó que se cometieran una serie de errores que ocasionaban que las instalaciones no cumplieran con los requisitos mínimos establecidos por norma.

Debido a esto se decidió tomar una alternativa que resultaría mucho más eficiente y fue la de conectar los equipos electrónicos a uno o más electrodos de puesta a tierra enterrados y aislados, separados, de los electrodos de la red de puesta a tierra de los equipos del sistema eléctrico de potencia.

Esta red separada, aislada, por lo general se encuentra constituida desde uno a diez electrodos colocados a unos cuantos metros del edificio, estos electrodos pueden tener una resistencia de entre 10 a 30 ohms, incluso un poco más. Este exceso de impedancia normalmente enmascara el problema eléctrico con los sistemas de cómputo ya que introduce una resistencia adicional al circuito.

La eficiencia de los múltiples electrodos, que normalmente tienen una longitud de 3.05 (m), y se encuentran separados a una distancia de 3.05 (m), fue disminuida desde que se encontró que la distancia más efectiva entre electrodos es la suma de la profundidad de los electrodos.

En algunos casos en lugar de utilizar electrodos de 3.05 (m) de longitud, se unen varios electrodos incrementando la longitud a 6.1 (m) y 9.14 (m) o más. La longitud que vaya a ser utilizada depende de la zona del país, básicamente de la resistividad del suelo, del diseñador y en algunos casos del contratista.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

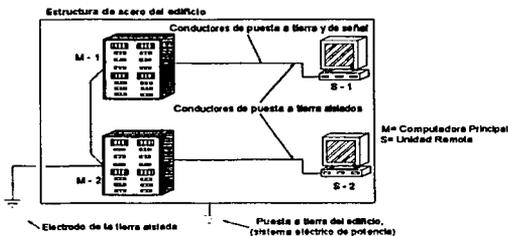


Figura 5-8

5.1.8 Conductores de puesta a tierra aislados.

La NOM reconoce o admite que equipo sensible que se conecte, tales como máquinas registradoras, minicomputadoras, impresoras, etc. puede resultar seriamente afectados por el flujo de corriente en los conductores de puesta a tierra de los equipos comunes, tales como el conduit, conductor verde o desnudo de puesta a tierra, estructuras de acero etc. Con el fin de minimizar tales problemas, la NOM permite el uso de un conductor de puesta a tierra aislado que va desde la terminal de puesta a tierra aislada del receptáculo, de regreso hasta el punto de puesta a tierra de la acometida o a la terminal puesta a tierra de los sistemas derivados separadamente que suministra al receptáculo.

Este conductor se debe de alojar en las charolas, conduits, o canaletas, junto con el conductor que da servicio al receptáculo de la carga respectiva, este conductor separado es por lo general verde con una franja amarilla o identificado en cada caja de conexión, a la que se tenga acceso, con cintas amarillas en sus terminales. El conductor no deberá de estar conectado a ninguna barra de puesta a tierra a puntos en común entre los receptáculos o alimentadores de la carga. Este método elimina gran parte del ruido en los equipos electrónicos sensibles conectados por medio de clavijas, más sin embargo los problemas han aumentado por la mala interpretación de la NOM, más otras anomalías en la instalación.

El uso de cualquier conductor de puesta a tierra aislado y de un receptáculo de puesta a tierra también aislado no significa que las partes de metal de los receptáculos de metal, canaletas o conduits queden exentos de ser conectados a la red de puesta a tierra del local donde se encuentren. Para llevar a cabo lo anterior se requiere hacer uso de los siguientes conductores:

1. Conductor de la fase, por lo general es de color negro.
2. Conductor neutro identificado con el color blanco.
3. Conductor de puesta a tierra del equipo, de color verde.
4. Conductor aislado de puesta a tierra del equipo, por lo general verde con una franja amarilla.

No es recomendable confiar en los receptáculos de metal. Las pruebas de Harold Kaufmann para conocer por donde circula la corriente durante una falla en conductores de calibre 4/0 AWG y superiores, demostraron que un conductor de puesta a tierra interno mejora la eficiencia del retorno por tierra. Para conductores cuyo calibre se encuentra entre el 12 al 6 AWG Robert West demostró que el incremento de impedancia no es un factor determinante, por el contrario, contribuyen al mejor funcionamiento de la red de tierra especialmente cuando se trata de equipos electrónicos sensibles.

La siguiente figura muestra el diagrama de un circuito con la trayectoria del conductor de puesta a tierra a través de los paneles intermedios en su camino hacia el punto donde se encuentra la puesta a tierra de todo el sistema. Es lógico pensar que donde exista mayor cantidad de dichos conductores aislados se requiera contar con un lugar apropiado para conectarlos como puede ser un bus o una barra en el gabinete más próximo al electrodo de puesta a tierra y extender un conductor aislado a la terminal principal de la puesta a tierra.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

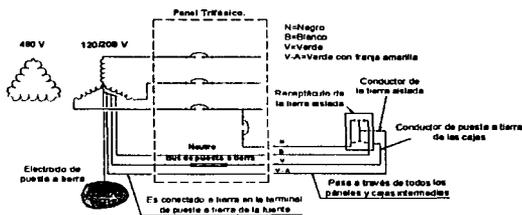


Figura 5-9

5.1.9 Supresión del Ruido.

La red de puesta a tierra aislada o separada reduce el ruido, proveniente de la red de tierra del sistema eléctrico de potencia debido, principalmente, a las múltiples conexiones en esta red. Su principal característica ocasionó que en algunas partes del mundo se le conociera como "una puesta a tierra tranquila".

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Capítulo 5

Sistemas de Tierra de Acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999

A pesar del incremento en la resistencia del circuito, aún se seguía introduciendo algo de ruido pese a que no todos los sistemas de cómputo se encontraban puestos a tierra al mismo grupo de electrodos. Cabe mencionar que es posible se presenten tensiones, en tierra, entre los electrodos incluso cuando estos se encuentran separados unos cuantos metros, estos voltajes pueden introducirse en las diferentes partes del sistema de cómputo conectado a un grupo de electrodos separados.

5.1.9.1 Problemas.

Cuando el continuo ruido de nivel bajo fue eliminado por el uso de la tierra aislada varios incidentes, algunos de ellos terribles, fueron detectados. El análisis de dichos problemas indicaba que la separación entre los sistemas de tierra era la causa de la presencia de tensiones elevadas en los sistemas de cómputo, especialmente en presencia de tormentas eléctricas. Estas tensiones se hacían presentes estuviesen o no en funcionamiento los sistemas de cómputo y por supuesto era necesario realizar una serie de cambios en los sistemas de puesta a tierra.

Las grandes tensiones se debían principalmente al contacto de los relámpagos, ya fuese con el edificio en el cual se encontraban albergadas las computadoras o en algún equipo del sistema de potencia que suministraba servicio a esta instalación, desde luego había otras causas que no eran tan evidentes.

Esto sucedía debido a la presencia de nubes cargadas electrostáticamente durante las tormentas eléctricas, como consecuencia las cargas se inducían en las instalaciones ubicadas debajo de estas nubes.

Debido a la resistencia del electrodo de puesta a tierra del edificio, la tensión en este electrodo se elevaba de manera tal que superaba la tensión nominal de operación de los equipos de cómputo, este valor de tensión era el correspondiente al de los electrodos separados y aislados.

La diferencia de tensión en el electrodo más la capacitancia entre los equipos de cómputo y la estructura del edificio, eran los causantes de la inducción de tensiones en los componentes de los equipos de cómputo, que en algunos casos se encontraban por encima de la tensión de ruptura de tales componentes. Cabe mencionar que en la mayoría de los casos los componentes de semiconductores pueden soportar aproximadamente 20 (V) por encima de su valor nominal, pero por periodos de tiempo bastante cortos como un microsegundo (μs)

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

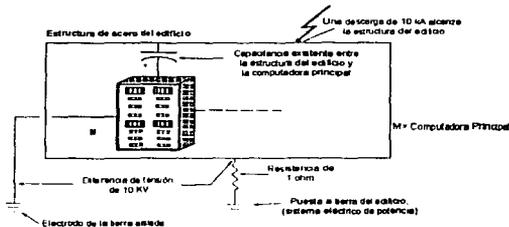


Figura 5-10

Aunque las descargas no tengan contacto directamente con la estructura o en alguna parte que forme parte del sistema de potencia pueden ocasionar daños muy similares como cuando entran directamente en contacto con las partes antes mencionadas. Esto se debe a tensiones espontáneas inducidas en los equipos de cómputo. Estas tensiones ocasionan que el voltaje total del edificio sea de cientos de veces mayor incluso de un sistema de puesta a tierra ubicado a unos cuantos metros del edificio.

Las tensiones son esporádicas y transitorias, inducen pulsos en la circuitería de los sistemas de cómputo, interfiriendo con el funcionamiento de éstos o incluso ocasionando fallas en sus componentes

5.1.9.2 Sistemas de Cómputo Remotos.

Cuando las unidades de cómputo remotas (periféricas), o algunos componentes de estos sistemas, son puestas a tierra por medio de un electrodo de puesta a tierra aislado o separado en el lugar donde estos se encuentran, alejados del sistema principal de cómputo, es posible que exista una diferencia de tensión en los dispositivos semiconductores de la terminal principal y de la unidad remota de una magnitud superior a la nominal tal que puede destruirlos.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

Un repetidor aislado utilizado en los sistemas de telefonía conocido como "modem" frecuentemente es utilizado para evitar esta sobretensión. El "modem" hará al conductor de señal de interconexión el equivalente a un circuito telefónico.

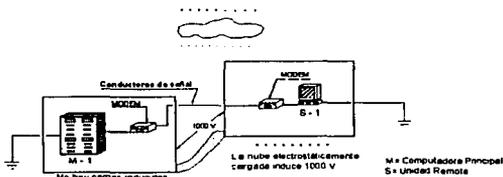


Figura 5-11

5.1.9.3 Redes de Área Local (LAN)

Los fabricantes de equipos electrónicos sensibles así como de equipos de cómputo reconocen el problema que implica la puesta a tierra de estos equipos. Con los avances en el diseño interno de las computadoras y el desarrollo de las LAN's, la necesidad de tratar con la puesta a tierra casi ha desaparecido, ya que en algunos de estos sistemas LAN, el blindaje del conductor de la señal no está conectado a la puesta a tierra del chasis, más sin embargo tiene una conexión de puesta a tierra en común. Cada equipo de cómputo es conectado a la toma de corriente más próxima, este cambio en el diseño parece haber reducido el problema, pero la posibilidad de que se presente tensión entre el blindaje del conductor de la señal y el chasis durante fallas a tierra bastante serias sigue latente.

5.1.9.4 Fibras Ópticas.

En lugar del modem en las líneas de transmisión de datos entre edificios, la figura 5-10, la separación o aislamiento se puede obtener haciendo uso de fibra óptica en lugar de conductores eléctricos convencionales. En la actualidad algunos fabricantes proveen de una terminal óptica en los dispositivos de entrada-salida exclusivamente para este fin.

Para líneas de transmisión de información conformadas en su totalidad de fibra óptica, los dispositivos de acoplamiento entrada-salida son indispensables principalmente en las repetidoras y en los amplificadores, es por ello que debe consultarse con los especialistas en fibra óptica, como las compañías telefónicas por ejemplo.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Lo anterior se debe principalmente a la existencia de dos tipos de líneas de fibra óptica, las líneas largas, como las utilizadas por las compañías telefónicas para la transmisión de información a larga distancia, y las líneas cortas que se utilizan básicamente para comunicación dentro de edificios y para el aislamiento de los sistemas eléctricos. Y por supuesto, debido al diferente uso que se les da su construcción difiere una de la otra.

5.1.10. Efectos de los Rectificadores Internos en los Sistemas de Cómputo.

La mayoría de las computadoras, internamente funcionan por medio de corriente directa, la cual es obtenida de una onda de corriente alterna entre los 50 y 60 Hz por medio de rectificadores y filtros.

Los filtros son necesarios para convertir la onda de d.c. rectificada en una señal razonablemente pura de d.c., a través de capacitores y resistencias o reactores.

Los capacitores producen picos de corriente a través del rectificador y de la línea de a.c., sólo cuando el voltaje de salida del rectificador está sobre la salida de voltaje de d.c. del capacitor de entrada del rectificador. Esto es durante el corto periodo de tiempo que precede al pico de voltaje como se muestra en la figura. Este es un pico de voltaje que se encuentra por encima de la señal de corriente de 60 Hz de la fuente de alimentación de los sistemas de cómputo y por supuesto esto hace que el valor rms se incremente.

Los pulsos de corriente en cada fase se encuentran por encima de las ondas de corriente de 50 o de 60 Hz, según sea el caso, el resultado es un incremento desproporcionado en el valor eficaz de la corriente o en su efecto equivalente el calentamiento. Debido a la presencia de esta componente de alta frecuencia, el incremento de corriente no es registrado por los amperímetros, instrumentos que normalmente detectan ondas de corriente cuya frecuencia se encuentra entre los 50 o 60 Hz, lo que arroja como resultado que los conductores provenientes de las fuentes de voltaje tengan que ser sobredimensionados aproximadamente en un tercio del valor normalmente requerido.

Aunque las lecturas de los amperímetros no indiquen que esto sea necesario. Este sobredimensionamiento implica también que las barras colectoras tanto en los paneles como en los transformadores de servicio se deben también sobre - dimensionar.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

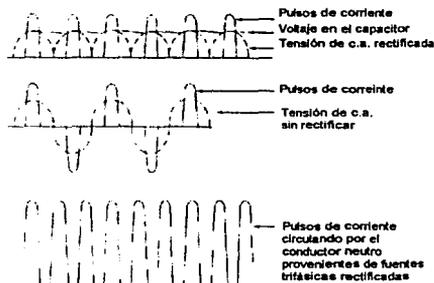


Figura 5-12

La puesta a tierra on los sistemas de comunicación

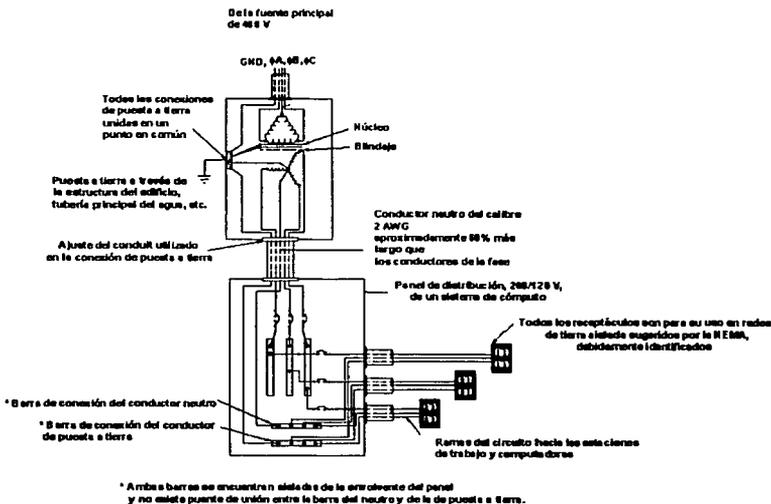


Figura 5-13

Al fenómeno descrito anteriormente se le conoce como corriente pulsante, que es muy similar a la corriente ocasionada por una carga monofásica desbalanceada, ya que cada pulso que se presenta lo hace como un pulso monofásico y sólo en una de las fases. Además, no es compensado por el desfaseamiento de 120 grados como sucede con las corrientes sinusoidales trifásicas. Lo que ocasiona que estos pulsos sean de línea a neutro. Estos picos de corriente son lo suficientemente grandes que el excedente en el valor rms y el efecto de sobrecalentamiento de los pulsos en las tres fases pueden sobrepasar el valor rms de la corriente de línea. Esto implica que los neutros utilizados no pueden ser comunes a las tres fases, lo que obliga a que cada fase sea equipada con su propio conductor neutro.

Lo anterior trae como consecuencia que tanto en dispositivos como en conductores, de igual forma en las barras colectoras, entre el transformador y el comienzo de las cargas monofásicas, el efecto de sobrecalentamiento se debe de tener muy presente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El sistema de distribución y de puesta a tierra que se muestran en la figura cumplen con todos los requerimientos establecidos en la NOM; de igual manera mantiene el aislamiento y el rechazo al ruido que se requiere para los sistemas de cómputo. Este tipo de instalación es recomendado para reducir los numerosos métodos incorrectos de los sistemas de puesta a tierra aislados que violan los requerimientos mínimos de seguridad establecidos en la NOM, que además representan peligros latentes para el personal y para el correcto funcionamiento del equipo.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

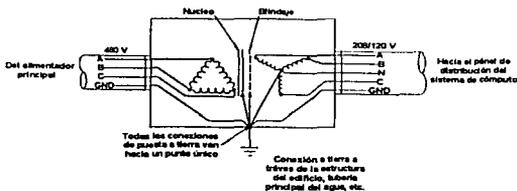


Figura 5-14

5.1.10.1 Descripción - Necesidad.

La inducción que se presenta en conductores que portan señales de información de bajo voltaje es muy común en los sistemas de comunicación. Afortunadamente se han encontrado varias formas de eliminar o reducir en un margen bastante amplio este fenómeno por medio de la instalación de blindajes alrededor de estos conductores. Estos blindajes pueden ser:

1. Conductores de cobre trenzados, comúnmente conocido como par trenzado.
2. Una hoja delgada metalizada junto con un conductor de cobre para drenar.
3. Tubo conduit metálico, si se cuenta con un conduit de acero también funciona como un blindaje.

Para que los blindajes funcionen de manera adecuada deben ser puestos a tierra. Donde las señales sean de frecuencias por encima de 1 MHz es conveniente conectar el blindaje a tierra en un sólo extremo, de preferencia en el más próximo a la fuente de la señal manteniendo de esta manera el lado de la carga aislado de la conexión de puesta a tierra. Lo anterior es para evitar que el blindaje se comporte como un conductor para las diferencias de potencial que existen entre ambos lados del edificio a los cuales se encuentra aterrizado este blindaje.

Cuando existe corriente circulando por el blindaje, se induce una tensión debido a la presencia de esta corriente, la cual afecta el nivel de tensión de la señal de información, esto sucede principalmente cuando el conductor de señal se encuentra entre el conductor encerrado y el blindaje.

En algunos casos cuando la tensión inducida es de baja frecuencia (60 Hz) y la señal de información es de una frecuencia mucho mayor, el extremo aislado de tierra del blindaje puede ponerse en circuito corto únicamente para la frecuencia de la señal de información por medio de un capacitor previamente calculado. Esto trae como resultado que la señal de interferencia de baja frecuencia se tope con una alta impedancia pero una trayectoria de baja impedancia para la frecuencia de la señal de información.

Pero dado que la frecuencia de las señales de información se encuentran por encima de un megahertz es necesario conectar el blindaje a ambos lados y es muy probable que se requiera conectarlo a tierra en diversos puntos entre ambos extremos. Es aquí donde la longitud de los conductores de puesta a tierra es de mucha importancia y se recomienda que sean lo más corto posible ya que de esta manera pueden

ser conectados a la estructura de acero del edificio en vez de ser conectados al punto común de la red de puesta a tierra que puede encontrarse a varios metros.

Lo anterior se debe a que los conductores poseen una resistencia proporcional a la frecuencia a la cual se encuentran operando, mejor conocido como el efecto Kelvin, y a su longitud. De manera tal que un conductor que sea un 0.05% (1/20) más largo que la longitud de onda de la frecuencia de interferencia no tendrá un funcionamiento adecuado. La longitud de onda de la señal podemos obtenerla de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

Donde:

λ = Longitud de onda (metros/ciclo).

f= Frecuencia (ciclos/segundo).

$C = 299,79 \times 10^6$ m/s, Constante correspondiente a la velocidad de una onda electromagnética en el espacio libre.

La velocidad de una onda electromagnética en el vacío es de aproximadamente 299,792 (km/s), valor que dentro de un conductor es menor, de tal manera que una onda de tensión de 10 MHz podría viajar aproximadamente 29.97 metros en el espacio libre durante un ciclo de una onda.

Pero en el caso de un conductor de puesta a tierra, la onda viajará tan sólo 26.82 metros en 0.1(µs), lo anterior implica que si un conductor tiene una longitud de 26.82 (m), la onda se reflejará y regresará a su punto de inicio al mismo tiempo en que un nuevo ciclo comience, con lo que se produce el efecto de la resonancia lo que trae como consecuencia que las oscilaciones en la línea se intensifiquen de manera peligrosa.

El pico, sea máximo positivo o máximo negativo, se presentará a un cuarto de la longitud de onda, o para el caso del conductor de 26.82 (m) de longitud, estos picos se presentarían a cada 6.71 (m).

Una buena práctica dentro del ramo de la ingeniería eléctrica dictamina que cualquier conductor que sea más largo que 1/20 de una longitud no puede ser tomado en cuenta para igualar tensiones entre sus terminales.

Así que para una frecuencia de interferencia de 10 MHz., la longitud no debe exceder 1/20, o 0.05%, en 1/10 (µs).

5.1.10.2 Sobrevoltajes en puntos abiertos.

En las terminales de los blindajes que no son aterrizados es posible que se presenten tensiones entre el blindaje y tierra. Es por ello que el blindaje debe ser aislado para evitar la exposición del personal a ciertos riesgos. Además, el blindaje deben encontrarse aislado a todo lo largo, esto es básicamente, el forro que trae de fábrica, para evitar que se tengan varios puntos de conexión a tierra, algunos de ellos de manera accidental, que además pueden encontrarse funcionando a una tensión diferente al del blindaje y estar induciendo tensiones en el blindaje mismo.

Para rematar el blindaje de una manera adecuada será necesario remover la parte final de la cubierta para poder alcanzar al blindaje y romper su continuidad. Después, esta terminal debe ser aislada para evitar un choque eléctrico a alguien del personal por algún contacto accidental.

En caso de que se requiera llevar el blindaje más allá del punto antes mencionado, éste, ya sea del tipo cobre trenzado flexible o expandido entubado, necesita trasladarse en el extremo aislado del blindaje correspondiente de la señal, cubriendo al resto, además debe ser aterrizado en el extremo donde se ubica la carga y en la terminal de puesta a tierra.

La puesta a tierra en los sistemas de comunicación

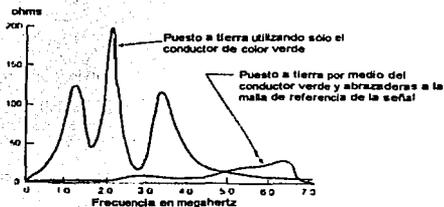


Figura 5-15c

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 6

Cálculo del Sistema y de la Red de Tierra.

6.1 Potencial de paso y de contacto.

6.1.1 Introducción

El diseño de un sistema de puesta a tierra tiene como objetivos principales los siguientes:

- Proveer un medio para transportar corriente eléctrica hacia tierra en condiciones normales o de falla sin exceder el límite de operación de los equipos, o de manera adversa, afectar la continuidad del servicio ni afectar el funcionamiento del sistema en general.
- Asegurar que una persona ubicada en las proximidades de los edificios puestos a tierra no está expuesta a sufrir un choque eléctrico de alto riesgo.

La gente por lo general asume que cualquier objeto que se encuentre puesto a tierra puede ser tocado sin ningún problema, pero una resistencia de bajo valor de puesta a tierra en una subestación no es, por sí misma, garantía de seguridad, ya que no hay una simple relación entre la resistencia del sistema de puesta a tierra en general y la corriente máxima de choque a la que la persona puede ser expuesta. Por lo tanto, una subestación con una resistencia de bajo valor puede ser peligrosa mientras que otra subestación con una resistencia mayor puede ser más segura o hacerse más segura a través de un diseño más minucioso.

Ahora bien, cuando la subestación es alimentada por medio de líneas aéreas que carezcan de blindaje o de conductor neutro, se requiere de una malla de baja resistencia.

La mayor parte de la corriente de la falla a tierra ingresa a la tierra ocasionando un incremento abrupto en el potencial de tierra, pero al utilizar un conductor de blindaje, un conductor neutro, un bus aislado en gas o un cable alimentador subterráneo, parte de esa corriente regresa a través de este camino metálico, directamente hacia la fuente. Al proporcionar esta unión metálica se tiene una trayectoria paralela de baja impedancia para el circuito de regreso, el incremento del potencial de tierra es finalmente de una magnitud menor. Figuritas (2 -a-b).

Pero si la geometría, la ubicación de los electrodos de puesta a tierra, las características del suelo actual, más otros tantos factores, contribuyen al desarrollo de un gradiente de tensión excesivo en la superficie de la tierra, el sistema de puesta a tierra resultará ser inadecuado a pesar de su capacidad para conducir la corriente de falla tanto en magnitudes como en tiempos que permitan los equipos de protección.

6.1.2 Consideraciones

Existen criterios y algunas restricciones que permiten hacer una evaluación adecuada de todos los factores necesarios para poder proteger la vida de un ser humano, el cual se convierte en el elemento primordial en un circuito accidental.

No es el objetivo de esta investigación desarrollar cada uno de los criterios, pero se considera conveniente saber por qué son tan importantes y saber de dónde provienen, ya que el calcular tanto el voltaje de paso y el voltaje de contacto no es muy complicado.

Durante condiciones de falla a tierra, el flujo de corriente que entra a tierra puede producir gradientes de tensión dentro y alrededor de la subestación. La siguiente figura muestra este comportamiento en una malla de puesta a tierra rectangular, en un suelo considerado homogéneo. En la figura, las partes equipotenciales son las líneas punteadas. En caso de no tomarse en cuenta las debidas precauciones en el diseño se pueden desarrollar, durante la falla, niveles de tensión que pueden dañar a una persona que

se encuentre cerca del área, además se pueden presentar tensiones de magnitudes bastante considerables entre las estructuras aterrizadas, los gabinetes de los equipos o en el suelo adyacente.

Aunado a un mal diseño en la red de puesta a tierra se encuentran otros factores que marcan la diferencia en cuanto a sufrir severos daños en la salud debido a una descarga eléctrica. Estos son:

- Una corriente de falla a tierra de valor relativamente grande, en relación con el área del sistema puesto a tierra y la resistencia de la tierra remota.
- La resistividad del suelo y la distribución de las corrientes de falla de tal forma que los elevados gradientes de tensión pueden presentarse en puntos muy próximos a la superficie del suelo.
- La presencia de un individuo en un punto, tiempo y posición que sirve de puente entre dos puntos con diferencias de tensión bastante elevadas.
- Falta de suficiente resistencia de contacto u otra resistencia en serie que ayude a limitar la cantidad de corriente a través del cuerpo humano a un valor seguro bajo las circunstancias 1 – 3.
- La duración de la falla y el contacto con el cuerpo humano además del flujo de corriente eléctrica a través de éste durante un periodo de tiempo lo suficientemente grande para causar daños con la intensidad de corriente resultante.

Afortunadamente la poca frecuencia de los accidentes se debe, en parte, a la poca probabilidad que existe en la coincidencia de todas las condiciones desfavorables arriba mencionadas.

6.1.3 Rangos de corriente tolerables por el ser humano.

Los efectos de la corriente eléctrica circulando por las partes vitales del cuerpo humano dependen básicamente de la duración, la magnitud y la frecuencia de esta corriente. El peor resultado se da cuando el corazón entra en un estado denominado *fibrilación ventricular* lo que a su vez trae como consecuencia el cese de la circulación sanguínea.

Los seres humanos somos muy vulnerables a los efectos de la corriente eléctrica en el rango de frecuencias entre los 50 y 60 (Hz); aquí, corrientes de magnitud de 0.1 (A) pueden ser letales, mientras que en el rango de los 3,000 a los 10,000 (Hz) se pueden soportar corrientes de mayor magnitud.

Los efectos fisiológicos del paso de la corriente en el cuerpo humano, establecidos de acuerdo al incremento en la magnitud de la corriente son: percepción umbral, contracción muscular, inconsciencia, fibrilación del corazón, bloqueo del sistema respiratorio y quemaduras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6 - 1

Corriente (mA)	Efecto
1 - 2	Es el umbral de percepción en el cual la persona siente un hormigueo.
2 - 6	Existe contracción muscular pero el individuo puede soltar los objetos energizados ¹
9 - 25	Se presenta dolor y difícil, o incluso imposible soltar los objetos agarrados con la mano ²
25 - 60	Se dificulta la respiración, se considera el valor máximo que puede soportar un corazón sano.
60 - 100	Se produce la fibrilación ventricular o paro respiratorio ³

Si las corrientes de choque se pueden mantener por debajo de este valor por medio de un sistema de puesta a tierra diseñado correctamente se pueden evitar daños físicos o incluso la muerte.

Para ello existe una expresión que nos sirve para establecer la corriente máxima tolerable por el cuerpo humano antes de la fibrilación, resultado de los experimentos del Dr. Charles Dalziel. En esta ecuación se encuentran relacionadas tanto la variable de tiempo como la energía que puede ser absorbida por el cuerpo humano. El cálculo se hace considerando tiempos de exposición entre los 0.03 a 3 segundos.

$$S_B = (I_B)^2 \times t_s \dots\dots (1)$$

Despejando I_B

$$I_B = \sqrt{\frac{S_B}{t_s}} = \frac{k}{t_s} \dots\dots (2)$$

$$k = \sqrt{S_B} \dots\dots (3)$$

Donde

- I_B Valor efectivo (rms) de corriente que circula por el cuerpo humano.
- t_s Tiempo de exposición a la corriente en segundos.
- S_B Constante empírica relacionada con la energía de choque eléctrico tolerada por un determinado porcentaje de una población dada.

Los valores de corriente permisibles se basan en el tiempo de operación de la protección primaria o bien en el de la protección de respaldo, se recomienda utilizar el tiempo de operación de la protección primaria ya que es poco probable que coincidan tanto el mal funcionamiento del relé como las condiciones más desfavorables listadas anteriormente para que ocurra un accidente verdaderamente grave.

Ahora bien durante sus experimentos el Dr. Charles Dalziel encontró el valor de la energía de choque, S_B , que puede ser soportada por el 99.5% de las personas cuyo peso sea de aproximadamente 50 kg.

¹ En el experimento clásico del Doctor Charles Dalziel, con una población de 26 mujeres y 134 hombres, las estadísticas arrojaron como resultado que las corrientes de umbral para el caso de las mujeres fue de 6mA en promedio, mientras que para los hombres este valor se encuentra alrededor de los 9 mA. En cuanto a las corrientes "let-go" o en las que se pueden soltar los objetos, los resultados obtenidos fueron de 10.5 mA y 16 mA respectivamente.

² Los efectos causados por corrientes de esta magnitud no son permanentes y desaparecen cuando la corriente es interrumpida, aunque la contracción es severa el paro en la respiración se da por minutos en lugar de segundos. En algunos casos se responde a la resucitación

³ En estos casos una persona entrenada en dar resucitación cardiopulmonar (RCP) debe de hacerlo al menos hasta que la víctima pueda ser atendida en alguna institución médica

(110 lb), es de 0.0135, por lo tanto $k_{50}=0.116$, de la misma forma para personas cuyo peso sea de 70 kg $S_B = 0.0246$ y $k_{70}=0.157$.

Con esto la corriente máxima tolerable para una persona de 70 (kg) será igual a:

$$I_B = \frac{k_{70}}{\sqrt{t_s}} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (A) \dots\dots (4)$$

Mientras que para una persona de 50 (kg) la expresión anterior queda de la siguiente manera:

$$I_B = \frac{k_{50}}{\sqrt{t_s}} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (A) \dots\dots (5)$$

Ya que la ecuación (2) esta basada en pruebas limitadas en el rango de los 0.03 a los 3 (s) se recomienda no utilizar las ecuaciones (4) y (5) en periodos de tiempo mayor ni menor a los establecidos en dicho rango.

Actualmente se cuenta con dispositivos de re-cierre automático que liberan las fallas en intervalos de aproximadamente 0.33 (s) lo que incrementa la probabilidad de un segundo choque eléctrico en caso de que la falla no haya sido liberada en el transcurso del primer intento.

6.1.4 Resistencia del cuerpo humano.

A lo largo de este trabajo se ha mencionado en varias ocasiones que el cuerpo humano se puede convertir en parte o cerrar de manera accidental un circuito en condiciones de falla, pues bien la forma en la que se representa al cuerpo humano en dicho circuito es con una resistencia y como tal debe tener un valor.

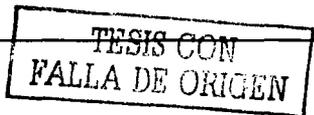
Este valor depende de la trayectoria que siga la corriente a través del cuerpo humano, las más típicas son: de una mano hacia ambos pies, o bien, de un pie hacia otro. El cuerpo humano manifiesta dos diferentes tipos de resistencias: la interna y la que considera la resistencia de la piel. La primera tiene un valor de aproximadamente 300 Ω , mientras que la segunda puede tener valores entre los 500 Ω a los 3,000 Ω de acuerdo con los reportes del Dr. Dalziel. Pero se debe de tomar en cuenta que estos valores de resistencia pueden disminuir debido a daños o pinchaduras en la zona de la piel donde entró en contacto con la corriente de falla.

Las pruebas del Dr. Charles Dalziel para encontrar los valores de las resistencias consistían en mojar las manos y los pies de los voluntarios con agua salada para poder determinar los valores de las corrientes con las que aún es posible soltar objetos energizados. Los valores obtenidos utilizando corrientes de 60 Hz en voluntarios del sexo masculino fueron de 9.0 mA, y para la trayectoria de mano a mano este flujo corriente lo ocasionaba un valor de tensión de 21.0 V mientras que para el caso de una mano hacia un pie este valor era de 10.2 V. Con estos valores es fácil determinar el valor de resistencia del cuerpo humano para ambos casos.

$$\text{Resistencia entre mano y mano: } R_B = \frac{21.0}{0.009} = 2,330 \Omega \dots\dots (6)$$

$$\text{Resistencia de mano a pie: } R_B = \frac{10.2}{0.009} = 1,130 \Omega \dots\dots (7)$$

Basándose en estos resultados se decide tomar como valor representativo de la resistencia del cuerpo humano el valor de 1,000 Ω .



La selección de este valor de resistencia se hace tomando en cuenta las partes vitales que en un momento dado pueden ser afectadas por el paso de la corriente a través del cuerpo, incluyendo el corazón, aunque es sabido que el paso de corriente de un pie hacia el otro es menos peligroso.

Otras pruebas realizadas en Alemania por el Dr. Loucks arrojaron resultados que indican la gran diferencia en la magnitud de las corrientes que son necesarias para producir el mismo valor de corriente en la región del corazón dependiendo de si es de un pie hacia el otro o bien de una mano hacia un pie; esta relación es del orden de 25:1.

Basándose en estas conclusiones es posible hacer uso de valores de resistencia mayores en cuanto se trate de la trayectoria de un pie a otro, tomando en cuenta los siguientes factores:

- a) Una tensión entre los dos pies, dolorosa más no letal, podría originar que la persona cayera ocasionando un mayor flujo de corriente a través del área del pecho. La magnitud del daño causado depende además de la duración de la falla y de la posibilidad de otro choque eléctrico sucesivo, de sí el dispositivo es de re-cierre automático.
- b) Una persona puede estar trabajando o descansando en una posición boca abajo cuando la falla ocurre.

6.1.5 Voltaje de paso y voltaje de contacto tolerables.

En las siguientes figuras se puede observar a una persona y el equivalente en circuito eléctrico cuando se encuentra en contacto directamente con una estructura puesta a tierra o bien caminando dentro o cerca de una subestación y se presenta una falla. Con la ayuda de estas figuras se puede hacer el análisis correspondiente para determinar los voltajes tanto de paso como de contacto.

Cálculo del Sistema y Red de Tierra

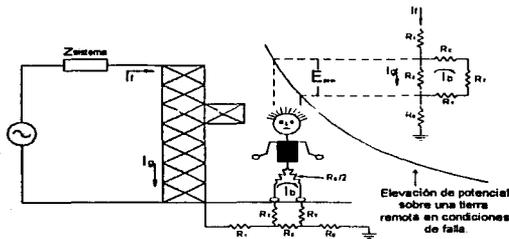


Figura 6-1

Cálculo del Sistema y Red de Tierra

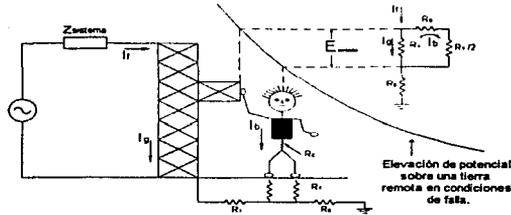


Figura 6-2

En la literatura existente se maneja que el valor de la resistencia de los pies es de tres veces la resistividad del suelo, más sin embargo esto se hace porque es un valor que ayuda en los cálculos, ya que de acuerdo con la IEEE Std 80-2000, que es una revisión de la IEEE Std 80-1986, la resistencia del pie humano puede ser representado como un disco conductor metálico y por lo tanto su resistencia se puede determinar por medio de una ecuación, considerando despreciables la resistencia de zapatos, calcetines y manos.

La resistencia a tierra de este disco metálico de radio \$b\$ (m) sobre la superficie de un suelo homogéneo de resistividad \$\rho\$ (\$\Omega \cdot m\$) esta dada por:

$$R_f = \frac{\rho}{4 \cdot b} \dots\dots(8)$$

\$R_f\$ es la resistencia de un pie ignorando la presencia del sistema de puesta a tierra de la subestación.

Por lo general el disco que se utiliza para representar al pie es una placa circular con un radio de 0.08 (m), de tal manera que al substituir \$R_f\$ con los valores correspondientes obtenidas en los circuitos de voltaje de contacto y de paso se obtienen los siguientes resultados:

$$Z_{Th\text{ contacto}} = \frac{R_f}{2} = \frac{\rho}{4 \cdot b} = \frac{\rho}{4 \cdot (0.08)} = 1.56 \cdot \rho \dots\dots(9)$$

$$Z_{Th\text{ paso}} = 2 \cdot R_f = 2 \cdot \frac{\rho}{4 \cdot b} = 2 \cdot \frac{\rho}{4 \cdot (0.08)} = 6.25 \cdot \rho \dots\dots(10)$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

De aquí estos valores estos valores son considerados en la literatura de la siguiente manera:

$$Z_{Th_{\text{contacto}}} = 1.5 \cdot \rho \dots\dots(11)$$

$$Z_{Th_{\text{paso}}} = 6.0 \cdot \rho \dots\dots(12)$$

Ahora bien con estos valores y los circuitos mostrados podemos obtener el voltaje de contacto y el voltaje de paso, quedando estos de la siguiente manera:

$$V_{\text{contacto}} = V_{Th_{\text{contacto}}} = I_B \left(R_B + \frac{R_f}{2} \right) = I_B (R_B + 1.5 \cdot \rho) \dots\dots(13)$$

$$V_{\rho_{\text{paso}}} = V_{Th_{\text{paso}}} = I_B (R_B + 2 \cdot R_f) = I_B (R_B + 6.0 \cdot \rho) \dots\dots(14)$$

En algunas ocasiones se esparce material sobre el suelo donde se encuentra enterrada la red de puesta a tierra con la finalidad de incrementar la resistencia de contacto entre el suelo y los pies de la persona. Este incremento en la resistencia de contacto se manifiesta tanto en las ecuaciones del voltaje de contacto como en la del voltaje de paso por medio de un término denominado C_s .

El valor que le corresponda a este término depende de la comparación de los valores correspondientes a la resistividad del suelo y del material esparcido sobre éste. Es importante mencionar que el valor de resistividad del material esparcido debe ser mayor a la del suelo, ya que en caso contrario se puede presentar un flujo de corriente mayor hacia la capa superior del suelo donde se encuentra la red de puesta a tierra.

El término C_s se puede calcular de la siguiente manera:

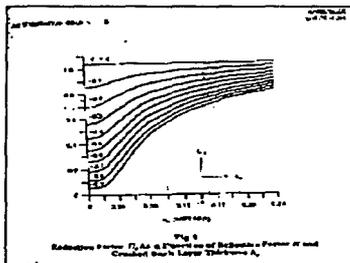
$$C_s = 1 + \frac{16b}{\rho_s} \sum_{n=1}^{\infty} k^n R_{m(2nhs)} \dots\dots(15)$$

$$k = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \dots\dots(16)$$

Donde

- C_s Factor de reducción.
- k Factor de reflexión entre la resistividad de los diferentes materiales.
- ρ_s Resistividad del material superficial en ($\Omega \cdot m$).
- ρ Resistividad de tierra por debajo del material superficial en ($\Omega \cdot m$)
- h_s Espesor del material superficial en metros.
- b Radio del disco metálico. en (m), que representa al pie.
- $R_{m(2nhs)}$ Resistencia mutua que existe entre dos placas coaxiales, similares y paralelas separadas por una distancia ($2nhs$), en un medio infinito de resistencia ρ_s en ($\Omega \cdot m$)

El factor C_s también se puede obtener por medio de la gráfica 6-1, conociendo el valor del factor de reflexión "k" y el espesor del material superficial.



Gráfica 6-1

Una tercera forma de poder conocer el valor de este factor es con la ayuda de la siguiente ecuación empírica:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \dots\dots(17)$$

Ahora bien substituyendo esta última parte, el valor promedio de la resistencia del cuerpo y la corriente tolerable por el cuerpo humano de acuerdo al peso de la persona, las ecuaciones 13 y 14 se modifican para determinar los voltajes tolerables por el cuerpo, resultando en el siguiente grupo de ecuaciones:

$$V_{\text{contacto50}} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \dots\dots(18)$$

$$V_{\text{contacto70}} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \dots\dots(19)$$

$$V_{\text{paso50}} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \dots\dots(20)$$

$$V_{\text{paso70}} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \dots\dots(21)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.2 Cálculo de la red de tierra.

El objetivo de esta tesis es explicar de forma clara la normatividad que rige en la puesta a tierra de los sistemas, más sin embargo la norma oficial mexicana no exige seguir un determinado procedimiento para obtener un diseño adecuado de la red de tierra, es por ello que en esta parte del trabajo se describe el método empleado por el IEEE basado en la *IEEE STD 80-2000 GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING*.

Aunque existen variantes de este método, resultado de las consideraciones hechas durante el diseño, considero importante describir el método en su forma más general ya que la experiencia es a fin de cuentas quien ayuda a tomar decisiones en cuanto a las consideraciones que se deben de hacer.

A través del desarrollo de este método en algunos pasos la descripción será más detallada por los conceptos que éste involucre.

Paso 1: Aquí se requieren datos obtenidos directamente del lugar donde se va a colocar la red de tierra como son la resistividad del terreno que se obtiene por alguno de los métodos descritos en el capítulo VII o bien este dato se conoce por estudios realizados previamente.

En esta etapa del diseño se conoce tanto la disposición geométrica de la subestación y consecuentemente el área de ésta, esta información es importante ya que con ello se puede determinar el área que puede ser ocupada por la red ya que en algunas ocasiones debido a problemas relacionados con las colindancias de terrenos vecinos no es posible realizar las excavaciones en la periferia de la subestación, razón por la que se debe ajustar el área de cobertura de la red en el terreno disponible.

Paso 2: El tamaño del conductor, en la selección del tamaño adecuado de un conductor de la red de tierra, la ampicidad, es un factor importante ya que de ello depende el drenar de una manera adecuada la corriente hacia tierra, por otro lado el incremento de temperatura que se presenta en el conductor de la red de tierra cuando ocurre la falla es muy grande, razón por la cual el material además debe ser resistente a la fusión. Las fórmulas que a continuación se presentan evalúan la ampicidad de cualquier conductor del cual se conozcan las constantes de sus materiales de las que se encuentre construido o que se puedan obtener mediante los cálculos correspondientes.

$$I = A_{mm^2} \cdot \left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \right) \cdot \ln \left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_r} \right) \dots (22)$$

I	Corriente RMS en kA.
A_{mm^2}	Sección transversal del conductor en mm ² .
T_m	Temperatura máxima permisible en °C.
T_a	Temperatura ambiente en °C.
T_r	Temperatura de referencia para las constantes del material en °C.
α_o	Coefficiente térmico de resistividad a 0 °C en (1/°C).
α_r	Coefficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r en (1/°C).
ρ_r	Resistividad del conductor del conductor de puesta a tierra a la temperatura de referencia T_r en ($\mu\Omega$ -cm).
K_o	Es igual a $1/\alpha_o$ o $(1/\alpha_r) - T_r$ en °C.
t_c	Tiempo de duración de la corriente de falla en (s).
$TCAP$	Capacidad térmica por unidad de volumen de la tabla 6-1, en ($J/cm^3 \cdot ^\circ C$).

Aquí tanto α_r como ρ_r se deben seleccionar para un mismo valor de temperatura de referencia, T_r , en la tabla se pueden encontrar valores tanto para α_r como para ρ_r a una temperatura de referencia de 20 °C.

cabe mencionar que esta temperatura no es la temperatura ambiente sino la temperatura del suelo en la cual se encontrará inmersa la red de tierra.

La corriente que se utiliza en el análisis es la corriente de corto circuito en el punto que se considere más crítico y ello dependerá en gran medida del sistema para el cual se esté haciendo el diseño de la red de puesta a tierra.

Matemáticamente la corriente de falla puede dividirse en dos partes, una componente alterna simétrica y una componente de c.d. unidireccional que puede ser de cualquier polaridad en el momento de la falla y decrece de una manera exponencial, más sin embargo para fines de cálculo se considera que no decae, con el tiempo se mantiene en su valor inicial.

Para este estudio se hace uso de un factor denominado factor de decremento, este parámetro determina el valor RMS de la onda de corriente asimétrica en un tiempo de falla t_f , es importante para determinar el efecto de la componente de directa.

El factor de decremento se puede calcular con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_d}{t_f} \left(1 - e^{-\frac{2t_f}{T_d}}\right)} \dots (23)$$

donde

T_d Es la constante de tiempo de la componente de corriente directa en

segundos, $T_d = X/\omega \cdot R$, para 60 Hz $T_d = X/120 \cdot \pi \cdot R$

t_f Tiempo de duración de la falla.

La relación X/R a utilizarse es la relación X/R del sistema en el lugar de la falla obtenidas de acuerdo al tipo de falla indicado.

Además se utiliza un factor que toma en cuenta el futuro crecimiento del sistema eléctrico; este factor se denomina factor de crecimiento C_p .

De tal manera que la corriente RMS a utilizarse en el cálculo del tamaño del conductor resulta afectada por los dos factores anteriormente descritos quedando de la siguiente manera:

$$I_g = D_f \cdot C_p \cdot I_f \dots (24) \quad I=3I_0$$

Una vez hecha la corrección correspondiente en el valor de la corriente se procede a determinar el área del conductor por medio de la siguiente fórmula:

$$A_{mm^2} = I_g \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r}\right) L_n \left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_d}\right)}} \dots (25)$$

Si el tamaño del conductor se encuentra dado en kcmil la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

$$A_{cmil} = I_g \cdot 1973.5 \cdot \left(\frac{I_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{TCAP \cdot Lr \left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_e} \right)} \right) \dots (26)$$

TCAP puede calcularse para materiales que no se encuentren en la tabla 1 conociendo el valor del calor y peso específico del material; estos dos valores, calor específico cal / g.°C (CE) y el peso específico g/cm³ (PE), se encuentran relacionados con la capacidad térmica por unidad de volumen J/cm³.°C de la siguiente manera:

$$TCAP = 4.184 \cdot CE \cdot PE \left(\frac{J}{cm^3 \cdot ^\circ C} \right) \dots (27)$$

Paso 3: Voltajes de paso y de contacto. En este paso se aplican los criterios mencionados en la sección 6-1 para determinar los voltajes máximos tolerables para una persona, ya sea de 50 o 70 kg. de peso. Los valores obtenidos en esta etapa serán de mucha importancia en pasos posteriores cuando se comparen con los valores de voltaje de malla y de paso que resulten del diseño propuesto de la red de tierra.

Paso 4: En este paso se determina el arreglo de los conductores de la malla, que puede ser un arreglo rectangular convencional, un arreglo de la red en forma de "L", un arreglo en forma de triángulo dependiendo de la disponibilidad del área, ya que como se verá más adelante, lo más importante es obtener valores de tensión inferiores a los tolerables. El espacio que se decida dejar entre los conductores del arreglo deberá ser tal, que puedan tener acceso a este arreglo los electrodos de algunos equipos, transformadores por ejemplo.

Los parámetros de diseño que quedan involucrados en este paso son "D", que determina la distancia de separación entre los conductores paralelos, en (m); "n" que es un factor geométrico que a su vez depende de otro grupo de factores, n_a, n_b, n_c y n_d, cuyos valores dependen de la geometría de la red; "L_c", representa la longitud total de los conductores de la red, en (m); "L_r", es la longitud total efectiva de la red de conductores de puesta a tierra, en (m), incluyendo los conductores de la malla y los electrodos, si es el caso que se utilicen; "h", es la profundidad a la que se encuentran enterrados los conductores de la red de tierra.

Paso 5: Evaluación de la resistencia de la red de tierra. La resistencia depende, en primer lugar, del área ocupada por la red de tierra, este dato se conoce, normalmente, en la primera etapa de diseño. Así una primera aproximación a un valor mínimo de resistencia de la red de puesta a tierra en la subestación, sobre un suelo uniforme, se puede obtener aplicando la ecuación de la placa metálica circular, considerando una profundidad igual a cero. Al hacer estas consideraciones resulta lo siguiente:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \left[\frac{\pi}{A} \right] \dots (28)$$

Donde

- R_g Resistencia de tierra de la subestación en Ω.
- ρ Resistividad del suelo en (Ω.m).
- A Área ocupada por la malla de la red de tierra en (m²).

Posteriormente un límite superior de la resistencia de la red de puesta a tierra de la subestación se puede obtener sumando un segundo término a la fórmula anterior.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \left[\frac{\pi}{A} + \frac{\rho}{L_T} \right] \dots (29)$$

Aquí L_T representa la longitud total de los conductores enterrados, en metros, en caso de presentarse una combinación de red – electrodos en un suelo uniforme, L_T será la suma de la longitud de los electrodos puestos a tierra más la de los conductores horizontales.

El segundo término en la ecuación anterior asume que cualquier sistema de puesta a tierra actual que esté formado de un número dado de conductores es más grande que la placa metálica sólida, de tal manera que la diferencia entre ambos sistemas, el supuesto y el propuesto, disminuye con el incremento de la longitud de los conductores enterrados y se aproxima a cero cuando L_T tiende a infinito, es decir, cuando se alcanza la condición de la placa sólida.

Sverak expandió la ecuación anterior para tomar en cuenta el efecto de la profundidad de la red apoyándose en la siguiente ecuación:

$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{j20 \cdot A} \left(1 + \frac{1}{1+h} \frac{20}{A} \right) \right] \dots (30)$$

en esta ecuación h es la profundidad de la red en metros.

Para redes sin electrodos puestos a tierra, la fórmula anterior se ha verificado para obtener resultados prácticamente idénticos a aquellos obtenidos con la ecuación de Schwartz. Él desarrolló el siguiente grupo de ecuaciones para poder determinar la resistencia total de un sistema de puesta a tierra en un suelo homogéneo, que consiste tanto de conductores horizontales (red) como de verticales (electrodos). En estas ecuaciones un conductor horizontal recto representa la resistencia de tierra, R_1 , de una red compuesta de conductores entrecruzados, y una esfera enterrada representa los electrodos de puesta a tierra, R_2 ; aunado a esto, Schwartz introdujo una ecuación para la resistencia mutua, R_m , entre los electrodos de la red de puesta a tierra y de la "cama" de electrodos.

La ecuación que combina la resistencia de la red, electrodos y la resistencia mutua entre ellos para calcular la resistencia total del sistema R_g es la siguiente:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_m} \dots (31)$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

donde

- R_1 Resistencia de tierra de los conductores de la red en ohms (Ω).
- R_2 Resistencia de tierra de todos los electrodos puestos a tierra en ohms (Ω).
- R_m Resistencia mutua entre el grupo de electrodos R_2 y los conductores de la red R_1 en ohms (Ω).

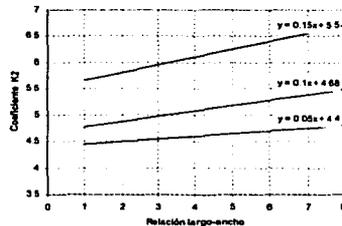
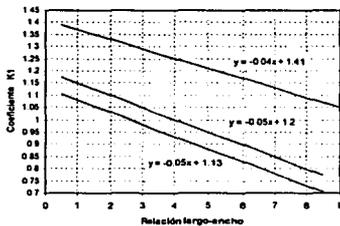
A su vez cada una de las variables descritas anteriormente posee una expresión a través de la cual es posible determinar su valor numérico; así R_1 se puede calcular de la siguiente manera:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L_c} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 \cdot L_c}{a} \right) + \frac{k_1 \cdot L_c}{A} - k_2 \right] \dots (32)$$

donde

- ρ Resistividad del suelo en ($\Omega \cdot m$).
- L_c Longitud total de los conductores de la red conectados (m).
- $2a$ Diámetro del conductor en (m).
- a Es igual a "a" para conductores sobre la superficie de la tierra (m).
- A Área cubierta por los conductores (m^2).

K_1 , K_2 son coeficientes que pueden determinar por medio de las siguientes gráficas o por sus respectivas ecuaciones.



Coeficiente	Profundidad h (m)		
	0	$\frac{1}{10 \cdot \sqrt{A}}$	$\frac{1}{6 \cdot \sqrt{A}}$
K_1	$\gamma_A = -0.04 \cdot X + 1.41$	$\gamma_B = -0.05 \cdot X + 1.20$	$\gamma_C = -0.05 \cdot X + 1.13$
K_2	$\gamma_A = 0.15 \cdot X + 5.50$	$\gamma_B = 0.10 \cdot X + 4.68$	$\gamma_C = -0.05 \cdot X + 4.40$
	A	B	C
	Curva		

La resistencia de los electrodos se puede calcular de la siguiente manera:

$$R_2 = \frac{\rho}{\pi \cdot n_R \cdot L_R} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 \cdot L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2 \cdot k_1 \cdot L_R}{A} (n_R - 1)^2 \right] \dots (33)$$

donde

- L_R Longitud de cada electrodo en (m).
- $2b$ Diámetro del electrodo en (m).
- n_R Número de electrodos colocados en el área A.

La resistencia mutua entre la red y la cama de electrodos se puede obtener con la siguiente expresión:

$$R_m = \frac{\rho}{\pi \cdot L_c} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 \cdot L_c}{L_R} \right) + \frac{K_1 \cdot L_c}{A} - k_2 + 1 \right] \dots (34)$$

De esta manera la resistencia en conjunto de la red más la de los electrodos será menor que la resistencia de cada uno de los componentes por separado, pero es mayor que una combinación en paralelo.

El grupo de ecuaciones antes descritas se recomienda para diseños donde se requieran cálculos muy detallados.

Por último, el valor de resistencia de la red de tierra depende del tipo de subestación a la que se este proponiendo el diseño. Al respecto, la NOM establece en su artículo 921-25, puesta a tierra (subestaciones), los siguientes valores de resistencia de la red.

Resistencia (Ω)	Tensión eléctrica máxima (kV)	Capacidad máxima (kVA)
5	Mayor a 34.5	mayor a 250
10	34.5	mayor a 250
25	34.5	250

Se permite incrementar estos valores hasta el doble en caso de localizarse en terrenos cuya resistividad sea mayor a 3000 (Ω-m).

Paso 6: En este paso se calcula la corriente de malla, que es la corriente que se irá a tierra a través de la red de tierra cuando se presente la falla. Este valor se obtiene en el **paso 1** pero en algunas ocasiones, dependiendo del tipo de subestación, puede ser que cuente con un arreglo de hilos de guarda los que conducen parte de esta corriente de falla hacia otras redes de tierra, razón por la que sólo se debé de considerar la cantidad de corriente que fluirá en la red local.

Paso 7: Si el producto de la corriente de malla, obtenida en el paso previo, por la resistencia de la malla de tierra es menor que el voltaje de contacto tolerable, entonces el diseño queda prácticamente concluido y solo habrá que afinar detalles; en caso contrario se tendrán que hacer modificaciones en el arreglo de la red.

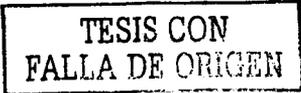
Paso 8: El cálculo tanto de los voltajes de malla como de paso que toman en cuenta factores geométricos de la red, y que posteriormente serán comparados con los voltajes tolerables tanto de paso como de contacto se describen a continuación en su forma simplificada.

Voltaje de malla: Este voltaje de malla se obtiene como producto del factor geométrico, k_m ; un factor de corrección, k_i , por medio del cual se trata de compensar los errores cometidos por las consideraciones hechas al calcular u obtener k_m ; la resistividad del suelo, ρ ; la corriente promedio por unidad de longitud efectivamente enterrada del conductor de la red de tierra del sistema (I_g/L_m).

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_m} \dots (35)$$

El factor geométrico k_m se calcula de la siguiente manera:

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left(\text{Ln} \cdot \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right) + \frac{K_d}{K_h} \text{Ln} \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right) \dots (36)$$



Para mallas con electrodos sobre el perímetro, o para electrodos de puesta a tierra en la esquina de la malla así como en ambos casos:

$$K_w = 1$$

Para mallas que no contengan electrodos de puesta a tierra o bien mallas con unos cuantos electrodos, siempre y cuando no se encuentren localizados en las esquinas o en el perímetro, el factor K_h se puede calcular de la siguiente manera:

$$K_w = \frac{1}{(2 \cdot n)^2} \dots (37)$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \dots (38)$$

h_0 es la profundidad de referencia de la malla y es igual a 1 (m).

El factor de irregularidad, k_i , se puede calcular de la siguiente manera:

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n \dots (39)$$

El número efectivo de conductores paralelos, n , en arreglos de mallas con formas irregulares, que representa el número de conductores equivalentes a una malla rectangular está dado por la siguiente expresión.

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \dots (40)$$

Donde:

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} \dots (41)$$

$$n_b = \frac{L_P}{4 \cdot A} \dots (42)$$

$$n_c = \left(\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right)^{0.7/A} \dots (43)$$

$$n_d = \frac{D_m}{L_x^2 + L_y^2} \dots (44)$$

A su vez:

- L_C Longitud total del conductor en la malla horizontal en (m)
- L_P Longitud periférica de la malla en (m).
- A Área de la malla en (m²).
- L_x Longitud máxima de la malla en la dirección x en (m).
- L_y Longitud máxima de la malla en la dirección y en (m).
- D_m Distancia máxima entre dos puntos cualesquiera sobre la malla en (m).
- D Espacio entre los conductores paralelos en (m).
- d Diámetro del conductor de la malla en (m).
- H Profundidad a la cual se encuentran los conductores de la malla en (m).

En algunos casos los valores de los factores antes mencionados ya están predeterminados, básicamente para facilidad de cálculo. De tal manera tenemos que:

$n_p = 1$ para mallas cuadradas.

$n_c = 1$ para mallas rectangulares y cuadradas.

$n_g = 1$ para mallas cuadradas, rectangulares y en forma de "L"

La longitud efectivamente enterrada, L_m , para mallas sin electrodos, o con unos cuantos colocados dentro de la malla, pero que no se encuentren localizados en las esquinas o sobre el perímetro de la malla es:

$$L_m = L_c + L_R \dots\dots (45)$$

Donde L_R es la longitud total de los electrodos en (m).

Para mallas con electrodos en las esquinas, así como a lo largo del perímetro ni dentro de la malla, L_m es la longitud efectivamente enterrada y se calcula de la siguiente manera:

$$L_m = L_c + \left(1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right) L_R \dots\dots (46)$$

Donde L_r es la longitud de cada electrodo en (m).

Voltaje de paso: Este voltaje se obtiene con el producto del factor geométrico, k_s ; el factor de corrección, k_i ; la resistividad del suelo, ρ y la corriente promedio por unidad de longitud efectivamente enterrada del conductor de la red de tierra del sistema (IG/Ls).

Se asume que el máximo de este voltaje ocurre en una distancia de 1 metro, comenzando y extendiéndose hacia fuera del perímetro del conductor en el ángulo que bisecta la esquina más externa de la malla, de tal forma que para la distancia más común a la cual se entierran los electrodos, $0.25 < h < 2.5$, E_p se calcula de la siguiente manera:

$$E_p = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_s} \dots\dots (47)$$

k_s se calcula de la siguiente manera.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{(1-0.5^{h-2})}{D} \right) \dots\dots (48)$$

Para mallas con o sin electrodos de puesta a tierra, la longitud efectivamente aterrizada L_s es:

$$L_s = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R \dots\dots (49)$$

K_i se calcula de la misma forma como en el voltaje de malla.

Paso 9: Si el voltaje de malla obtenido en los cálculos está por debajo del valor del voltaje de contacto tolerable, el diseño casi está concluido por lo que se podrá pasar al *paso 10*, en caso contrario el diseño debe ser revisado nuevamente (*paso 11*).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Paso 10: Si ambos, tanto el voltaje de malla como el voltaje de contacto son menores que los voltajes tolerables, el diseño sólo necesita los ajustes necesarios para que sea posible conectar los conductores de puesta a tierra de los equipos de la subestación.

Paso 11: Se revisa el diseño preliminar de la red y se le hacen las modificaciones convenientes como pueden ser: aumentar el diámetro del conductor, aumentar el número de conductores, disminuir la distancia de separación entre ellos o enterrar, en caso de ser posible, mayor número de electrodos prefabricados ya sean del tipo varilla o del tipo tubo.

Paso 12: Después de satisfacer los requerimientos de los voltajes de paso y de contacto, es posible que se requieran conductores y electrodos adicionales. Los conductores extras en la malla son necesarios cuando el diseño no incluye conductores cerca de los equipos que requieran ser puestos a tierra; los electrodos adicionales pueden ser necesarios en las bases de los apartarrayos, en los neutros de los transformadores, etc. El diseño final debe también ser revisado para eliminar peligros potenciales debidos a los voltajes de transferencia o posibles peligros en áreas de especial interés.

6.2.1 Materiales

Los materiales que pueden utilizarse para el diseño de la red son varios, a continuación se presentan algunas opciones y observaciones para algunos de estos materiales.

Cobre: Es un material utilizado comúnmente en la puesta a tierra ya que además de su alto nivel de conductividad, tiene la ventaja de ser resistente a la corrosión subterránea, ya que el cobre es catódico con respecto al resto de los materiales que muy probablemente se encuentren enterrados cerca de él.

Acero recubierto de cobre: Normalmente se utiliza para electrodos subterráneos y en las mallas de la red de puesta a tierra especialmente donde el robo es un problema. El uso del cobre o un acero recubierto de cobre en menor grado asegura que la integridad de la red subterránea se mantendrá por años; este periodo puede ser bastante largo siempre y cuando se hayan escogido de un tamaño adecuado y las condiciones del suelo no sean corrosivas en exceso para el material utilizado.

Aluminio: Este material se utiliza con menor frecuencia en mallas, aunque a simple vista el uso del aluminio sería una buena opción para los equipos de las subestaciones en hexafluoruro de azufre que cuentan con gabinetes hechos de aluminio o aleaciones de éste, pero el aluminio puede corroerse por sí mismo en cierto tipo de suelos y la capa de material corroído no presenta la conductividad necesaria para los fines prácticos de la puesta a tierra. Por otro lado, la corrosión gradual ocasionada por la corriente alterna también representa un problema muy serio.

Debido a ello, que el aluminio debe utilizarse únicamente después de haber realizado una investigación que arroje resultados útiles para conocer la probabilidad de que se presente algún tipo de corrosión. No obstante, el aluminio es anódico con respecto a otros metales, incluyendo el acero, esto ocasiona que al ser conectado con otros materiales y entrar en contacto con un algún electrolito, el aluminio se destruirá a sí mismo para proteger al otro metal, razón por la que se recomienda, en caso de utilizar aluminio, emplear conductores de alto nivel de pureza por ser más conveniente que la mayoría de las aleaciones.

Acero: Puede ser utilizado tanto en electrodos como en los conductores de la malla de puesta a tierra, pero debido a la corrosión se recomienda el uso de acero galvanizado o acero resistente a la corrosión en combinación con la protección catódica, que es muy común en este tipo de diseños.

Tabla 6-1. Constantes de Materiales

Descripción	Conductividad del material (%)	Factor α_r a 20 °C (1/°C)	K_0 a 0 °C (°C)	Temperatura de fusión T_m (°C)	ρ_r 20 °C ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	TCAP Capacidad Térmica [$\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$]
Cobre	100.0	0.00393	234	1083	1.72	3.42
Cobre Comercial	97.0	0.00381	242	1084	1.78	3.42
Acero cubierto de cobre (alambre)	40.0	0.00378	245	1084	4.40	3.85
Cable de acero cubierto de cobre	30.0	0.00378	245	1084	5.86	3.85
Electrodo de acero cubierto de cobre	20.0	0.00378	245	1084	8.62	3.85
Aluminio grado EC	61.0	0.00403	228	657	2.86	2.56
Aluminio aleación 5005	53.5	0.00353	263	652	3.22	2.6
Aluminio aleación 6201	52.5	0.00347	268	654	3.28	2.6
Cable de acero cubierto de cobre	20.3	0.00360	258	657	8.48	3.58
Acero 1020	10.8	0.00160	605	1510	15.90	3.28
Electrodo de acero cubierto de acero inoxidable	9.8	0.00160	605	1400	17.50	4.44
Electrodo de acero cubierto con zinc	8.6	0.00320	293	419	20.10	3.93
Acero Inoxidable 304	2.4	0.00130	749	1400	72.00	4.03

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Capítulo 6

Sistemas de Tierra de Acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999

6.2.2 Ejemplos de cálculo de redes de tierra.

A continuación se presentan ejemplos de diseños de redes de tierra, a fin de ilustrar el uso de las ecuaciones utilizadas en la sección 6.2 de este trabajo.

6.2.2.1 Red de tierra con forma rectangular.

Datos de campo.

La subestación que será proyectada, quedará dentro de un cuarto cuyas dimensiones son: 7 (m) de largo x 5 (m) de ancho, por lo que aquí encontramos el primer dato que nos restringe las dimensiones de la red. El arreglo propuesto es: una malla rectangular de 6 (m) de largo por 4 (m) de ancho, restamos hasta un metro porque tenemos los cimientos del cuarto antes mencionado, los cuales es posible estorben al momento de realizar la construcción de la red. El área que cubrirá esta malla es de 24 (m²). La resistividad del suelo en el que se instalará la red es de 10 (Ω.m), ya que es suelo orgánico húmedo, mientras que la resistividad del material superior será de 10,000 (Ω.m).

Tamaño del conductor.

En este caso, el valor de la corriente de falla ya es un dato conocido, es decir:

$$I_f = 32,145 \text{ (A)}$$

El factor de decremento en este caso, para una relación X/R=10 y un tiempo de falla de 0.2 (s), 12 ciclos, es de $D_f = 1.064$ (1).

Considerando que en esta subestación existe la posibilidad de incremento de carga de hasta un 15% tenemos que el factor de crecimiento C_p será igual a 1.15 (1).

Por lo que el valor de corriente de falla asimétrica a utilizarse para la selección del tamaño del conductor de la red de tierra será:

$$I_g = D_f \cdot C_p \cdot I_f$$

$$I_g = 1.064 \cdot 1.15 \cdot 32,145 = 39,332.62 \text{ (A)}$$

Después haciendo uso de la ecuación 25 y de los valores proporcionados por la tabla 6-1, constantes de materiales, de las propiedades del cobre comercial tenemos lo siguiente:

$$A_{mm^2} = I_g \cdot \frac{1}{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot a_f \cdot \rho_r} \right) \ln \left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_g} \right)}$$

El valor de la corriente debe estar en (KA); la temperatura de fusión permisible para este caso la consideramos de 250 (°C), que es aproximadamente la cuarta parte del valor máximo que soporta este tipo de cobre, y una temperatura ambiente de 25 (°C).

$$A_{mm^2} = 39.333 \cdot \frac{1}{\left((0.2) \cdot (0.00381) \cdot (1.78) \right) \ln \left(\frac{242 + 250}{242 + 25} \right)} = 100.18 \text{ (mm}^2\text{)}$$

El conductor cuyo valor de área se aproxima más al valor obtenido en el cálculo es el de 107.20 (mm²), (4/0 AWG).

El diámetro del conductor de 107.20 mm², (4/0 AWG), desnudo es de 1.354x10⁻² (m).

Voltajes de paso y de contacto.

Para conocer los valores permisibles tanto del voltaje de paso como el de contacto, es menester conocer el valor del factor de reducción C_s. En este ejemplo utilizaremos la ecuación 17, que es la tercera forma de obtener éste valor.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s - 0.09}$$

Sustituyendo los valores tanto de la resistividad del suelo en el cual serán enterrados los conductores "ρ", así como la del material superficial "ρ_s" y con un espesor de este último de 0.15 (m), tenemos lo siguiente.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{10}{10,000} \right)}{2(0.15) + 0.09} = 0.77$$

Sabiendo que el tiempo de falla es de 0.2 (s), ahora podemos calcular los voltajes permisibles haciendo uso de las ecuaciones 18 a 21.

$$V_{\text{contacto50}} = \frac{0.116}{t_s} (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s)$$

$$V_{\text{contacto50}} = \frac{0.116}{0.2} (1000 + 1.5 \cdot (0.77) \cdot (1 \cdot 10^4)) = 3,255.26(V)$$

$$V_{\text{contacto70}} = \frac{0.157}{t_s} (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s)$$

$$V_{\text{contacto70}} = \frac{0.157}{0.2} (1000 + 1.5 \cdot (0.77) \cdot (1 \cdot 10^4)) = 4,405.84(V)$$

$$V_{\text{paso50}} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s)$$

$$V_{\text{paso50}} = \frac{0.116}{\sqrt{0.2}} (1000 + 6 \cdot (0.77) \cdot (1 \cdot 10^4)) = 12,242.91(V)$$

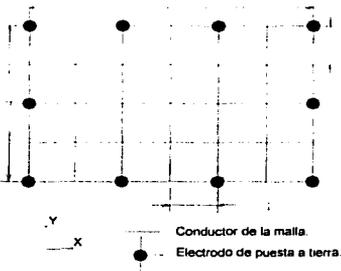
$$V_{\text{paso70}} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s)$$

$$V_{\text{paso70}} = \frac{0.157}{\sqrt{0.2}} (1000 + 6 \cdot (0.77) \cdot (1 \cdot 10^4)) = 16,570.16(V)$$



Arreglo de la red..

En esta parte se propone el arreglo geométrico de la red de tierra así como la cantidad de conductores paralelos, transversales, así como la cantidad de electrodos de puesta a tierra.



Aquí este caso tenemos:

- o Conductores paralelos: 5 de 6 (m) cada uno.
- o Distancia entre conductores paralelos: 1 (m).
- o Conductores transversales: 7 de 4 (m).
- o Distancia entre conductores paralelos: 1 (m).
- o Profundidad a la cual será colocada la red: 0.6 (m).
- o Electrodo de puesta a tierra: 10 piezas de 3 (m) de longitud.

Evaluación de la resistencia de la red de tierra.

Con el área de la red se puede determinar un valor preliminar de su resistencia. Éste sólo sirve para verificar que se encuentre dentro de los límites establecidos para subestaciones. Así haciendo uso de la ecuación 28 encontramos que esta red tendrá un valor de resistencia de:

$$R_g = \rho \frac{\pi}{4} \frac{10}{A} \frac{\pi}{4} \frac{1}{24} = 0.91(\Omega)$$

Más sin embargo, un mejor cálculo de la resistencia de la red se puede llevar a cabo con la ayuda de la ecuación 20, donde $L_T = (7 \cdot 4) + (6 \cdot 5) + (10 \cdot 3) = 88(m)$

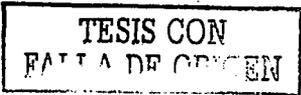
$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot A} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 10 \cdot \left[\frac{1}{88} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot (24)} \left(1 + \frac{1}{1 + (0.6) \sqrt{\frac{20}{24}}} \right) \right] = 0.86(\Omega)$$

Cálculo de los voltajes de malla y de paso.

Estos voltajes toman en cuenta los factores geométricos de la red y posteriormente serán comparados con los voltajes tolerables, tanto de paso como de contacto. El voltaje de malla se calcula con la ayuda de las ecuaciones 35 a 46.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_d}{L_m}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right) + \frac{K_h}{K_h} \text{Ln} \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right) \right)$$



Para mallas con electrodos $K_h = 1$.

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{n_0}}$$

n_0 es la profundidad de referencia de la malla y es igual a 1 (m).

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.6}{1}} = 1.26$$

$D = 1$ (m), espacio entre los conductores paralelos.
 $d = 0.01354$ (m), diámetro del conductor de la malla.
 $L_C = 58$ (m), longitud total del conductor en la malla horizontal.
 $L_P = 20$ (m), longitud periférica de la malla.

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} = \frac{2 \cdot 58}{20} = 5.8$$

$$n_b = \frac{L_P}{4 \cdot A} = \frac{20}{4 \cdot 24} = 1.01$$

$n_c = n_d = 1$ para mallas de forma rectangular.

$n = 5.86$, número efectivo de conductores paralelos.

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\text{Ln} \left(\frac{(1)^2}{16 \cdot (0.6) \cdot (0.01354)} + \frac{((1) + 2 \cdot (0.6))^2}{8 \cdot (1) \cdot (0.01354)} - \frac{0.6}{4 \cdot (0.01354)} \right) + \frac{1}{1.26} \text{Ln} \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot (5.86) - 1)} \right) \right) = 0.41$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot (5.86) = 1.51$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

L_m es la longitud efectivamente enterrada

$$L_m = L_c + \left\{ 1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{L_x^2 + L_y^2} \right) \right\} L_R$$

$L_x = 6$ (m), longitud máxima de la malla en la dirección x.

$L_y = 4$ (m), longitud máxima de la malla en la dirección y.

$L_r = 3$ (m), longitud de cada electrodo en (m).

$L_R = 30$ (m), longitud total de los electrodos (m).

$L_c = 58$ (m), longitud total del conductor en la malla horizontal en (m)

$$L_m = 58 + \left(1.55 + 1.22 \left(\frac{3}{6^2 + 4^2} \right) \right) \cdot 30 = 119.72(m)$$

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_m}$$

$$E_m = \frac{(10) \cdot (0.41) \cdot (1.51) \cdot (39,333)}{119.72} = 2,033.89 (V)$$

Voltaje de paso: Este voltaje se obtiene con el producto del factor geométrico, k_s ; el factor de corrección, k_i ; la resistividad del suelo, ρ y la corriente promedio por unidad de longitud efectivamente enterrada del conductor de la red de tierra del sistema (I_g/L_s). Para calcularlos haremos uso de las ecuaciones 47 a 49.

De tal forma que:

$$E_p = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_s}$$

Donde:

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

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot (0.6)} + \frac{1}{1+0.6} + \frac{(1-0.5^{3.88-2})}{1} \right) = 0.76$$

Para mallas con o sin electrodos de puesta a tierra, la longitud efectivamente aterrizada L_s es:

$$L_s = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R$$

$$L_s = 0.75 \cdot (58) + 0.85 \cdot (30) = 69(m)$$

K_i se calcula de la misma forma como en el voltaje de malla.

Sustituyendo valores tenemos lo siguiente:

$$E_p = \frac{(10) \cdot (0.76) \cdot (1.51) \cdot (39.333)}{69} = 4,553.28 \text{ (V)}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Comparación de los voltajes.

Una vez realizados los cálculos se procede a realizar la comparación entre los voltajes de paso y de contacto mínimos permisibles para una persona de 50 (kg), contra aquellos valores de tensión de la malla, voltaje de malla y de paso.

Es decir:

Voltaje de contacto ($V_{\text{contacto } 50 \text{ kg}}$) Vs Voltaje de malla (E_m).

Voltaje de paso ($V_{\text{paso } 50 \text{ kg}}$) Vs Voltaje de paso (E_p).

En caso de que los primeros sean mayores a los últimos el proceso de diseño de la red, en términos de cálculo, habrá quedado concluido. En caso contrario se procederá a rediseñar la red. Durante este proceso se pueden hacer modificaciones en cuanto al área ocupada por la red, algo que ayuda a disminuir la resistencia de la red; reducir el espacio entre conductores de la red es otra opción para lograr que la condición antes mencionada se cumpla. Utilizar más electrodos de puesta a tierra para así aumentar la longitud de la red es una alternativa más especialmente cuando el área de la red ya no puede ser mayor.

$(V_{\text{contacto } 50 \text{ kg}})$ (V)	E_m (V)	$(V_{\text{contacto } 50 \text{ kg}}) < E_m$
3,255.26	2,033.89	✓

$(V_{\text{paso } 50 \text{ kg}})$ (V)	E_p (V)	$(V_{\text{paso } 50 \text{ kg}}) < E_p$
12,242.91	4,553.28	✓

En ambos casos la condición se cumple, por lo tanto el diseño de la red queda concluido. En campo, el personal se encargará de hacer las conexiones pertinentes para poner a tierra los equipos ubicados dentro de la subestación, transformadores, interruptores etc.

Algunos diseñadores una vez que obtienen el diámetro del conductor, proceden a hacer una estimación de la longitud mínima de la red, esto lo hacen igualando las ecuaciones del voltaje de contacto y el voltaje de malla y se despeja L_m , este puede ser un procedimiento bastante útil.

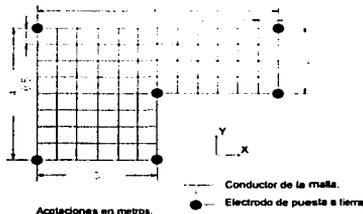
Cabe mencionar que este diseño no cumplió con las condiciones en un primer diseño, se agregaron electrodos, el doble, para que la condición antes mencionada se cumpliera.

Es probable que en un diseño se requiera hacer más de una modificación, por lo que el método prueba-error es indispensable y justificable.

6.2.2.2 Red de tierra en forma de "L".

A continuación se hará el cálculo de una red de tierra, pero, en esta ocasión el arreglo será en forma de "L". Se trata de la misma subestación del ejemplo anterior, esto con la finalidad de utilizar los valores de resistividad, tanto del suelo como del material superficial, las dimensiones disponibles de la subestación, los voltajes de paso y de contacto tolerables y el tamaño del conductor.

El arreglo cambia quedando de la siguiente forma:



Evaluación de la resistencia de la red de tierra.

Ahora se verifica el valor preliminar de resistencia de la red.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} = \frac{10}{4} \sqrt{\frac{\pi}{18}} = 1.04(\Omega)$$

Más sin embargo, un mejor cálculo de la resistencia de la red se puede llevar a cabo con la ayuda de la ecuación 20, donde $L_T = (5 \cdot 6) + (4 \cdot 3) + (7 \cdot 4) + (6 \cdot 2) + (6 \cdot 3) = 100(m)$

$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot A} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 10 \cdot \left[\frac{1}{100} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot (18)} \left(1 + \frac{1}{1 + (0.6) \sqrt{\frac{20}{18}}} \right) \right] = 0.95(\Omega)$$

Cálculo de los voltajes de malla y de paso.

El voltaje de malla se calcula igual que como en el caso de mallas rectangulares y cuadradas.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_m}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right) + \frac{K_h}{K_h} \text{Ln} \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right) \right)$$

Para mallas con electrodos $K_h = 1$.

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

h_0 es la profundidad de referencia de la malla y es igual a 1 (m).

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.6}{1}} = 1.26$$

D = 0.5 (m), espacio entre los conductores paralelos.
 d = 0.01354 (m), diámetro del conductor de la malla.
 $L_c = 82$ (m), longitud total del conductor en la malla horizontal.
 $L_p = 20$ (m), longitud periférica de la malla.
 $L_x = 6$ (m), longitud máxima de la malla en la dirección x.
 $L_y = 4$ (m), longitud máxima de la malla en la dirección y.

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p} = \frac{2 \cdot 82}{20} = 8.20$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot A}} = \sqrt{\frac{20}{4 \cdot 18}} = 1.09$$

$$n_c = \left(\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right)^{\frac{0.7A}{L_x L_y}} = \left(\frac{6 \cdot 4}{18} \right)^{\frac{0.7 \cdot 18}{(6)(4)}} = 1.16$$

$n_d = 1$ para mallas cuadradas, rectangulares y en forma de "L"

Por lo que el número efectivo de conductores paralelos $n = 10.35$.

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(L_n \left(\frac{(0.5)^2}{16 \cdot (0.6) \cdot (0.01354)} + \frac{((0.5) + 2 \cdot (0.6))^2}{8 \cdot (0.5) \cdot (0.01354)} - \frac{0.6}{4 \cdot (0.01354)} \right) + \frac{1}{1.26} L_n \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot (10.35) - 1)} \right) \right) = 0.35$$

$$K_f = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$$K_f = 0.644 + 0.148 \cdot (10.35) = 2.18$$

L_m es la longitud efectivamente enterrada

$$L_m = L_c + \left(1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right) L_R$$

$L_r = 3$ (m), longitud de cada electrodo en (m).

$L_R = 18$ (m), longitud total de los electrodos (m).

$L_c = 82$ (m), longitud total del conductor en la malla horizontal en (m)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

$$L_m = 82 + \left(1.55 + 1.22 \left(\frac{3}{6^2 + 4^2} \right) \right) \cdot 18 = 119.04(m)$$

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_I \cdot I_g}{L_m}$$

$$E_m = \frac{(10) \cdot (0.35) \cdot (2.18) \cdot (39,333)}{119.04} = 2,484.87 (V)$$

Voltaje de paso:

$$E_p = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_I \cdot I_g}{L_s}$$

Donde:

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

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot (0.6)} + \frac{1}{0.5 + 0.6} + \frac{(1-0.5^{10.35-2})}{0.5} \right) = 1.19$$

Para mallas con o sin electrodos de puesta a tierra, la longitud efectivamente aterrizada L_s es:

$$L_s = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R$$

$$L_s = 0.75 \cdot (82) + 0.85 \cdot (18) = 76.8(m)$$

K_I se calcula de la misma forma como en el voltaje de malla.

Sustituyendo valores tenemos lo siguiente:

$$E_p = \frac{(10) \cdot (1.19) \cdot (2.18) \cdot (39,333)}{76.8} = 13,286.15(V)$$

Comparación de los voltajes.

$(V_{\text{contacto } 50 \text{ kg}})$ (V)	E_m (V)	$(V_{\text{contacto } 50 \text{ kg}}) < E_m$
3,255.26	2,484.87	✓

$(V_{\text{peso } 50 \text{ kg}})$ (V)	E_p (V)	$(V_{\text{peso } 50 \text{ kg}}) < E_p$
12,242.91	13,286.15	✗

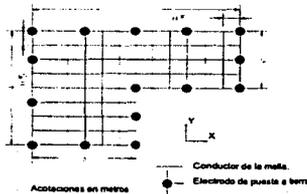
La condición no se cumple por lo que hay que modificar el diseño de la red.

Como se mencionó antes, podemos modificar diferentes parámetros del diseño de la red pero, en este caso, sólo haremos modificaciones en cuanto a la cantidad de electrodos enterrados; de 6 piezas propuestas ahora utilizaremos 15. Esto implica un aumento considerable en la longitud total de los electrodos "L_R".

Se pudo haber modificado el espacio entre conductores, aumentar el calibre, pero el factor de mayor importancia, al menos en términos numéricos, es la longitud "L_R", puesto que aparece involucrado en dos denominadores, tanto de E_m como de E_s, y a su vez en los procesos previos a su cálculo está ponderado de una manera muy determinante, a tal grado que esta longitud puede disminuirse o incrementarse respectivamente desde 85%, en el caso de "L_s", hasta más de 155%, en el caso de "L_m".

Esta modificación no ocasiona cambios en otros factores, los cuales en mayor medida dependen de factores geométricos de la red, como son: profundidad de ésta, espacio entre conductores paralelos, diámetro del conductor utilizado, longitudes máximas en el eje X así como en el eje Y, longitud periférica de la red, etc.

La nueva propuesta es de la siguiente manera:



Evaluación de la resistencia de la red de tierra.

$$L_T = (5 \cdot 6) + (4 \cdot 3) + (7 \cdot 4) + (6 \cdot 2) + (15 \cdot 3) = 127(m)$$

$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{20 \cdot A} \left(1 + \frac{1}{1+h} \cdot \frac{20}{A} \right) \right] = 10 \cdot \left[\frac{1}{127} + \frac{1}{20 \cdot (18)} \left(1 + \frac{1}{1+(0.6)} \cdot \frac{20}{18} \right) \right] = 0.93(\Omega)$$

Cálculo de los voltajes de malla y de paso.

Voltaje de malla.

Dado que los factores n_a, n_b, n_c y n_d dependen de factores geométricos y sólo en algunos casos de la longitud total de los conductores horizontales, este valor no sufre cambio alguno, es decir, n = 10.35.

Así mismo "Km" permanece sin cambios y es igual a 0.35.

$$\text{Por su parte } K_1 = 0.644 + 0.148 \cdot (10.35) = 2.18$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Capítulo 6

Sistemas de Tierra de Acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999

$$L_m = L_c + \left(1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{L_x^2 + L_y^2} \right) \right) L_R$$

$L_r = 3$ (m), longitud de cada electrodo en (m).

$L_R = 45$ (m), longitud total de los electrodos (m).

$L_c = 82$ (m), longitud total del conductor en la malla horizontal en (m)

$$L_m = 82 + \left(1.55 + 1.22 \left(\frac{3}{\sqrt{6^2 + 4^2}} \right) \right) \cdot 45 = 174.59(m)$$

Por lo que el voltaje de malla es:

$$E_m = \frac{(10) \cdot (0.35) \cdot (2.18) \cdot (39,333)}{174.59} = 1,694.19 (V)$$

Voltaje de paso.

En esta parte el factor "Ks" no cambia por lo que su valor es: 1.19.

Mientras que:

$$L_s = 0.75 \cdot L_c + 0.85 \cdot L_R$$

$$L_s = 0.75 \cdot (82) + 0.85 \cdot (45) = 99.75(m)$$

Ki es el mismo valor que el utilizado en Em: Ki = 2.18.

Por lo que el voltaje de paso tiene el siguiente valor:

$$E_p = \frac{(10) \cdot (1.19) \cdot (2.18) \cdot (39,333)}{99.75} = 10,205.86(V)$$

Comparación de los voltajes.

$(V_{\text{contacto } 50 \text{ kg}})$ (V)	E_m (V)	$(V_{\text{contacto } 50 \text{ kg}}) < E_m$
3,255.26	1,694.19	✓

$(V_{\text{peso } 50 \text{ kg}})$ (V)	E_p (V)	$(V_{\text{peso } 50 \text{ kg}}) < E_p$
12,242.91	10,205.86	✓

La condición se cumple, con lo que se obtiene una red de puesta a tierra segura y el proceso de diseño queda concluido.

6.3 Cálculo de conductores de puesta a tierra.

En la sección previa se describió el método para el cálculo de la red de puesta a tierra, esto es la disposición geométrica y el diámetro de los conductores a ser utilizados, ahora en esta sección se determinará el diámetro de los conductores que conectan a los equipos y a los sistemas con la red de puesta a tierra.

Para ello se considera indispensable conocer los términos que utiliza la NOM para referirse a cada uno de ellos.

Conductor puesto a tierra: Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

Conductor de puesta a tierra de los equipos: Conductor utilizado para conectar las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otros envolventes al conductor del sistema puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra o ambos, en los equipos de acometida o en el punto de origen de un sistema derivado separado.

Conductor puesto a tierra: Conductor de un sistema o circuito intencionalmente puesto a tierra.

Conductor del electrodo de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar el electrodo de puesta a tierra al conductor de puesta a tierra del equipo, al conductor puesto a tierra o a ambos, del circuito en el equipo de acometida o en la fuente del sistema derivado separado.

Puesta a tierra: Conectado al terreno natural o a algún cuerpo conductor que pueda actuar como tal.

Puesto a tierra eficazmente: Conductor al terreno natural intencionalmente a través de una conexión o conexiones a tierra que tengan una impedancia suficientemente baja y capacidad de conducción de corriente, que prevengan la formación de tensiones eléctricas peligrosas a las personas o a los equipos conectados.

Conductor de electrodo de puesta a tierra - Sistema aterrizado

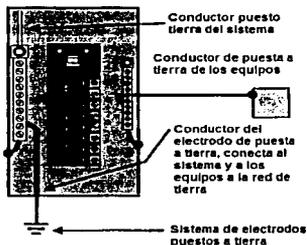


Figura 6-3

6.3.1 Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra para c.c.

En los siguientes incisos se fijan los tamaños nominales de los conductores del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.c.

- a) **No debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro.** Cuando un sistema eléctrico de c.c. consista en un circuito balanceado de tres conductores o un devanado de equilibrio con protección contra sobrecorriente, como se establece en 445-4(d), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro.
- b) **No debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor más grande.** En instalaciones de c.c. distintas a las del anterior inciso (a), el conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor de mayor tamaño nominal del suministro de energía.
- c) **No debe ser inferior a 8,367 mm² (8 AWG).** En ningún caso el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser inferior a 8,367 mm² (8 AWG) de cobre o de 13,3 mm² (6 AWG) de aluminio.

Excepciones a los anteriores (a) a (c):

- a. *Cuando esté conectado a electrodos fabricados como se indica en 250-83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm² (6 AWG) de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de aluminio.*
- b. *Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250-81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm² (6 AWG) de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de aluminio.*
- c. *Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250-81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.*

6.3.2 Tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra en instalaciones de c.a.

El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra de una instalación de c.a. puesta o no puesta a tierra, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-94.

Excepto:

- a. *Cuando esté conectado a electrodos fabricados como se indica en la sección 250-83(c) o (d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituya la única conexión con dicho electrodo, sea superior a 13,3 mm² (6 AWG) de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de aluminio.*
- b. *Cuando esté conectado a un electrodo empotrado en concreto, como se indica en 250-81(c), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea superior a 13,3 mm² (6 AWG) de cobre o 21,15 mm² (4 AWG) de aluminio.*
- c. *Cuando esté conectado a un anillo de tierra como se indica en 250-81(d), no es necesario que la parte del conductor del electrodo de puesta a tierra que constituye la única conexión con dicho electrodo sea de mayor tamaño nominal que el conductor utilizado en el anillo de tierra.*

Ejemplo: Se cuenta con unos conductores de acometida los cuales se han seleccionado para llevar la máxima corriente del neutro ocasionada por el desbalanceo, estos conductores son de 177.3 mm² (350 kcmil), ya que no existe ningún dispositivo de protección contra sobrecorriente antes de la acometida se debe hacer uso de la tabla 250-94, por lo que se encuentra que el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser de al menos 33.62 mm² (2 AWG) o bien en caso que se haga uso de conductores de aluminio de 253.4 mm² (kcmil) el conductor del electrodo de puesta a tierra deberá tener un diámetro de al menos 53.48 mm² (1/0 AWG).

Se debe poner especial cuidado al hacer uso de conductores de aluminio ya que se recomienda que no entren en contacto con materiales corrosivos, tales como los materiales empleados en la construcción, en caso de hacer uso de éstos se deben de proteger contra posibles daños físicos.

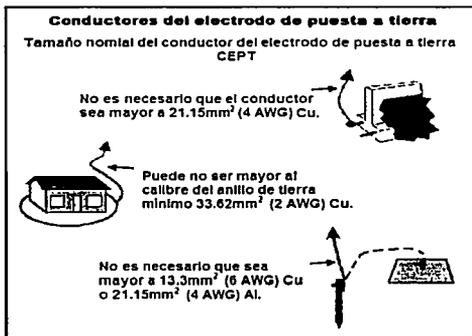


Figura 6-4

Tabla 250- 94. Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm ² (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor al electrodo de tierra mm ² (AWG o kcmil)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33,62 (2) o menor	53,48 (1/0) o menor	8,367 (8)	13,3 (6)
42,41 o 53,48 (1 o 1/0)	67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	13,3 (6)	21,15 (4)
67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21,15 (4)	33,62 (2)
Más de 85,01 a 177,3 (3/0 a 350)	Más de 126,7 a 253,4 (250 a 500)	33,62 (2)	53,48 (1/0)
Más de 177,3 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253,4 a 456,04 (500 a 900)	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456,04 a 886,74 (900 a 1750)	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 886,74 (1750)	85,01 (3/0)	126,7 (250)

Cuando en la acometida se instalan varios conductores en paralelo por fase, el área de la sección transversal de cada uno de ellos se sumará y se tomará en cuenta como un único conductor por fase con la finalidad de poder dimensionar adecuadamente el tamaño del conductor del electrodo de puesta a tierra.

Ejemplo: Se cuenta con una acometida que tiene tres conductores por fase de 253.4 mm² (500 kcmil), éstos se deben considerar como un conductor cuya sección transversal equivalente es de: 760.2 mm² (1500 kcmil) valor que no aparece en la tabla 250-94. A este respecto se deben seguir las indicaciones establecidas en 250-23(b), conductores de fase de acometidas de más de 1100 kcmils (cobre) o 1750 kcmils (aluminio); el tamaño nominal del conductor puesto a tierra no debe ser inferior al 12,5% del tamaño nominal mayor de los conductores de fase de las acometidas.

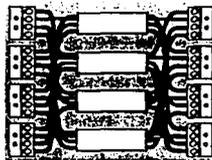
Por lo que: $1500 \text{ kcmil} \cdot 0.125 = 187.5 \text{ kcmil}$. Esto es aproximadamente 99.0088 mm^2 , con base en $1 \text{ cmil} = 11973.5 \text{ mm}^2$, a este valor le corresponde, de acuerdo con la tabla 250-94, un conductor de electrodo de puesta a tierra de 33.62 mm^2 (2 AWG) Cu. El cálculo es similar en caso de que se tengan conductores de aluminio en la acometida.

6.3.3 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo.

El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-95.

Cuando haya conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables, como se permite en 310-4, el conductor de puesta a tierra de equipo, cuando exista, debe estar instalado en paralelo. Cada uno de éstos, instalado en paralelo, debe tener un tamaño nominal seleccionado sobre la base de la corriente eléctrica nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente que proteja los conductores del circuito en la canalización o cable, según la Tabla 250-95.

Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo



Suponiendo que la corriente eléctrica nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente sea de 800 [A], el conductor de puesta a tierra de equipo será de:

CU	AL
mm ² (AWG)	mm ² (AWG)
53.48 (1/0)	85.01 (3/0)

Figura 6-5

Ejemplo: Se cuenta con un alimentador que da servicio a un subpanel desde un tablero general. El dispositivo de protección contra sobrecorriente es de 600 amperes y cuenta con tres conductores por fase de 85.01 mm^2 (3/0 AWG), los cuales se encuentran instalados en tres canalizaciones diferentes de tubería tipo conduit. Los tableros se encuentran dentro del mismo cuarto de tableros por lo que la caída de tensión no modifica el calibre de los conductores. De acuerdo con la tabla 250-95 se requiere hacer uso de un conductor de 42.41 mm^2 (1 AWG) pero comercialmente este conductor no se encuentra disponible por lo que se tendrá que hacer uso de un conductor de 53.48 mm^2 (1/0 AWG). De acuerdo a lo establecido en la norma se debe instalar un conductor del diámetro indicado en cada tubería, como se puede observar en la ilustración.

Cuando se usen varios grupos de conductores de entrada a la acometida, la Sección 230-40 Excepción 2 permite, "Cuando se agrupen en un local de dos a seis medios de desconexión de acometida, en envolventes separados que alimenten cargas separadas desde una acometida aérea o subterránea, se permite que un conjunto de conductores de entrada de acometida alimente a cada una de las envolventes que haya en la acometida", la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida se debe calcular por la mayor suma de las secciones transversales de los conductores de cada grupo.

Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo

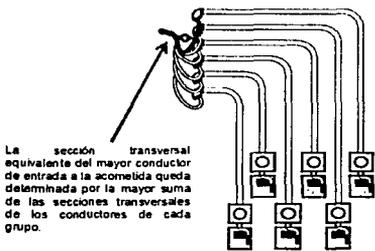


Figura 6-6

Cuando no haya conductores de entrada a la acometida, la sección transversal del conductor al electrodo de puesta a tierra se debe calcular por la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida de acuerdo con la corriente eléctrica de carga calculada. Las restricciones de instalación se encuentran en 250-92(a).

NOTA: Para el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de una instalación de c.a. conectado con el equipo de la acometida, véase 250-23(b).

Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo

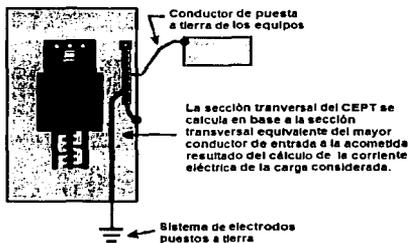


Figura 6-7

Cuando el tamaño nominal de los conductores se ajuste para compensar caídas de tensión eléctrica, los conductores de puesta a tierra de equipo, cuando deban instalarse, se deberán ajustar proporcionalmente según el área en mm^2 de su sección transversal.

Por ejemplo, se tiene que alimentar un subpanel que se encuentra conectado a un tablero general con una carga continua calculada en 68 kW, por lo que se tiene que utilizar un dispositivo de protección contra sobrecorriente de 200 (A), ahora de acuerdo con la tabla 310-16 el conductor que tiene la capacidad de conducir esa magnitud de corriente a 75 °C es un conductor de 85.01 mm^2 (3/0 AWG), pero aumenta su calibre a uno de 107.2 mm^2 (4/0 AWG) para compensar la caída de tensión.

Basándonos en la tabla 250-95 tenemos que el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra para este equipo es de 13.3 mm^2 (6 AWG), más sin embargo debido a la caída de tensión, este diámetro se debe ajustar de manera proporcional, de tal forma que el conductor de puesta a tierra de los equipos será determinado de la siguiente manera:

$$\frac{107.2 \text{ mm}^2}{85.01 \text{ mm}^2} = 1.261$$

Con lo anterior ahora podemos seleccionar el conductor de puesta a tierra de equipo, multiplicando 13.3 mm^2 (6 AWG) por el factor arriba obtenido. Esta operación da como resultado 16.77 mm^2 , este valor no corresponde a un conductor comercial por lo que seleccionamos el valor inmediato superior que es de: 21.15 mm^2 (4 AWG).

Cabe mencionar que no se puede considerar como regla de dedo utilizar el calibre inmediato superior para ajustar el calibre del conductor de puesta a tierra de equipo debido a la caída de tensión, porque en algunas ocasiones el factor puede ser mayor al 50%, en estos casos que tendremos que recorreremos de dos o hasta tres posiciones en la selección del calibre del conductor de puesta a tierra de equipo visto en la tabla 250-95.

Cuando sólo haya un conductor de puesta a tierra de equipo con varios circuitos en el mismo tubo (*conduit*) o cable, su tamaño nominal debe seleccionarse de acuerdo con el dispositivo de sobrecorriente de mayor corriente eléctrica nominal de protección de los conductores en el mismo tubo (*conduit*) o cable.

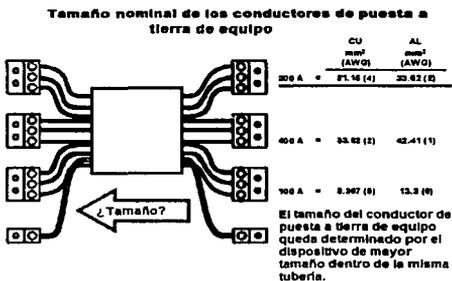


Figura 6-8

Si el dispositivo de sobrecorriente consiste en un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector de motor contra cortocircuitos, como se permite en el artículo 430-52, el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de equipo se puede seleccionar de acuerdo con la capacidad nominal del dispositivo de protección del motor contra sobrecorriente, pero no debe ser inferior a lo especificado en la tabla 250-95.

Excepción 1: Un conductor de puesta a tierra de equipo no inferior a 0,8235 mm² (18 AWG) de cobre y no menor al tamaño nominal de los conductores del circuito y que forme parte de cables de aparatos eléctricos, según se establece en 240-4.

Excepción 2: No es necesario que el conductor de puesta a tierra de equipo sea de mayor tamaño nominal que el de los conductores de los alimentadores de equipo.

Excepción 3: Cuando se use como conductor de puesta a tierra de equipo un tubo (conduit) o armadura o blindaje de cable, como se establece en 250-51, 250-57(a) y 250-91(b).

Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipos, tabla 250-95.

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
15	2,082 (14)	—
20	3,307 (12)	—
30	5,26 (10)	—
40	5,26 (10)	—
60	5,26 (10)	—
100	8,367 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,15 (4)
300	21,15 (4)	33,62 (2)
400	33,62 (2)	42,41 (1)
500	33,62 (2)	53,48 (1/0)
600	42,41 (1)	67,43 (2/0)
800	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
1000	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
1200	85,01 (3/0)	126,7 (250)
1600	107,2 (4/0)	177,3 (350)
2000	126,7 (250)	202,7 (400)
2500	177,3 (350)	304 (600)
3000	202,7 (400)	304 (600)
4000	253,4 (500)	405,37 (800)
5000	354,7 (700)	608 (1200)
6000	405,37 (800)	608 (1200)

Nota: Para cumplir lo establecido en 250-51, los conductores de tierra de los equipos podrían ser de mayor tamaño que lo especificado en esta tabla.

CAPÍTULO 7

Medición de la resistencia

7.1 Objetivos de las Pruebas

Sin duda alguna el contar con un sistema de tierra, dependiendo de las necesidades del sistema eléctrico, es útil, pero lo es más aún cuando el primero se encuentra funcionando en condiciones óptimas, si no iguales al momento en que fue diseñado, si manteniendo sus características principales como son continuidad y un valor de resistencia adecuado.

Por ello, a la red de tierra se le deben de realizar pruebas, algunas de ellas pueden y tienen que realizarse cuando se concluye su construcción, y consisten básicamente en verificar y comparar el valor real con el valor teórico. Tiempo después, dependiendo del plan de mantenimiento de la red, se realizan pruebas para verificar la continuidad y valor de resistencia de la red. Al llevarla a cabo se verifica también el estado físico de las conexiones en los electrodos que por lo general se encuentran alojados en registros.

El realizar las pruebas es un elemento útil para detectar cambios en el valor de resistencia de un sistema de tierra ya existente; debido principalmente, a la presencia de otros elementos metálicos enterrados posteriormente. Cabe recordar que en el capítulo anterior se mencionó que no basta con tener una red de tierra con una impedancia de bajo valor sino un arreglo tal que no se produzcan, al momento en que ocurra la falla, voltajes cuya magnitud represente un peligro para las personas que se encuentren cerca o sobre el sistema de tierra.

A continuación se describen algunas de las pruebas que se realizan a la red y al sistema en general.

7.2 Medición de la resistencia de la red de tierra.

Una vez que la red de tierra ha sido construida se le hace una prueba para determinar si el valor obtenido con el arreglo de la red no difiere mucho del valor teórico, dado que esta variación en algunas ocasiones se debe a objetos enterrados cerca de la red. La modificación en el valor puede no ser de gran importancia siempre y cuando el valor de resistencia de la red no aumente, ni tampoco los potenciales de paso y de contacto se incrementen de manera drástica.

Otra razón que modifica el valor de resistencia de la red de tierra y por ende no sea muy próxima al valor teórico, es que no exista una correcta conexión de todas las partes que conforman la red y que fueron consideradas al momento de realizar los cálculos. Esta inspección se realiza directamente en campo y sin la ayuda de algún instrumento de medición en particular.

Existen diferentes métodos para determinar el valor de resistencia de la red, más sin embargo, el mejor método es aquel en el cual se usan grandes, pero prácticos, valores de corriente, en los cuales se utilicen pocos elementos para detectar la caída de voltaje causada por esta corriente. Se puede hacer uso de un voltímetro de lectura directa siempre y cuando la sensibilidad sea la adecuada.

Una prueba práctica para medir la resistencia de la red de tierra se puede realizar haciendo pasar una corriente de aproximadamente 5 (A) entre dos puntos de la red. La caída de potencial entre estos dos puntos es medida con un mili-voltímetro y de esta manera la resistencia efectiva es calculada con los valores de corriente y voltaje obtenidos; con estos resultados se puede determinar el estado de la red. En aquellos sistemas donde existan voltajes directos, no alternos entre dos puntos el cambio en este voltaje ocasionado por la corriente de prueba, es el valor utilizado para calcular la resistencia.

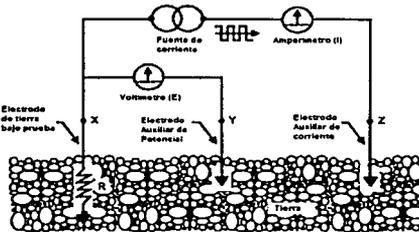


Figura 7-1

El método amperímetro-voltímetro, utilizando corriente alterna, no puede ser utilizado de manera satisfactoria para esta prueba, ya que la reactancia de conductores largos de cobre, en este caso, es afectada por la tierra circundante lo que tendría como consecuencia resultados indeterminados si se llegara a utilizar corriente alterna.

Existe un método que es una variante del método de la caída de potencial denominado *el método del 62%*, el cual recibe su nombre por el hecho de arrojar mejores resultados cuando la distancia entre dos de los tres electrodos utilizados es de aproximadamente del 62% de la mayor distancia de la red.

Este método ha sido aceptado después de haber hecho varias consideraciones gráficas y pruebas en campo. Esta prueba es considerado como el método mas preciso, pero está limitado por el hecho que la tierra bajo prueba es catalogada como homogénea.

La prueba da mejores resultados cuando los 3 electrodos se encuentran en línea recta y el sistema de tierra es un electrodo, tubería o placa, etc., como se muestra en la figura.7-2.

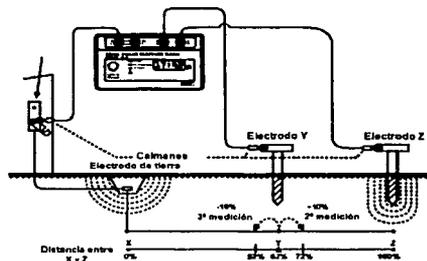


Figura 7-2

Ahora bien, para describir el método nos basamos en la figura.7-3, donde se muestran las áreas de resistencia efectiva (líneas concéntricas) del electrodo de tierra "X" y del electrodo auxiliar de corriente "Z". Las áreas de resistencia efectiva se traslapan, si las lecturas fueran tomadas moviendo el electrodo auxiliar de potencial "Y", moviéndolo hacia "X" o "Z", la diferencia entre las lecturas hechas sería grande lo que implicaría que estas no se obtuvieran dentro de un rango razonable de tolerancia. Aquí las áreas sensibles se traslapan, lo que ocasiona que la resistencia se incremente conforme el electrodo "Y" es alejado del electrodo "X".

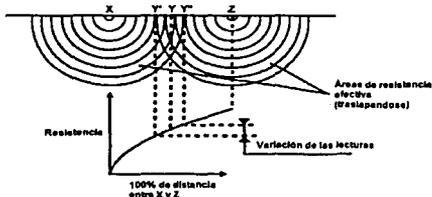


Figura 7-3

Los electrodos "X", "Y" y "Z" se indicaran como "x", "p" y "c" en un probador de 3 puntas o C1, P2 y C2 en un probador de 4 puntas.

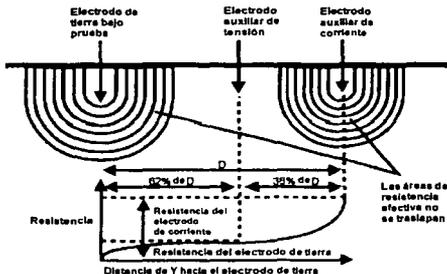


Figura 7-4

Ahora consideremos la figura. 7-4 donde los electrodos "X" y "Z" se encuentran lo suficientemente separados de tal forma que las áreas de resistencia efectiva no se traslapan. Si graficamos las lecturas de las resistencias obtenidas encontraremos que éstas son muy parecidas cuando el electrodo "Y" es colocado al 62% de la distancia entre el electrodo "X" y "Z", además, las lecturas hacia ambos lados del punto antes mencionado tienen mayor probabilidad de encontrarse en un rango tolerable. Este rango de es determinado por el usuario y expresado como un porcentaje de la lectura inicial: $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, etc.

No existe un valor estándar al cual se deba colocar el electrodo "X" del electrodo "Z", ya que la distancia es relativa al diámetro del electrodo en prueba, su longitud, la homogeneidad del suelo y de manera muy particular el área de resistencia efectiva, pero se puede tener una aproximación con la ayuda de la tabla 7-1 la cual se trabaja en un suelo homogéneo y con un electrodo de una pulgada de ancho; para un diámetro de $\frac{1}{2}$ la distancia se debe reducir en un 10%, para un diámetro de 2" se debe incrementar la resistencia en un 10%.

El método de un electrodo constituye un método simple y económico de construcción de un sistema de tierra, pero en algunas ocasiones un solo electrodo no ofrece una resistencia lo suficientemente baja por lo que es conveniente enterrar varios electrodos y conectarlos en paralelo por medio de un puente de unión.

Frecuentemente cuando se van a utilizar dos, tres o cuatro electrodos se entierran en línea recta perpendicular al suelo; cuando cuatro o más se utilizan se hace con un arreglo en forma de cuadrícula y los electrodos también se conectan en paralelo y se procura que queden igualmente espaciados entre ellos. Figura.7-5

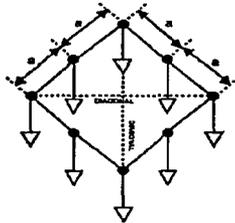


Figura 7-5

Es aquí, en los sistemas con múltiples electrodos, donde el método del 62% no puede ser aplicado directamente ya que ahora la distancia de los electrodos auxiliares se basa en la distancia máxima de la red. Por ejemplo, en una malla cuadrada será la diagonal la distancia a ser utilizada, en un arreglo en línea, la longitud total.

Distancia Máxima de la Red (m)	Distancia al electrodo Y (m)	Distancia al electrodo Z (m)
3.0	30.5	48.8
3.7	32.0	51.8
4.3	36.0	57.9
4.9	37.8	61.0
5.5	39.6	64.0
6.1	41.5	67.1
9.1	49.1	79.2
12.2	56.7	91.4
15.2	64.3	103.6
18.3	70.1	112.8
24.4	83.2	134.1
30.5	94.5	152.4
36.6	103.9	167.6
42.7	113.4	182.9
48.8	118.9	192.0
54.9	132.3	213.4
61.0	138.1	222.5

Tabla 7-1

Así de este método podemos resumir que será efectivo cuando:

1. Se realicen las mediciones en un suelo bastante uniforme.
2. Halla distancias grandes entre los electrodos de tal forma que se pueda asimilar que son hemisféricos.

7.3 Medición de la resistencia del sistema

Esta prueba se realiza al sistema después de un determinado periodo de tiempo establecido en el plan de mantenimiento preventivo de éste. Este lapso de tiempo varía dependiendo de la importancia del equipo y de las instalaciones que esté protegiendo. Como mínimo puede realizarse cada año, ya que después de este tiempo, el valor de resistencia disminuye debido al proceso de compactación que sufre la tierra y en el cual se eliminan de manera natural, debido principalmente a la humedad, los huecos que incrementan el valor de la resistencia.

Cuando se estén realizando las pruebas en el sistema es necesario advertir a las personas involucradas en las mediciones acerca de la existencia de tensiones peligrosas entre la red de tierra bajo prueba y una red de tierra remota. En caso de presentarse una falla en el sistema de potencia cuando las pruebas se están llevando a cabo.

Aunque las posibilidades de que una falla ocurra cuando se estén colocando o moviendo los electrodos es muy remota, por ninguna razón deben las dos manos u otras partes del cuerpo completar el circuito entre puntos con una diferencia de potencial muy grande, por lo que se recuerda hacer uso de calzado, ropa y guantes aislantes cuando se estén realizando las mediciones, principalmente si la subestación se encuentra energizada.

Para tener una idea de la magnitud de estas tensiones consideremos el siguiente ejemplo en el cual una red de tierra tiene una resistencia del orden de los 0.05 (Ω) o 0.5 (Ω), que son los valores dentro de los que se encuentran las redes más grandes, con una corriente a través de la malla del orden de los 20

(kA). El potencial en la tierra remota (incremento del potencial de tierra) será de aproximadamente de 1 kV a 10 (k)V, de tal forma que entre mayor sea la resistencia o la corriente de falla, el incremento del potencial de tierra puede exceder los 10 kV.

Además del método de la caída de potencial existen otros métodos que se pueden utilizar para la medición de la resistencia de tierra dependiendo del tipo de sistema que se esté utilizando. Estos métodos no necesitan ser ilustrados a fondo como se hizo con el método de la caída de potencial ya que la idea y los instrumentos a utilizar son muy parecidos entre sí.

A continuación se describen algunos de los métodos utilizados para la medición del sistema de puesta a tierra.

7.3.1 Método de los dos puntos.

En este método se miden la resistencia de ambos sistemas, el sistema bajo prueba y el auxiliar, del cual se considera que su valor de resistencia es despreciable en comparación con la resistencia del sistema desconocido por lo que la lectura obtenida es la del sistema bajo prueba.

La aplicación más común de este método es para determinar valores de resistencia de electrodos únicos de alguna casa habitación que cuente además con una tubería local de suministro de agua sin uniones aislantes.

Aquí el sistema de suministro de agua es el sistema auxiliar y sus resistencia a tierra se asume que es de aproximadamente de 1 (Ω) y debe ser menor en relación con la resistencia máxima permisible del electrodo enterrado, usualmente de 25 (Ω). Obviamente con este método las mediciones realizadas en sistemas de baja impedancia se tienen errores de gran magnitud.

7.3.2 Método de los 3 puntos.

El método se lleva a cabo utilizando dos electrodos de prueba. Las resistencias de los electrodos auxiliares se designan como r_2 y r_3 , y la resistencia del electrodo a ser medido como r_1 . La resistencia entre cada par de electrodos se mide y se designan como r_{12} , r_{13} , r_{23} .

Aquí

$$r_{12} = r_1 + r_2$$

$$r_{13} = r_1 + r_3$$

$$r_{23} = r_2 + r_3$$

De tal forma que al resolver las ecuaciones simultáneas tenemos lo siguiente:

$$r_1 = \frac{r_{12} \cdot r_{23} + r_{13}}{2}$$

Pero si los dos electrodos de prueba son de materiales de resistencia mayor a la del electrodo de prueba, los errores en las mediciones individuales repercutirán de gran manera en el resultado final, es por ello que en la medición, los electrodos deben alejarse uno del otro, de otra manera se presentarán resultados incongruentes durante el cálculo, como una resistencia igual a cero o incluso negativa.

Al medir la resistencia de un solo electrodo, la distancia entre los 3 electrodos debe ser de al menos 5 (m) y de preferencia con una distancia de 10 (m) o más.

Para redes de tierra de mayor área que presumiblemente cuentan con una resistencia menor, deben considerarse distancias proporcionales a las dimensiones del sistema, razón por la cual este método se

complica para los sistemas grandes y es recomendable utilizar un método parecido al del 62% en caso de que se requiera de una mayor precisión.

7.3.3 Método de la relación.

Probablemente el método más simple de los que existen, pero no por ello deja de ser ilustrativo. Aquí la resistencia del electrodo bajo prueba es comparada con una resistencia conocida, normalmente utilizada en la misma configuración de electrodos que se utiliza en el método de la caída de tensión. Dado que este es un método de comparación, las lecturas de resistencia son independientes de la magnitud de la corriente de prueba si ésta es lo suficientemente grande para dar la sensibilidad adecuada.

7.3.4 Prueba en apartarrayos.

Las pruebas a estos dispositivos caen dentro de una categoría especial debido a las grandes corrientes, de poca duración causadas por los rayos, que puede conducir la conexión a tierra del apartarrayos.

El valor de corriente a través de este dispositivo puede ser mayor o igual a los 5000 (A), más la posibilidad de una corriente de falla del sistema.

En caso que se tenga una conexión aislada a tierra en un apartarrayos, ésta nunca debe desconectarse para ser medida porque la base del apartarrayos se puede energizar a un valor de tensión semejante al de la tensión de línea. La conexión a tierra del apartarrayos puede probarse mientras se tomen las precauciones necesarias para evitar la descarga del apartarrayos sobre la persona que esté realizando la prueba.

7.3.5 Consideraciones generales de los problemas relacionados con las mediciones.

Se debe tener especial cuidado con el electrodo de corriente utilizado, como en el método de la caída de tensión, y se debe verificar que ninguna persona se encuentre cerca de dicho electrodo al momento de realizar las pruebas. Este mismo criterio se debe tomar en cuenta cuando estén realizando mediciones en zonas rurales y evitar, en la medida de lo posible, que los animales se encuentren pastando.

Si el método de medición utilizado es el de los dos o tres puntos, la impedancia de los electrodos de prueba debe ser despreciable con respecto a la del electrodo bajo prueba (método de los 2 puntos), o bien, de la misma magnitud del electrodo que se esté probando (método de los 3 puntos), ya que de otra manera se pueden obtener resultados incorrectos.

Obviamente estas restricciones limitan el uso de tales métodos a sistemas pequeños como en el caso de casas habitación o de subestaciones de distribución de pequeña escala.

En teoría, la resistencia a tierra de los electrodos de prueba no influye en las mediciones ya que son tomadas en cuenta de acuerdo al método utilizado, sin embargo en la práctica, los valores de resistencia no deben exceder de un valor más allá del cual no exista suficiente corriente en el instrumento de medición.

Por insuficiencia de corriente se entiende:

- 1) Corriente de una magnitud menor que la sensibilidad del instrumento.
- 2) Corrientes del orden de magnitud de corrientes parásitas en la tierra.
- 3) Por ambas razones (1 y 2).

En el primer caso, la única acción disponible para corregir este problema en el lugar es incrementando la corriente de prueba. Esto puede hacerse ya sea incrementarlo la tensión de la fuente o reduciendo la resistencia de los electrodos de prueba. La primera opción no siempre es posible especialmente con generadores portátiles incluidos en el equipo de medición.

Quando esta solución sea realizable se debe tener cuidado con los potenciales peligrosos de los electrodos y las puntas de prueba. Una tensión máxima de 100 (V) es considerada segura si se toman las precauciones debidas, uso de calzado y guantes aislantes por ejemplo.

A menudo la manera más efectiva de incrementar la corriente de prueba es disminuyendo la resistencia del electrodo de corriente. Esto se puede hacer si se entierra a una mayor profundidad el electrodo, esparciendo agua alrededor del mismo o enterrando electrodos adicionales y conectándolos en paralelo. En algunos casos se suele agregar sal al agua, esparcida alrededor del electrodo, pero es de poca ayuda ya que el elemento principal es la humedad.

Como regla general, los valores de resistencia de los electrodos de corriente y de voltaje deben cumplir con los requerimientos del equipo de medición utilizado. En instrumentos comerciales, la resistencia del electrodo de tensión (voltajes) debe ser de aproximadamente 1000 (Ω), mientras que la resistencia del electrodo de corriente debe ser menor de 500 (Ω).

Este último valor de resistencia es en función del voltaje generado por la fuente y la corriente de prueba deseada. Como regla de dedo, la relación entre la resistencia del electrodo de corriente y la resistencia de tierra bajo prueba no debe exceder 1000 a 1. Es preferible que sea 100 a 1 o menor.

En el segundo caso cuando se realizan pruebas con corriente continua (c.c.), la corriente de prueba se debe incrementar para superar los efectos de interferencia de las corrientes errantes de c.c. en tierra, ya que en caso de realizar las pruebas con corriente alterna (c.a.), o corriente directa invertida periódicamente, la frecuencia de prueba se debe ajustar a un valor que no este presente en las corrientes parásitas.

Cabe mencionar que algunas tensiones eléctricas se producen entre diferentes tipos de suelo y metales por la acción galvánica, razón por la cual se utiliza corriente continua invertida periódicamente al momento de realizar las mediciones, pero al hacer uso de este tipo de corrientes en la medición de la resistencia, las lecturas serán precisas pero no lo suficiente si se tiene planeado utilizarlas en aplicaciones de corriente alterna.

Los efectos de acoplamiento entre las puntas de prueba son importantes cuando se realizan mediciones en sistemas de baja impedancia pero, como regla de dedo, se puede considerar que estos acoplamientos son despreciables en la medición de sistemas cuya resistencia es de mas de 10 (Ω). Por lo general su influencia sobre las mediciones es mayor cuando son sistemas de 1 (Ω) o menos, y pudiesen ser considerados en los sistemas cuya resistencia se encuentra entre 1 y 10 (Ω).

Objetos completa o parcialmente enterrados tales como rieles o tuberías de agua o algún otro tipo de tubería industrial influirán considerablemente en los resultados de las mediciones.

La importancia del efecto de las estructuras metálicas enterradas no debe despreciarse al momento de determinar el incremento de potencial de tierra en caso que se tenga contemplado proteger sistemas de comunicación, ya que los contornos de potencial de tierra se distorsionan y los gradientes se incrementan cuando se miden sobre objetos metálicos enterrados.

7.4 Medición de la resistividad del terreno.

La medición de la resistividad tiene un triple propósito. Primero, los datos obtenidos son utilizados para hacer registros geológicos del subsuelo, como una ayuda al identificar la ubicación de algunos minerales, profundidad hacia capas más rígidas, etc. Segundo, la resistividad tiene un impacto directo en el grado de corrosión de las tuberías subterráneas, un decremento en el valor de resistividad se encuentra relacionado con un aumento en la actividad corrosiva, lo que determina el método de protección a utilizar. Por último, la resistividad del suelo afecta directamente el diseño de una red de tierra, este tema es el que nos concierne, ya que al momento de diseñar una red de tierra es recomendable localizar el área con el valor de resistividad más bajo con el fin de lograr un sistema de puesta a tierra económico.

Este parámetro varía ampliamente alrededor del mundo y su valor cambia dependiendo de la estación del año; su composición está determinada, en gran parte, por el contenido de electrolitos, los cuales se encuentran en la humedad, minerales y sales disueltas. Por otro lado, la resistividad varía con la profundidad del suelo, debido a la no homogeneidad, temperatura y grado de compactación de éste. Es raro encontrar suelos cuya resistividad se mantenga casi constante aún con importantes variaciones en profundidad.

La resistividad del suelo es el principal factor que determina cual será el valor de resistencia de un electrodo y a que profundidad se debe enterrar para obtener un bajo valor de resistencia de tierra, en ello estriba la importancia de conocer su valor y esto sólo se puede hacer a través de mediciones en campo, a menos que exista un estudio geológico previo del lugar.

Existen diferentes métodos para medir la resistividad del suelo: a través de información geológica y muestras de suelo, el método de variación de profundidad, el de los dos y cuatro puntos, de los cuales esta último es el más preciso y por ende utilizado.

7.4.1 Información geológica y muestras de suelo.

A menudo, cuando se va a construir una red de tierra, en el sitio de construcción se llevan a cabo trabajos de ingeniería civil, los cuales implican la recopilación de información acerca de la naturaleza y configuración del suelo, la cual es de suma utilidad para el ingeniero eléctrico.

Resulta difícil, y en algunos casos imposible, obtener una aproximación útil de la resistividad del suelo a partir de pruebas realizadas a muestras de éste. Esto se debe principalmente al problema que representa obtener muestras representativas de suelo homogéneo e igualar las condiciones de compactación y el nivel de humedad contenido en la celda de muestra.

El proceso de medición de resistividad del suelo medida entre caras opuestas de una muestra de dimensiones conocidas, no es recomendable dado que las resistencias, desconocidas, de las caras y de los electrodos quedan incluidas en el valor de la medición.

7.4.2 Método de la variación de profundidad.

Este método, en algunos casos denominado el de los tres puntos, es un proceso de medición que se lleva a cabo en varias sesiones, en cada una de ellas la distancia a la cual se entierra el electrodo se incrementa en un valor determinado, esto a fin de hacer circular más corriente de prueba a través del suelo. El valor de resistencia leído reflejará la variación de la resistividad conforme se varía la profundidad.

El electrodo de prueba, la mayor parte de las veces, es una varilla. El uso de éstas ofrece varias ventajas, ya que resulta sencillo determinar el valor de resistencia del electrodo y con aceptable precisión, por lo tanto los resultados son fáciles de interpretar, además, el enterrar una varilla en el suelo no es una operación complicada.

Este método proporciona información bastante útil acerca de la naturaleza del suelo ubicado en la vecindad del electrodo de prueba (varilla), de 5 a 10 veces la longitud de éste. Pero en caso de que se requiera hacer mediciones a terrenos de mayor extensión, es preferible utilizar el método de los cuatro puntos, ya que no es práctico enterrar electrodos largos.

7.4.3 Método de los dos puntos.

Con este método se pueden llevar a cabo, en campo, mediciones de resistividad sobre suelo no removido. La medición se hace con dos electrodos, uno de hierro y más pequeño que el otro, ambos unidos a un electrodo de aislamiento. La terminal positiva de una batería es conectada a través de un miliamperímetro al electrodo más pequeño y la terminal negativa al otro electrodo. El instrumento puede ser calibrado para leer automáticamente en ohms-centímetros, ya que normalmente lo que registra es el valor de resistencia entre dos puntos, delimitados por los electrodos, al voltaje nominal de la batería.

El método permite realizar pruebas en poco tiempo y en pequeños volúmenes de suelo enterrando los electrodos en la tierra, en las paredes o en el fondo de la excavación.

7.4.4 Método de los cuatro puntos.

El método más preciso en cuanto a la medición de resistividad promedio en grandes volúmenes de tierra no removida. Pequeños electrodos son enterrados en cuatro orificios sobre la tierra a una profundidad "B"; espaciados, en línea recta, a intervalos iguales "A".

Un valor conocido de corriente, proveniente de un generador, pasa entre los pequeños electrodos exteriores y la caída de potencial, que está en función de la resistencia, se mide a través de los electrodos internos, con la ayuda de un voltímetro de alta impedancia. Posteriormente el cociente V/I es el valor de resistencia R en ohms. En la actualidad la mayoría de los instrumentos de medición tienen la capacidad de desplegar las lecturas directamente en ohms-centímetros.

Cuando los electrodos son acomodados equidistantemente, como en la figura 7-6, la resistividad ρ en términos de las unidades de longitud con las que se miden "A" y "B" se puede calcular de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{1 + \frac{2 \cdot A}{\sqrt{A^2 + 4 \cdot B^2}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}}$$

Donde:

- R Resistencia medida en ohms (Ω).
- ρ Resistividad promedio del terreno en ohms - centímetros (Ω -cm).
- A Distancia entre electrodos en centímetros (cm).
- B Profundidad de los electrodos en centímetros (cm).

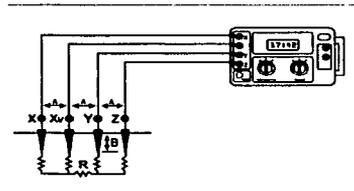


Figura 7-6

Cabe mencionar que esta ecuación no aplica para electrodos de puesta a tierra enterrados a una profundidad "B"; aplica solamente para pequeños electrodos enterrados a una profundidad "B", con cables conectores aislados. Pero en la práctica, comúnmente los cuatro electrodos son colocados en línea recta a intervalos "A", enterrados a una profundidad no mayor a 0.1", con lo que se asume que $B=0$, y la fórmula queda de la siguiente manera:

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

El valor obtenido es aproximadamente el valor promedio de resistividad del suelo a una profundidad A.

CONCLUSIONES.

Es así como queda concluido un trabajo cuyo objetivo principal es aportar a futuros ingenieros material de consulta para poder diseñar un sistema de puesta a tierra apegado a la normatividad vigente, en este caso la NOM-001-SEDE, 1999. Cabe mencionar que este trabajo se baso en el contenido del artículo 250 de dicha norma, así como en información proveniente de otros elementos normativos, especialmente en aquellos casos donde la información no se encuentra dentro de la misma NOM (Norma Oficial Mexicana), como es el caso de el diseño de la red de tierra, el uso del conductor de puesta a tierra de los sistemas aislados, así como de algunos ejemplos.

En este trabajo se presentó un resumen del tema de la puesta a tierra, a través del cual queda de manifiesto que el tema no es algo que haya surgido de la noche a la mañana y mucho menos que haya sido aprobado por cualquier grupo encargado de normatividad; en la investigación se puede apreciar un tema al cual llevó aproximadamente 40 años en ser establecido de manera formal en lo que actualmente se conoce como el NEC (Nacional Electrical Code) y tras haber pasado por una serie de discusiones en cuanto a si debía o no ser una medida practicable y bajo que argumentos se justificaría para serlo. Finalmente en el año de 1913 resultó aprobado el artículo, la regla, que indicaba las condiciones para poner a tierra los equipos.

Mencionar los antecedentes históricos del tema de puesta a tierra es muy útil, ya que da una idea de lo complicado que resulta el tratar de establecer una regla, artículo posteriormente, cuyo principal objetivo es proteger la vida de las personas que trabajan en directo con los sistemas eléctricos, especialmente cuando se tiene que tomar en cuenta puntos de vista de diferentes personas, empresas e instituciones.

La principal razón por la cual es importante poner a tierra correctamente un equipo, es para evitar la exposición de las personas a niveles de tensión que resulten peligrosos en el momento en el que ocurre una falla, o que se induzcan tensiones por la presencia de conductores aéreos de mayor tensión; actualmente existen instalaciones, la mayor parte de ellas domésticas o en sitios como oficinas, que no cuentan con un método apropiado de puesta a tierra apegado a la normatividad vigente.

Esto es un problema grave ya que se piensa que la puesta a tierra es de suma importancia para proteger los equipos; efectivamente lo es, pero al momento de poner a tierra los equipos se debe tomar en cuenta que esta medida normativa se planteó pensando principalmente en las personas cuya posibilidad de entrar en contacto de manera accidental con elementos o herramientas que funcionan con energía eléctrica a niveles de tensión menores a los de distribución, energizados, es latente. Es por esta razón que se debe tener especial cuidado al momento de conectar a tierra las partes metálicas de los receptáculos ubicados en oficinas, talleres de trabajo o el hogar, ya que como lo indica la NOM existen ciertos locales en los cuales se debe de poner especial atención en cuanto al tema de puesta a tierra. Como en el caso de los hospitales y áreas consideradas de alto riesgo.

Si bien la normatividad en cuanto al tema de puesta a tierra se encuentra en mayor parte en las diferentes secciones que conforman el artículo 250, de manera escrita y ahora ilustrada, aún está incompleto lo concerniente al conductor de puesta a tierra aislado, el cual es utilizado para conectar a tierra equipos electrónicos sensibles, ya que en algunos casos las instalaciones que cuentan con el conductor de puesta a tierra aislado carecen del conductor de puesta a tierra de equipos, el conductor desnudo. Con lo anterior, desde el punto de vista de seguridad, efectivamente los equipos conectados están protegidos más no así las personas, ya que la finalidad del conductor de puesta a tierra de equipos es conectar y proveer a las partes metálicas no conductoras de corriente de una trayectoria continua y de baja impedancia para que en caso de presentarse una falla, la corriente pueda ser drenada a tierra y, en el peor de los casos, alguna persona que se encuentre en contacto con alguna de estas partes no esté expuesta a un choque eléctrico.

El problema estriba posiblemente en la conexión única existente entre la red de puesta a tierra del sistema eléctrico y la red de puesta a tierra aislada, en caso de que ésta se haya realizado, pues hace pensar a la gente a cargo del diseño de las redes que debido a esta conexión, la puesta a tierra tanto de un sistema como de otro son exactamente la misma, pero no es así, ya que después de ese punto único de conexión los conductores de puesta a tierra que llegan a los equipos parten de dos barras que no tienen, al menos eléctricamente, conexión entre ellas.

La selección del sistema de electrodos de puesta a tierra adecuado es otro de los puntos importantes de los que depende que se tenga un buen sistema de conexión tierra, por lo que no es necesario elaborar una red que esté conformada por un grupo de conductores desnudos enterrados más electrodos extras que ayuden a disminuir la resistencia de la red en general. Lo único que se tiene que poner a tierra es un tablero de distribución, la envolvente de algún motor o bien la carcasa de algún transformador que forme parte de un sistema derivado separadamente, ya que para ello se podrá hacer uso de alguno de los electrodos mencionados en la norma. Si se trata de poner a tierra equipo que forme parte de una subestación, es aquí donde se deben realizar los cálculos adecuados para seleccionar de manera correcta el tamaño de los conductores que formarán parte de la red de puesta a tierra, así como de la cantidad de electrodos necesarios para obtener el valor de resistencia necesario.

Elementos de gran importancia, y de los más relevantes, en cuanto al tema de puesta a tierra se refiere. Los valores de resistencia son muy importantes, en la elaboración o selección de sistemas de electrodos de puesta a tierra, así como del tipo de sistema que se tenga que poner a tierra, aunque estos valores de resistencia quedan determinados por una amplia serie de factores, tanto geométricos como de composición de los materiales a utilizar son, sin duda alguna.

Lo anterior se desprende del hecho de que es posible contar con una red o sistema de puesta a tierra cuyo valor de resistencia sea bajo, pero si las conexiones en el resto del sistema no se encuentran hechas correctamente de poco nos servirá ese valor porque entonces no se contará con una trayectoria continua; análogamente puede suceder lo contrario, cuando un sistema de puesta a tierra, debido al paso de los años y a su descuido en cuanto a mantenimiento se refiere, tenga un valor de resistencia relativamente alto por la formación de sulfatos en las uniones del sistema, pero es posible que, en caso de presentarse una falla este sistema, al menos, ayude a operar los dispositivos de protección contra sobrecorriente, algo que no podría suceder en el caso del primer sistema y, por ende, la falla podría permanecer más tiempo en el mismo y la gente estaría expuesta a entrar en contacto con alguna parte energizada.

Este comentario se basa en la suposición de un sistema con pocos elementos de protección, ya que en el caso de un sistema eléctrico de potencia existe una elaborada coordinación de diferentes tipos de protecciones, las cuales ayudan a eliminar las fallas, o bien aislar a la misma del resto del sistema como puede ocurrir en el caso de las líneas de transmisión.

Revisar el valor de resistencia de la red de puesta a tierra y comparar su valor con aquel obtenido en los cálculos, o bien que éste se encuentre dentro de los rangos permisibles establecidos, dependiendo del sistema que se tenga que poner a tierra, es un procedimiento que debe llevarse al cabo al final de la construcción de la red de tierra, así como una última revisión a la mayor parte de las conexiones, ya que como observamos, una red de puesta tierra de baja impedancia no garantiza por sí misma un óptimo funcionamiento si el factor continuidad no está presente.

A este respecto la NOM, carece de algún método en particular para hacer las mediciones al sistema de electrodos o a la red de puesta a tierra, más sin embargo el proceso de medición de resistencia de la red se puede hacer por medio de diferentes métodos, algunos de ellos descritos en esta investigación. Lo anterior resulta aceptable ya que la selección del método adecuado depende de las condiciones que se presentan en campo y del tipo de electrodos a los que se tenga que realizar esta prueba, es por ello que aquí sólo se presentan las opciones para ese fin y queda a criterio del Ingeniero a cargo la selección del método más apropiado.

GLOSARIO

- Acometida:** Derivación que conecta la red del suministrador a las instalaciones del usuario.
- Allmentador:** Todos los conductores de un circuito formado entre el equipo de acometida o la fuente de un sistema derivado separado y el dispositivo final de protección contra sobrecorriente del circuito derivado.
- Anuncio luminoso:** Equipo de utilización fijo, estacionario o portátil, autocontenido, iluminado eléctricamente con palabras o símbolos, diseñado para comunicar información o llamar la atención
- Aparato eléctrico:** Equipo de utilización, generalmente no industrial, que se fabrica en tamaños normalizados y que se instala o conecta como una unidad para realizar una o más funciones, como lavar ropa, acondicionar aire, mezclar alimentos, freír, etcétera.
- A tierra:** Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.
- Bajada de acometida aérea:** Conductores de una acometida aérea que van desde el último poste u otro soporte aéreo hasta conectar, incluyendo los empalmes, si existen, a los conductores de entrada de la acometida en un edificio u otra estructura.
- Cable de acometida:** Conductores de acometida con configuración de cable.
- Caja de paso:** Parte independiente, unida a un sistema de tubo (*conduit*) que permite acceso al interior del sistema, al retirar una tapa o tapas removibles, en un punto de unión de dos o más secciones del sistema o en un punto terminal del sistema.
- NOTA:** Las cajas tipo FS y FD o más grandes de metal fundido o de lámina metálica no se clasifican como cajas de paso.
- Canalización:** Canal cerrado de materiales metálicos o no-metálicos, expresamente diseñado para contener alambres, cables o barras conductoras, con funciones adicionales como lo permita esta NOM.
- Capacidad de conducción de corriente:** Corriente eléctrica expresada en amperes (A), que un conductor eléctrico puede conducir continuamente, bajo condiciones de uso, sin exceder su temperatura nominal.
- Carga no-lineal:** Una carga donde la forma de onda de la corriente eléctrica en estado estable no sigue la forma de onda de la tensión eléctrica aplicada.
- NOTA:** Ejemplos de cargas que pueden no ser lineales: equipo electrónico, alumbrado de descarga eléctrica/electrónica, sistemas de velocidad variable y similares.
- Circuito derivado de uso general:** Circuito derivado que alimenta a diversas salidas para alumbrado y aparatos eléctricos.
- Clavija:** Dispositivo que por medio de inserción en un receptáculo, establece conexión eléctrica entre los conductores de su cordón flexible adjunto y los conductores conectados permanentemente al receptáculo.
- Conductor aislado:** Conductor rodeado de un material de composición y espesor reconocidos por esta NOM como aislamiento eléctrico.
- Conductores de acometida:** Conductores comprendidos desde el punto de acometida hasta el medio de desconexión de la acometida.
- Conductor del electrodo de puesta a tierra:** Conductor utilizado para conectar el electrodo de puesta a tierra al conductor de puesta a tierra del equipo, al conductor puesto a tierra o a ambos, del circuito en el equipo de acometida o en la fuente de un sistema derivado separado.
- Conductor desnudo:** Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.
- Conductor de puesta a tierra:** Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alumbrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.
- Conductor de puesta a tierra de los equipos:** Conductor utilizado para conectar las partes metálicas no-conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otras envolventes al conductor del sistema puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra o ambos, en los equipos de acometida o en el punto de origen de un sistema derivado separado.
- Conductor puesto a tierra:** Conductor de un sistema o circuito intencionadamente puesto a tierra.
- Conector a presión:** (sin soldadura) Dispositivo para establecer una conexión entre dos o más conductores o entre uno o más conductores y una terminal por medio de presión mecánica, sin uso de soldadura.
- Dispositivo:** Unidad en un sistema eléctrico diseñada para conducir, pero no para consumir energía eléctrica.
- Energizado(a):** Conectado(a) eléctricamente a una fuente de diferencia de potencial.
- Envolvente:** Recinto, recipiente o carcasa de un aparato, cerca o paredes que rodean una instalación para prevenir que las personas entren en contacto accidental con partes energizadas o para protección de los equipos contra daño físico.
- NOTA:** Véase la Tabla 430-91 para ejemplos de tipos de envolventes
- Equipo:** Término general que incluye dispositivos, aparatos electrodomésticos, luminarias, aparatos y productos similares utilizados como partes de, o en conexión con una instalación eléctrica.
- Equipo de acometida:** Equipo necesario para servir de control principal y que usualmente consiste en un interruptor automático o desconector y fusibles, con sus accesorios, localizado cerca del punto de entrada de los conductores de suministro a un edificio u otra estructura o a un área definida

- Expuesto:** (aplicado a métodos de alambrado) Colocado sobre o fijado a la superficie o detrás de paneles diseñados para permitir el acceso (véase Accesible) (aplicado a los métodos de alambrado).
- Expuesta:** (aplicado a partes vivas) Que una persona puede inadvertidamente tocarla o acercársela a una distancia menor a la segura. Se aplica a las partes que no están adecuadamente resguardadas, separadas o aisladas (véase Accesible y Oculto).
- Frente muerto:** Sin partes vivas expuestas hacia una persona en el lado de accionamiento del equipo.
- Gabinete:** Envolvente diseñada para montaje superficial o empotrado, provista de un marco, montura o bastidor en el que se puede instalar una o varias puertas, en cuyo caso dichas partes deben ser oscilantes.
- Interruptor de circuito por falla a tierra:** Dispositivo diseñado para la protección de personas, que funciona para desenergizar un circuito o parte del mismo, dentro de un periodo determinado, cuando una corriente eléctrica a tierra excede un valor predeterminado, menor al necesario para accionar el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito de alimentación.
- Panel:** Placa, entrepaño, tramo, segmento, cuadro o compartimento.
- Panel de alambrado y control:** Panel sencillo o grupo de paneles unitarios diseñados para ensamblarse en forma de un solo panel, accesible únicamente desde el frente, que incluye barras conductoras de conexión común y dispositivos automáticos de protección contra sobrecorriente y otros dispositivos de protección, y está equipado con o sin desconectores para el control de circuitos de alambrado, calefacción o fuerza; diseñado para instalarse dentro de un gabinete o caja de cortacircuitos ubicada dentro o sobre un muro o pared divisora y accesible únicamente desde el frente (véase Tablero de distribución).
- Partes vivas:** Conductores, barras conductoras, terminales o componentes eléctricos sin aislar o expuestos, que representan riesgo de choque eléctrico.
- Persona calificada:** Persona física cuyos conocimientos y facultades especiales para intervenir en la proyección, cálculo, construcción, operación o mantenimiento de una determinada instalación eléctrica han sido comprobados en términos de la legislación vigente o por medio de un procedimiento de evaluación de la conformidad bajo la responsabilidad del usuario o propietario de las instalaciones.
- Protección de falla a tierra de equipos:** Sistema diseñado para dar protección a los equipos contra daños por corrientes de falla entre línea y tierra, que hacen funcionar un medio de desconexión que desconecta los conductores no-puestos a tierra del circuito afectado. Esta protección es activada a niveles de corriente eléctrica inferiores a los necesarios para proteger a los conductores contra daños mediante la operación de un dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito alimentador.
- Puente de unión, circuito:** Conexión entre partes de un conductor en un circuito para mantener la capacidad de conducción de corriente requerida por el circuito.
- Puente de unión, equipo:** Conexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra del equipo.
- Puente de unión, principal:** Conexión en la acometida entre el conductor del circuito puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra del equipo.
- Puente de unión:** Conductor confiable, para asegurar la conductividad eléctrica requerida entre partes metálicas que requieren ser conectadas eléctricamente.
- Puesto a tierra:** Conectado al terreno natural o a algún cuerpo conductor que pueda actuar como tal.
- Puesto a tierra eficazmente:** Conectado al terreno natural intencionalmente a través de una conexión o conexiones a tierra que tengan una impedancia suficientemente baja y capacidad de conducción de corriente, que prevengan la formación de tensiones eléctricas peligrosas a las personas o a los equipos conectados.
- Punto de acometida:** Punto de conexión entre las instalaciones de la empresa suministradora y las del usuario.
- Receptáculo:** Dispositivo de contacto instalado en una salida para la conexión de una sola clavija. Un receptáculo sencillo es un dispositivo de contacto de un solo juego de contactos. Un receptáculo múltiple es aquel que contiene dos o más dispositivos de contacto en el mismo chasis.
- Sistema derivado separadamente:** Sistema de alambrado de una propiedad, cuya energía procede de una batería, sistema fotoeléctrico solar o de un generador, transformador o devanados de un convertidor y que no tiene conexión eléctrica directa incluyendo al conductor del circuito sólidamente puesto a tierra, con los conductores de suministro que provengan de otro sistema.
- Tablero de distribución:** Panel grande sencillo, estructura o conjunto de paneles donde se montan, ya sea por el frente, por la parte posterior o en ambos lados, desconectores, dispositivos de protección contra sobrecorriente y otras protecciones, barras conductoras de conexión común y usualmente instrumentos. Los tableros de distribución de fuerza son accesibles generalmente por la parte frontal y la posterior, y no están previstos para ser instalados dentro de gabinetes.
- Tensión eléctrica a tierra:** En los circuitos puestos a tierra, es la tensión eléctrica entre un conductor dado y aquel punto o el conductor del circuito que es puesto a tierra. En circuitos no-puestos a tierra es la mayor diferencia de potencial entre un conductor determinado y otro conductor de referencia del circuito.
- Tubo (conduit):** Sistema de canalización diseñado y construido para alojar conductores en instalaciones eléctricas, de forma tubular, sección circular.
- Unión:** Conexión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria eléctricamente conductora que asegure la continuidad y capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica a la que puedan estar sometidas

BIBLIOGRAFÍA

1. Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999. Talleres Gráficos de México, Estados Unidos Mexicanos, 1999.
2. Editors of EC&M. Practical Guide to Quality Power for Sensitive Electronic Equipment. Interlec Publishing Corp, United States of America, 1997, Second Edition.
3. Orozco López Enrique. Sistemas de Tierras I y II. Facultad de Ingeniería U.N.A.M. División de Educación Continua, Cursos Abiertos, Temas Selectos de Instalaciones Eléctricas Industriales II (Sistemas de Tierras y Pruebas de Campo a Equipos), U.N.A.M., 1994.
4. Simmons J. Philip. One & Two Family Dwelling Electrical Systems. International Association of Electrical Inspectors, United States of America, 1997, Third Edition.
5. Simmons J. Philip. Soares Book on Grounding. International Association of Electrical Inspectors, United States of America, 1999, Seventh Edition.
6. Stallcup James G. Stallcup's Electrical Calculations Simplified. Grayboy Publishing, United States of America, 1996.
7. Stallcup James G. Stallcup's Electrical Design Book. Grayboy Publishing, United States of America, 1999.
8. National Fire Protection Association & NEC, Inc. National Electrical Code (NEC 1999). National Fire Protection Association, International Electrical Code Series, United States of America, 1999 Edition.
9. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System. ANSI/IEEE Std 81-1983, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., United States of America, 1993.
10. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. IEEE Std 80-2000 (Revision of IEEE Std 80-2000), Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., United States of America, 2000.
11. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc., Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. Green Book, United States of America., 1992, First Printing.
12. <http://www.graybookassociates.com>

PAGINACIÓN DISCONTINUA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gracias a:

Mis padres.

Enrique García M. y Rosa Hernández L., gracias por la confianza y el respaldo que me brindaron a lo largo de este periodo de estudios, el esfuerzo conjunto queda concluido con este trabajo. Difícil es escribir con palabras todo el agradecimiento y respeto hacia ustedes, nuevamente mil gracias...

A mi carnal.

Mauricio García H., por haberme ayudado a reír cuando era necesario, especialmente cuando los problemas pesan más que el mercurio...

A mis amigos.

A todos aquellos personajes que de una u otra forma me apoyaron e hicieron esos momentos de pesadumbre más tranquilos y amenos, sus nombres están conmigo, el orden de aparición, créanme, no importaría...
