

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE ELÉCTRICA**



**“DOCUMENTACIÓN, FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y
PROPUESTA DE MEJORA DE CONEXIONES A
TIERRA EXISTENTES EN LAS INSTALACIONES DEL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGÍA (CITT) EN LA UNIVERSIDAD DON
BOSCO.”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTADO POR:

**OSCAR RENÉ CASTILLO ZAPATA
HUGO AMILCAR POLANCO GARCÍA**

ASESOR: ING. HÉCTOR ROMERO

MAYO 2007

SOYAPANGO - SAN SALVADOR - EL SALVADOR

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA

AUTORIDADES

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA
RECTOR

PBRO. VICTOR BERMUDEZ YÁNEZ
VICERRECTOR ACADÉMICO.

LIC. MARIO OLMOS ARGUETA
SECRETARIO GENERAL

ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN
DECANO FACULTAD DE INGENIERIA.

UNIVERSIDAD DON BOSCO



TRIBUNAL EXAMINADOR

**ING. HÉCTOR ROMERO
ASESOR DE TESIS**

**ING. CARLOS LÓPEZ
JURADO EVALUADOR**

**ING. WILFREDO GUZMÁN
JURADO EVALUADOR**

**ING. HÉCTOR CARÍAS
JURADO EVALUADOR**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, por haberme dado la oportunidad de cumplir una de las metas más importante en mi vida, de igual forma por darme una familia que siempre ha estado unida y que sin el apoyo de ellos, este momento nunca hubiera llegado.

A mi padre, por darme la vida, estar siempre pendiente de todas las necesidades de la familia, por mantenerse a nuestro lado en todo momento; los esfuerzos, limitaciones y consejos de tu parte nunca han sido en vano, gracias a la guía que tú nos has dado es lo que somos en estos momentos. Definitivamente todos los logros que puedo llegar a tener en la vida, han sido y serán en raíz tus logros y es porque tu has tenido mucho que ver en la formación de nuestro carácter.

A mi madre, gracias por darme la vida por ser el pilar principal, el alma y punto de unión de la familia, en todo momento en que uno de tus hijos decaían tu siempre estuviste a la par levantándolo y dándole la esperanza para seguir adelante, gracias por siempre mostrar interés y apoyo en la toma de decisiones en nuestra vida. Gracias al esfuerzo tuyo y de mi padre, en el trabajo, es que mis hermanos y yo hemos tenido la oportunidad de llegar a estudiar en la universidad y poder ser profesionales.

A mi hermano Saúl, por ser parte de mi vida, por ser solidario y por demostrar seguridad, tú me has ayudado a mostrar seguridad siempre.

A mi hermana Sandra, por ser parte de mi vida, apoyarme y ayudarme a pensar las cosas de mejor manera.

A mi familia en general, amigos y a mi compañero Hugo, por su apoyo en todo sentido.

Oscar René Castillo Zapata.

INDICE

INDICE.....	1
INTRODUCCIÓN.....	5
ANTECEDENTES DEL TEMA A DESARROLLAR.....	7
SITUACIÓN ACTUAL.....	8
IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	11
CAPITULO 1. CONCEPTOS GENERALES.....	13
1.1 Definición de resistencia a tierra.....	13
1.2 Conexión a tierra de instalaciones interiores a baja tensión.....	13
1.3 Resistencia del electrodo de tierra.....	14
1.3.1 Variación de la resistencia según el área de los conductores.....	16
1.4 Electrodo de puesta a tierra.....	18
1.4.1 Tipos de electrodos de tierra.....	18
1.4.2 Naturaleza de los electrodos.....	22
1.4.3 Configuraciones de electrodos.....	23
1.4.4 Electrodo para puesta a tierra en radio frecuencia.....	25
1.5 Anillo de tierra.....	25
1.6 Mallas.....	25
1.7 Compuestos químicos.....	27
1.8 Conectores.....	29
1.9 Registros.....	29
1.10 Corriente drenada.....	30
1.11 Corriente de falla.....	30
1.12 Distribución de corriente.....	30
CAPITULO 2. SISTEMAS DE TIERRA.....	32
2.1 Concepto y objetivo de un sistema de puesta a tierra.....	32
2.2 Razones de conexión a tierra de los sistemas eléctricos.....	33
2.2.1 Principales sistemas de tierra.....	34
2.3 Esquemas de aterrizado de equipos electrónicos.....	37
2.3.1 Esquema convencional.....	38
2.3.2 Esquema de tierra aislada.....	38
2.3.3 Esquema de tierra aislada total.....	39
2.3.4 Esquema de malla de referencia.....	39
2.4 Requerimientos para la conexión a tierra de centros de cómputo.....	40
2.4.1 Tierra de referencia cero del sistema.....	40
2.5 Puesta a tierra de sitios de telecomunicaciones.....	42
2.5.1 Subsistema exterior de tierra.....	43
2.5.2 Subsistema de tierra interior.....	43
2.6 Conceptos asociados a las instalaciones de tierra de sistemas de telecomunicaciones.....	44
2.6.1 Barra externa de tierra.....	44
2.6.2 Campo de tierra de la oficina central.....	44
2.6.3 Barra principal de tierra.....	45
2.6.4 Zona de tierra aislada (IGZ).....	47
2.6.5 Zona de tierra no aislada.....	47

2.7 Diferencia entre neutro y tierra.....	47
2.8 Conexión a tierra de sistemas y circuitos.....	48
2.9 Elementos de un sistema de puesta a tierra.....	49
2.9.1 Selección del conductor conectado a tierra.....	50
2.9.2 Naturaleza de los Conductores.....	51
2.9.3 Sección de los conductores “Caídas de tensión”.....	51
2.9.4 Conductor de tierra para diferentes sistemas.	51
2.9.5 Código de colores en sistemas de puesta a tierra.....	52
2.10 Diseño de una malla de puesta a tierra.....	52
2.10.1 Cálculo de corrientes de cortocircuito.....	54
2.10.2 Calculo del calibre conductor de puesta a tierra.....	55
2.10.3 Cálculo de la longitud aproximada que se debe enterrar para el conductor.....	58
2.10.4 Cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra.....	59
2.10.5 Corriente máxima de la malla.....	60
2.10.6 Análisis de tensiones de paso y toque.	61
2.11 Fallas a tierra.....	62
2.11.1 Tipos de falla.....	62
2.12 Tipos de accidentes que pueden ocurrir al no existir una red de tierra.....	64
2.12.1 Causas de accidentes eléctricos.....	66
2.12.2 Factores que intervienen en el accidente eléctrico:.....	67
2.13 Mejoramiento de las puestas a tierra.....	69
2.14 Formas básicas de mejoramiento de las puestas a tierra.....	70
2.15 Cómo detectar un sistema neutro-tierra incorrecto.....	74
CAPITULO 3. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	75
3.1 Definición de resistividad del terreno.....	75
3.2 Factores que afectan la resistividad del terreno.....	76
3.2.1 Naturaleza del Terreno.	76
3.2.2 Humedad.....	76
3.2.3 Temperatura.....	76
3.2.4 Salinidad.....	77
3.2.5 Estratigrafía.....	77
3.2.6 Compactación.....	77
3.2.7 Variaciones estacionales.....	77
3.3 Métodos para medir impedancias de puesta a tierra.....	78
3.4 Principios y métodos de puesta a tierra.....	79
3.4.1 Métodos para la medición de las impedancias de puesta a tierra.....	81
CAPITULO 4. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE RED DE TIERRA.....	86
4.1 Datos de cargas por edificio.....	86
4.2 Presupuesto.....	91
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1 Conclusiones y recomendaciones generales.....	94
5.2 Conclusiones Específicas.....	97
5.3 Recomendaciones Específicas.....	99
ANEXOS.....	104
Anexo 1: Detalle de distribución por edificio en el CITT.....	104
Anexo 2: Mapa de referencia instalaciones CITT.....	105

Anexo 3: Probadores de resistencia de tierra (Hojas Técnicas).....	106
.....	110
Anexo 4: Art. 250.24 NEC. Aterrizado de sistemas de corriente alterna.....	112
Anexo 5: Tabla 250.122 NEC. Calibre de conductores para conexión de tierra.....	115
Anexo 6: Tabla 250.66 NEC. Calibre de electrodo de tierra para sistemas AC.....	116
Anexo 7: Conductor de tierra para diferentes sistemas.....	117
Anexo 8: Conexión a tierra de partes metálicas en edificaciones.....	118
Anexo 9: Tipos de electrodos.....	118
Anexo 10: Calibre del conductor de puesta a tierra según tiempo de falla.....	120
Anexo 11: Temperatura máxima de fusión.....	120
Anexo 12: Fórmulas para el cálculo de las resistencias de tierra.....	121
Anexo 13: Tipos de químicos para tratamientos de redes de tierra.....	121
Anexo 14. Diseño de red de tierra (Memoria de cálculo).....	123
Anexo 15. Presupuesto (Hojas de cálculo).....	151
Anexo 16. Corrientes de fuga.....	160
Anexo 17. Pararrayos.....	164
Anexo 18. Manual de diseño y mantenimiento de redes de tierra.....	172
Unidad I.....	174
Introducción	174
Objetivos.....	174
1. El servicio eléctrico	175
1.1 Las acometidas para servicio eléctrico	175
1.2 Las instalaciones eléctricas interiores.....	176
2. Introducción y objetivos de la puesta tierra	177
2.1 Definición de términos	177
2.2 Justificación de la puesta a tierra.....	179
2.3 El toque eléctrico	179
2.3.1 El contacto directo	180
2.3.2 El contacto indirecto	180
2.4 Falla de los aparatos eléctricos	181
2.4.1 Recorrido de las corrientes de falla IF	181
2.4.2 Corrientes admisibles por el cuerpo humano IK	182
2.5 Parámetros eléctricos en el cuerpo humano	182
2.5.1 Resistencia eléctrica RK	182
2.5.2 Potenciales admisibles VK.....	184
2.6 Objetivos de la puesta a tierra.....	185
3. Tipos de puesta a tierra	186
3.1 Conexiones típicas de aterramiento del neutro de un sistema	186
3.1.1 Sistema eléctrico con neutro aislado	186
3.1.2 Sistema eléctrico con neutro a tierra	186
3.1.3 Sistemas de alimentación en 220 V	186
3.2 Puesta a tierra típica de instalaciones	187
3.2.1 Puesta a tierra de los sistemas eléctricos	187
3.2.2 Puesta a tierra de los equipos eléctricos	187

3.2.3 Puesta a tierra en señales electrónicas	188
3.2.4 Puesta a tierra de protección electrónica	188
3.2.5 Puesta a tierra de la protección atmosférica	188
3.2.6 Puesta a tierra de protección electrostática	188
3.3 Normas de referencia	188
Unidad II.....	190
Introducción	190
Objetivos	191
1. La resistividad de los suelos	191
1.1 Influencia en el comportamiento eléctrico del suelo	191
1.2 Factores que determinan la resistividad de los suelos	191
1.2.1 Naturaleza de los suelos	192
1.2.2 La humedad	192
1.2.3. La temperatura del terreno.....	193
1.2.4. La concentración de sale disueltas	193
1.2.5. La compactación del terreno	193
2. Generalidades de la medición de la resistividad	194
3. Finalidad de la medición de la resistividad	195
4. Selección de los equipos de medición	195
4.1 Componentes del instrumento	195
4.2 Requisitos mínimos de los instrumentos	197
5. Consideraciones para la medición	197
5.1 Precauciones para la medición	197
5.2 Casos no recomendables para las mediciones	198
6. Métodos de medida de la resistividad	198
6.1 Métodos de los tres electrodos	198
6.2 Método de los cuatro electrodos	199
6.2.1 Configuración de Wenner	200
6.2.2 Configuración de Schlumberger.....	201
7. Resistividades típicas.....	202
Unidad III.....	205
1. Diseño de una malla de puesta a tierra.....	205
2. Cálculo de corrientes de cortocircuito.....	206
3. Calculo del calibre conductor de puesta a tierra.....	207
4. Cálculo de la longitud aproximada que se debe enterrar para el conductor.....	209
5. Cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra.....	209
6. Corriente máxima de la malla.....	210
7. Análisis de tensiones de paso y toque.	211
Unidad IV.....	213
Introducción	213
Objetivos	213
1. Contenido	214
1.1 Generalidades.....	214
1.2 La conexión a tierra	214
1.2.1 Componentes interiores y periféricos de la puesta a tierra	214
2. La puesta a tierra interior	216

2.1 Ubicación de una puesta a tierra	217
2.2 Partes de una puesta a tierra	219
2.2.1 Puesta a tierra con electrodo vertical	219
2.2.3 Puesta a tierra de electrodo horizontal	221
3. Selección de accesorios de instalación	222
3.1 Conductor de conexión a la puesta a tierra	223
3.1.2 Accesorios de conexión	224
3.1.3 Conexiones mecánicas	224
3.1.4 Conexiones bronceadas.....	226
3.1.5 Conexiones soldadas en forma autógena	226
3.1.6 Capacidad de transporte de corriente de falla	227
4. Uniones exotérmicas	227
4.1 Materiales de relleno	230
5. Labores de instalación y acabados	232
5.1 Mano de obra, herramientas y equipo	232
6. Ejecución de las excavaciones y preparación	234
6.1 Relleno y colocación del electrodo	236
6.2 Conexión al tablero eléctrico	238
Unidad V.....	242
Introducción.....	242
Objetivos	242
1. Ejecuciones y consideraciones previas	242
1.1 Acabado exterior y señalización	243
2. Funcionamiento de una puesta a tierra.....	245
3. Inspección, conservación y renovación	246
3.1 Inspección de las puestas a tierra	246
3.2 Conservación de las puestas a tierra	248
3.3 Renovación de la puesta a tierra	249
4. Recomendaciones para el mantenimiento de puesta a tierra según el tipo de instalación	250
4.1 Generalidades	250
4.2 Tipos de mantenimiento	250
4.2.1 Inspección del sistema de puesta a tierra	250
4.2.2 Evaluación del sistema de puesta a tierra	251
5. Tratamiento del terreno	253
5.1 Tratamiento del terreno para mejorar la red de tierra	253
5.1.1 Resistividad de un terreno	253
5.1.2 Tratamiento con sales	254
5.1.3 Tratamiento con gel.....	255
GLOSARIO.....	259
BIBLIOGRAFÍA:.....	263
Anexo 19. Planos de situación actual y propuesta de diseño.....	265

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de polarización consisten en la conexión a tierra de equipos o sistemas eléctricos y electrónicos, para evitar primordialmente que estos provoquen daños a personas o a los aparatos mismos, a causa de una corriente transitoria peligrosa.

El objetivo de un sistema de puesta a tierra es:

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

Debido a lo antes mencionado, es que surge la necesidad de diseñar mejores sistemas, tomando en cuenta el tipo de sistema eléctrico que se va a proteger, usando instrumentos que midan las características del terreno, materiales ideales y en caso de ser necesario, tratamiento al terreno en donde éste se va a instalar.

Por la importancia que tienen los sistemas de puesta a tierra, es necesario conocer la mayor cantidad de factores que hacen variar la resistencia del sistema. Algunos de estos factores pueden ser: las condiciones climatológicas, estratigrafía (más conocido como topografía), compactación del terreno, características físicas del electrodo y materiales de conexión a tierra, etc.

Por esta razón y como punto de referencia, al potencial de tierra se le asume cero. La resistencia de un electrodo de tierra, medido en ohmios, determina que tan rápido, y a que potencial, la energía se equipara. De esta manera, la polarización es necesaria para mantener el potencial de los equipos y sistemas al mismo nivel de tierra.

Los componentes de la puesta a tierra se dimensionan con distintos criterios según sea su función, al igual que los conductores de acuerdo a la mayor corriente

que por ellos puede circular, y los dispersores para la mayor corriente que pueden drenar.

Este trabajo está enfocado al estudio de redes de tierra, normas y recomendaciones establecidas por el NEC¹ y la IEEE², que rigen el diseño y mantenimiento de las mismas, de manera tal de asegurar que la instalación eléctrica en los edificios del CITT³, no será causante de daños en personas, equipos y sistemas.

Estas normas y recomendaciones, tienen por misión entregar parámetros a los usuarios para asegurar una buena puesta a tierra. También se conocerán conceptos básicos, términos y lenguaje utilizado en ésta rama de la electricidad.

¹ National Electric Code, en adelante referido como "NEC".

² Institute of Electrical and Electronics Engineers, en adelante referido como "IEEE".

³ Centro de Investigación y transferencia de Tecnología, en adelante referido como "CITT".

ANTECEDENTES DEL TEMA A DESARROLLAR

No se tiene conocimiento de estudios previos, por medio de los cuales se demuestre el estado de las redes de tierra de los edificios que conforman el CITT, si bien es cierto se han hecho mediciones de la resistencia de tierra y mantenimientos de rutina en el lugar, estas mediciones y mantenimientos no se han documentado, al igual, no se ha hecho una investigación a fondo en las instalaciones, verificando si se cumplen los requerimientos que rigen este tipo de conexiones y demás detalles.

Con el correr de los años se han hecho ampliaciones y modificaciones en las instalaciones eléctricas, de las cuales no se tienen registros detallados, documentos o planos que especifiquen tales cambios. Debido a la ausencia de registros y planos eléctricos, no se tiene conocimiento de la ubicación actual de las redes de tierra en las instalaciones del CITT.

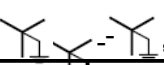
Se sabe que los edificios 5 y 6 están alimentados por la subestación 1 (ver mapa de ubicación en anexo 2) y conectados a la red de tierra de la misma, los edificios 2, 3 y 4 están alimentados por la subestación 2 e igualmente conectados a la red de tierra de la misma, el edificio 7 posee su propio transformador.

Los edificios fueron construidos en 1992, a excepción del edificio 8, el cual fue construido en el año 2000. En estos nunca antes se hizo un estudio de este tipo, por lo cual no se cuenta con un antecedente para poder tenerlo como punto de partida.

SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente el CITT cuenta con 6 edificios y dos subestaciones trifásicas, que alimentan eléctricamente a los mismos (detalle de distribución por edificio, anexo 1). Los edificios 5 y 6 se encuentran conectados a la subestación 1, ubicada al sur del CITT (mapa de referencia anexo 2), el edificio 7 está alimentado por un transformador monofásico y los edificios 2, 3 y 4 están conectados a la subestación 2, ubicada al norte del CITT (mapa de referencia anexo 2).

Se hicieron mediciones de resistencia y corrientes de fuga en las redes de tierra de las subestaciones, estas se hicieron con un probador de resistencia de tierra marca AEMC modelo 3731 (hoja técnica anexo 3), al igual que los voltajes en cada una de ellas, obteniendo los datos que se muestran en la siguiente tabla:

SUBESTACIÓN 1  DE 501 KVA			
Resistencia Red de Resistencia Red de Tierra	Corriente de Corriente de Fuga	Voltaje Línea Voltaje Línea Neutro	Voltaje Línea Voltaje Línea Línea
8.5 Ω	62 mA	AN = 125 V	AB = 217.6 V
		BN = 125.3 V	AC = 216.3 V
		CN = 125.3 V	BC = 219.6 V
1 Ω	642 mA	AN = 125.3 V	AC = 217.5 V
		BN = 124.8 V	AC = 217.5 V

La polarización de la red de tierra de las subestación 1, está aislada de la polarización de las cargas a las que protege. En mediciones previas hechas por personal de mantenimiento del CITT, se obtuvieron los siguientes valores de resistencia de tierra: 3 Ω en verano y de 0.5 Ω en invierno, información no documentada.

No existe una interconexión eléctrica entre las redes de tierra de las subestaciones del CITT, esto en base a datos proporcionados por el departamento encargado del mantenimiento eléctrico de las mismas, sin embargo no se tiene total certeza de esta información ya que no se cuenta con planos eléctricos del diseño de la red de tierra que respalden esta información.

Ninguno de los edificios del CITT cuenta con pararrayos para descargas eléctricas, esto debido al elevado costo de los mismos, lo cual resulta perjudicial para la protección de toda la instalación en general, la única protección relacionada a los pararrayos es la proporcionada por los que se encuentran instalados en los postes de la red de distribución interna de la Universidad Don Bosco⁴.

Con las visitas realizadas a las instalaciones del CITT, se constató que no existen conexiones entre los edificios de laboratorios y las redes de tierra existentes en las subestaciones, debido a esto, se concluye que existen sistemas de polarización individuales que no se encuentran interconectados entre si, por lo que se necesita el levantamiento de todas estas redes.

⁴ Universidad Don Bosco, en adelante referida como "la Universidad".

IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Parte de la misión de la Universidad cita: "Brindar servicios cualificados de educación superior, científicos y tecnológicos.....". Dentro de los servicios cualificados que la universidad brinda, es el uso de sus laboratorios, que cuentan con todo el equipo didáctico necesario para el aprendizaje de los alumnos, es por ello que la universidad, tiene la responsabilidad de verificar que sus instalaciones sean seguras, para que las personas y los equipos didácticos, estén protegidos contra cualquier descarga eléctrica y/o corrientes de falla que se puedan suscitar.

En todo sistema eléctrico es fundamental la existencia de una buena red de tierra, la cual proporcione seguridad a las personas e instalaciones eléctricas, además de un buen funcionamiento y una vida útil prolongada.

Importancia: Como institución educativa, la Universidad debe poseer instalaciones que brinden seguridad y confianza a las personas que hacen uso de ellas, ya sean estos: personal laboral, visitas, empleados de empresas industriales que realizan capacitaciones y estudiantes, siendo estos últimos los de mayor demanda los servicios que ésta ofrece, es por ello que se debe cumplir con ciertas normas y recomendaciones de carácter eléctrico para mantener en armonía la funcionalidad de su sistema y la labor educativa.

Para la protección de los sistemas eléctricos, se requiere de una buena polarización a tierra, por medio de la cual se drenen todo tipo de descargas que pueden causar accidentes a personas o desestabilizar y dañar los sistemas.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, es que se da la importancia en un estudio de este tipo en las instalaciones del CITT, teniendo en cuenta que nunca antes se ha hecho y que las remodelaciones y expansiones dentro de las instalaciones, en lo que a la parte eléctrica corresponde, no están documentadas.

Justificación: Actualmente no se cuenta con un estudio documentado, en el cual se verifique: las conexiones a las redes de tierra, que se cumplan las normas y recomendaciones estipuladas del NEC y la IEEE, que oriente a que tipo de configuración es la adecuada para cada edificio o los métodos de mejoramiento de las redes de tierra que se poseen actualmente en el CITT.

En relación a lo anterior y teniendo en cuenta la importancia de documentar las condiciones actuales de la red de tierra del CITT, es que se presenta este documento con el objetivo de facilitar el estudio y mejoramiento de las mismas, como un aporte a la escuela de electricidad.

Para la Universidad es importante tener plena confianza en la red de tierra que poseen estos edificios, ya que el material didáctico con el cual se desarrollan las

actividades educativas, es parte fundamental para la continuidad de labores de la institución.

En adición a lo anterior es de suma importancia velar por la integridad de las personas que hacen uso de las instalaciones, razón por la cual se necesita el estudio actual, así como la inversión en mejoras que garanticen el objetivo de seguridad buscado, teniendo siempre en consideración que sea una propuesta económicamente accesible para la Universidad.

El empleo de diferentes criterios de diseño y mejoramiento de redes de tierra para la protección de personas, equipos y sistemas, se verá efectivo en las instalaciones de los edificios del CITT, debido a las distintas aplicaciones didácticas que cada edificio tiene.

La existencia de redes de tierra individuales proporciona una incertidumbre sobre el correcto funcionamiento de las mismas en un momento determinado, esto hace necesario que se realice el levantamiento y análisis de el estado actual de las instalaciones para poder realizar una propuesta que sea adaptable a lo que se tiene actualmente y que no represente una reconstrucción total de las mismas.

CAPITULO 1. CONCEPTOS GENERALES

1.1 Definición de resistencia a tierra

La resistencia a tierra se puede definir como la resistencia que ofrece un sistema de tierra al paso de la corriente eléctrica. Este valor de resistencia depende de la resistividad del terreno, de las características físicas del electrodo a tierra (diámetro, área, longitud, etc.) y también de la longitud y el área de los conductores.

El valor de resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto a potencial cero.

1.2 Conexión a tierra de instalaciones interiores a baja tensión.

Deberán conectarse a tierra todas las partes metálicas al descubierto de equipos

que no transporten corriente; pero que tengan posibilidades de ser recorrida por una corriente. Se exceptuarán de esta exigencia los siguientes casos:

1. Cubiertas de interruptores o disyuntores accesibles exclusivamente a personal calificado.
2. Armaduras metálicas de dispositivos calentados eléctricamente, siempre que esta armadura esté convenientemente aislada de tierra.
3. Equipos eléctricos alimentados a través de transformadores de aislamiento.

Deberán conectarse a tierra, los siguientes equipos no eléctricos:

1. Armaduras y rieles de grúas accionadas eléctricamente.
2. Los cables de tracción de ascensores eléctricos.
3. Todo otro equipo similar.

1.3 Resistencia del electrodo de tierra.

La resistencia de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad.

La Tabla 1.1 da, a título de orientación, unos valores de la resistividad para un cierto número de terrenos. Con el fin de obtener una primera aproximación de la resistencia de tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios indicados en la Tabla 1.2.

Bien entendido que los cálculos efectuados a partir de estos valores no dan más que un valor muy aproximado de la resistencia de tierra del electrodo. La medida de resistencia de tierra de este electrodo puede permitir, aplicando las fórmulas dadas en la Tabla del anexo 12, estimar el valor medio local de la resistividad del terreno; el

conocimiento de este valor puede ser útil para trabajos posteriores efectuados en unas condiciones análogas.

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD EN Ω-m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000

Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Tabla 1.1 Valores de resistividad de algunos materiales

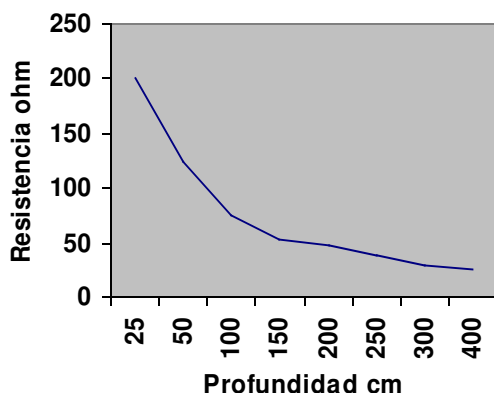
Fuente de consulta tabla 1.1: <http://davinci.ing.unlp.edu.ar/sispot>

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

Tabla 1.2 Valores de resistividad de algunos suelos

1.3.1 Variación de la resistencia según el área de los conductores

a) En función a su profundidad: A través de la gráfica mostrada en la figura 1.1 mostrada abajo, se puede calcular los efectos de la variación de la resistencia de tierra en función de la profundidad alcanzada por un electrodo.



$$R = \rho/2\pi L[\ln(4L/a)-1] \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

R: Resistencia en Ω .

ρ : Resistividad del terreno Ω .cm.

L: longitud del electrodo.

a: radio del electrodo en cm.

Figura 1.1 En función de su profundidad

La norma de instalaciones eléctricas (NOM 001) especifica que la profundidad mínima de enterrado de una varilla debe ser de 2.4 metros (8 pies).

Fuente de consulta tabla 1.2: <http://davinci.ing.unlp.edu.ar/sisspot>

Para varillas de acero de sección circular, se requiere que su diámetro no sea menor a 1.59 cm. (5/8") y para varillas de cobre o de acero recubiertas de cobre el diámetro mínimo debe de ser de 1.27 cm. (1/2"), para terrenos duros como el talpetate es recomendable varillas con un diámetro de 1.91 cm. (3/4").

b) En función del diámetro: Ciertamente, la resistencia de un electrodo de sección circular se reduce al incrementarse su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo debido a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

De acuerdo con la figura 1.2 que se muestra mas adelante, se puede calcular y graficar los valores de la resistencia en función al diámetro del electrodo.

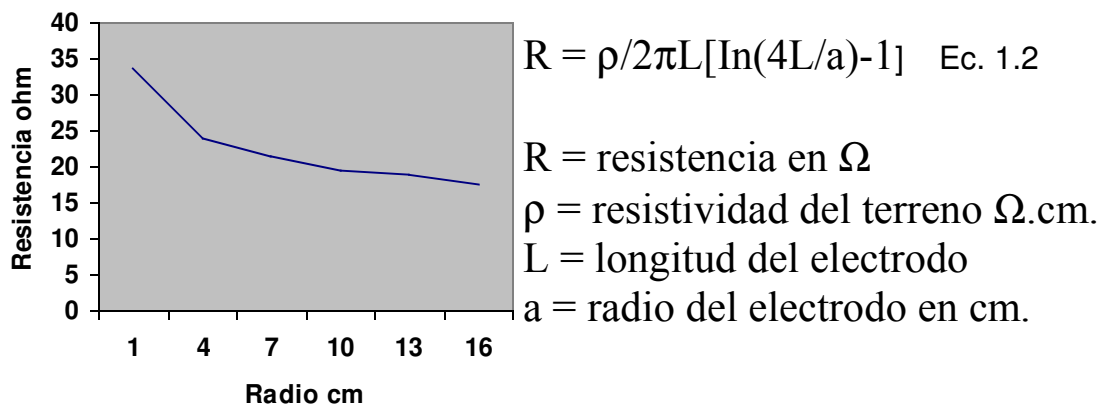


Figura 1.2 En función del diámetro

Un ejemplo de lo anterior es usando los siguientes datos:

Resistividad del terreno (ρ) = 1000 Ω .cm.

Electrodo tipo varilla copperweld: Longitud (L) = 300 cm.

Diámetro = 1.584 cm.

Radio (a) = 0.7935 cm.

Sustituyendo los datos en la expresión mencionada, el primer resultado es $R = 33.5\Omega$, sin embargo si duplicamos el diámetro del electrodo, el nuevo resultado será $R = 29.8 \Omega$ que solo representa una reducción del 11%, y si lo aumentamos 20 veces el diámetro original el valor obtenido será $R = 17.6 \Omega$ lo que representa solo una reducción del 47.4 %.

Es por esto que se puede decir que no es recomendable invertir en electrodos de gran diámetro, ya que no se reduce considerablemente la resistencia, por lo cual deberán practicarse otros métodos.

1.4 Electrodo de puesta a tierra.

El diseño de un sistema de puesta a tierra se enfrenta normalmente con dos tareas:

Lograr un valor requerido de impedancia.

Asegurar que los voltajes de paso y contacto son satisfactorios.

En la mayoría de los casos habrá necesidad de reducir estos valores, inicialmente el diseñador debe concentrarse en obtener un cierto valor de impedancia; este valor puede haber sido definido por consideraciones de protección.

Los factores que influyen la impedancia son:

Las dimensiones físicas y atributos del sistema de electrodos de tierra.

Las condiciones del suelo (composición, contenido de agua, etc.).

1.4.1 Tipos de electrodos de tierra.

Para realizar un sistema de puesta a tierra se necesitan electrodos de tierra, los cuales existen de muchos tipos, algunos mejores que otros en ciertas características como el costo, entre otras.

Cuando se instala un electrodo de tierra, es común tener un registro, el cual puede ser de un pedazo de un tubo de albañal o bien, construir un registro. El objetivo de tener este registro es para poder ubicar el lugar donde se encuentra con facilidad y para que después de un cierto tiempo se le pueda dar mantenimiento. (El uso de un registro es opcional).

Tipos de electrodos (más usados comúnmente).

a) Varilla Copperweld: Esta varilla es una de las más usadas, ya que es de bajo costo de material. Este tipo de electrodo esta hecho de acero y recubierto de una capa de cobre, su longitud es de 3.05 metros y un diámetro de 16 milímetros. Esta varilla se debe enterrar en forma vertical y a una profundidad de por lo menos 2.4 metros, esto por norma. También por norma se acepta que la varilla vaya enterrada en forma horizontal, siempre y cuando sea en una zanja de mínimo 80cm de profundidad, pero no es muy recomendable. La varilla copperweld no tiene mucha área de contacto, pero sí una longitud considerable, con la cual es posible un contacto con capas de tierra húmedas, lo cual se obtiene un valor de resistencia bajo. (Ver anexo 9)

b) Varilla: Este tipo de electrodo de tierra tiene un área de contacto más grande

que la varilla Copperweld, por lo que no necesita mucha longitud. Este electrodo se forma por un perfil de acero galvanizado, y puede ser en forma de cruz, de ángulo recto o en te. (Ver anexo 9)

- c)* Rehilete: Este electrodo se forma de dos placas de cobre cruzadas, las cuales van soldadas. Este tipo de electrodo es bueno para terrenos donde es difícil excavar, ya que tiene mucha área de contacto. (Ver anexo 9)
- d)* Placa: Debido a que este electrodo tiene una gran área de contacto es recomendado en terrenos que tengan alta resistividad. Según el artículo 250-83 debe tener un área de por lo menos 2000cm² y un espesor mínimo de 6.4mm en materiales ferrosos y mínimo de 1.52mm en materiales no ferrosos.
- e)* Electrodo en estrella: Este electrodo se puede usar con cable de cobre desnudo y ramificaciones de 60° de ángulo. Estos se utilizan en el campo, ya que por la longitud del cable se obtiene un valor de resistencia menor.
- f)* Electrodo de anillos: Este electrodo consiste en una espira de cable de cobre desnudo, con un diámetro mínimo de 33.6mm² y una longitud mínima de 6m en contacto con la tierra, también el artículo 250-81 establece que debe tener una profundidad de por lo menos 80cm, así como también dice que se le pueden conectar electrodos.
- g)* Malla: La malla se hace armando una red de conductores de cobre desnudos, esta malla se puede mejorar con algunos electrodos. Esta malla es muy utilizada en las subestaciones eléctricas, ya que reduce el riesgo de descargas.
- h)* Placa estrellada: Este tipo de electrodo es una placa que tiene varias puntas

en su contorno, esta se conecta por medio de una barra con rosca. Su principal ventaja es que ayuda a que se disipe la energía a través de sus puntas.

- i)* Electrodo de varillas de hierro o acero: Electrodo o varillas que se aprovechan en la construcción de edificios, deben tener por lo menos 16mm de diámetro.
- j)* Electrodo de tubo metálico: Este tipo de electrodo puede ser la tubería metálica del agua. El diámetro debe ser de mínimo 19mm, si el tubo es de acero o hierro tiene que tener una cubierta de otro metal para que lo proteja de la corrosión, la tubería debe estar enterrada por lo menos 3m.
- k)* Electrodo empotrado en concreto: Este tipo de electrodo se debe encontrar en una cimentación que este enterrada y tenga una longitud de por lo menos 6m, con varillas desnudas con 13mm de diámetro mínimo. El electrodo debe estar incrustado en concreto como mínimo 5cm. (Ver Anexo 9).
- l)* Electrodo de aluminio: Los electrodos de aluminio según el artículo 250-83 no están permitidos, ya que el aluminio se corroe rápidamente al estar en contacto con la tierra.
- m)* Electrodo horizontal o contra-antena: El electrodo horizontal es un conductor de cobre desnudo enterrado de forma horizontal en una zanja de 50cm mínimo de profundidad, se pueden hacer varias configuraciones, pero la más utilizada es la línea recta. Su principal inconveniente es que la excavación es muy costosa. (Ver anexo 9).
- n)* Electrodo profundo: Este tipo de electrodo no es más que una varilla copperweld unida a un conductor de cobre desnudo de gran longitud. Este electrodo es utilizado en terrenos donde haya mucha roca, se hace una perforación vertical profunda hasta encontrar las capas húmedas de la tierra, ya que la humedad aumenta la conductividad.

- o)* Electrodo en espiral: El electrodo en espiral es un cable de cobre desnudo en espiral de diferentes diámetros y enterrados a diferentes profundidades para hacer contacto con las diferentes capas de la tierra.

- p)* Electrodo químicos: Los electrodos químicos son aquellos electrodos a los que se les adiciona algún compuesto químico para aumentar la conductividad y así forma disminuir el valor de resistencia. (Ver anexo 9)

Siendo el más utilizado de todos los anteriores el electrodo de varilla copperweld, por su gran eficiencia y bajo costo de material e instalación.

1.4.2 Naturaleza de los electrodos.

Los electrodos pueden ser artificiales o naturales. Se entiende por electrodos artificiales los establecidos con el exclusivo objeto de obtener la puesta a tierra, y por electrodos naturales las masas metálicas que puedan existir enterradas.

Para las puestas a tierra se emplearan principalmente electrodos artificiales. No obstante los electrodos naturales que existirán en la zona de una instalación y que presenten y aseguren un buen contacto permanente con el terreno, pueden utilizarse bien solos o conjuntamente con otros electrodos artificiales. En general, se puede prescindir de éstos cuando su instalación presente serias dificultades y cuando los electrodos naturales cumplan los requisitos anteriormente señalados con sección suficiente y la resistencia de tierra que se obtenga con los mismos, presente un valor adecuado.

Constitución de los electrodos artificiales.

Los electrodos podrán estar constituidos por: Electrodos simples constituidos por barras, tubos, placas, cables, pletinas u otros perfiles. Anillos o mallas metálicas

constituidas por los elementos indicados anteriormente o por combinaciones de ellos.

Los electrodos serán de metales inalterables a la humedad, tal como el cobre, el hierro galvanizado, hierro sin galvanizar con protección catódica o fundición de hierro. Para este último tipo de electrodos, las secciones mínimas serán el doble de las secciones mínimas que se indican para los electrodos de hierro galvanizados.

Sólo se admite los metales ligeros, cuando sus resistencias a la corrosión son netamente superiores a la que presentan, en el terreno que se considere, el cobre o el hierro galvanizado. La sección de un electrodo no debe ser inferior a la sección del conductor que constituye la línea principal de tierra.

Constitución de los electrodos naturales.

Los electrodos naturales puedan estar constituidos por:

- a)* Una red extensa de conducciones metálicas enterradas, siempre que la continuidad de estas conducciones quede perfectamente asegurada, y en el caso de que las conducciones pertenezcan a una distribución pública o privada, haya acuerdo con los distribuidores correspondientes. Se prohíbe utilizar como electrodos las canalizaciones de gas, de calefacción central y las conducciones de desagüe, humos o basuras.
- b)* La cubierta de plomo de los cables de una red eléctrica de baja tensión enterrada, con la condición de que la continuidad de la cubierta de plomo esté perfectamente asegurada y, en el caso de que la red pertenezca a una distribución pública, haya acuerdo con el distribuidor.
- c)* Los pilares metálicos de los edificios, si están interconectados, mediante una estructura metálica, y enterrados a cierta profundidad.

1.4.3 Configuraciones de electrodos.

Como ya se menciona, la varilla copperweld es el electrodo mas utilizado debido a sus características, también ya mencionadas. El objetivo de este electrodo es estar en contacto con las capas húmedas de la tierra, y para lograrlo se recomienda instalarla en forma vertical, enterrada por lo menos 2.4 m (figura 1.4), con esto se debe obtener un valor de resistencia bajo, si no se logra con una varilla se pueden colocar mas varillas conectadas por medio de conductor de cobre desnudo en diferentes configuraciones y un espaciado de por lo menos la longitud del electrodo.

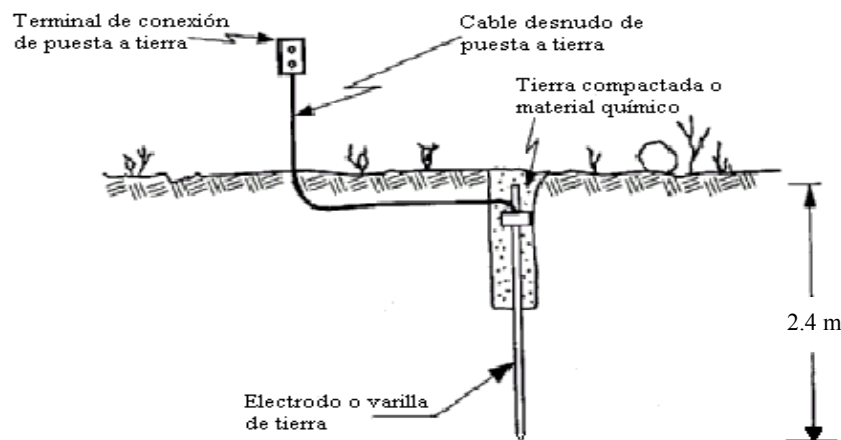


Figura 1.4 Instalación.

Los electrodos que se unan eléctricamente se deben considerar como un solo electrodo. Por norma la separación mínima entre los electrodos debe ser de 1.83m.

Numero de electrodos	Valor original	Porcentaje de reducción
Un solo electrodo	100%	
Dos electrodos en línea		55%
Tres electrodos en línea		38%
Tres electrodos en triángulo		35%
Cuatro electrodos en simetría		28%
Ocho electrodos en simetría		16%

Tabla 1.4 Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración.

1.4.4 Electrodo para puesta a tierra en radio frecuencia.

En el caso de torres de radiodifusión, se emplean cables en configuración de estrella (radiales) para su puesta a tierra. Y, se ha encontrado más efectivo tener conectados los cables en un punto que tener múltiples anillos rodeando el sitio, los cables radiales pueden ser menores a 30 m de largo si el suelo es adecuado.

Los cables dispersan la energía de las descargas muy eficientemente. Como la corriente se divide en proporciones iguales en los cables radiales, entre más cables, menor corriente los circula. Y, una baja corriente es más fácil de disipar y tendrá menor impacto en la elevación del potencial de tierra del sistema.

1.5 Anillo de tierra.

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 mm. y que rodee al edificio o estructura. Estos anillos de tierra se

emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones, para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

Fuente de consulta tabla 1.4: K.S. Powell, Charts Determine Substation Grounds, Electrical World, Enero 1978,

1.6 Mallas.

Las instalaciones eléctricas requieren de un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados, cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas, con el fin de minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto.

La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0.30 m a 1.0 m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciamiento adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas.

El cable que forma el perímetro exterior de la malla debe ser continuo de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico de la subestación o planta generadora. Con ello, se evitan altas concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas.

En cada cruce de conductores de la malla, éstos deben conectarse rígidamente con soldadura exotérmica entre sí y en los puntos donde se conectan los equipos que pudieran presentar falla o, en las esquinas de la malla, los conductores deben conectarse a electrodos de varilla o tubo de 2,4 m de longitud mínima, clavados verticalmente.

Los cables que forman la malla deben colocarse preferentemente a lo largo de las hileras de estructuras o equipo para facilitar la conexión a los mismos, ya que es una práctica común de ingeniería aterrizar a dos cables diferentes todos los equipos. Los conectores empleados en la malla del sistema de tierras de una subestación deben ser de tipo de compresión o soldables.

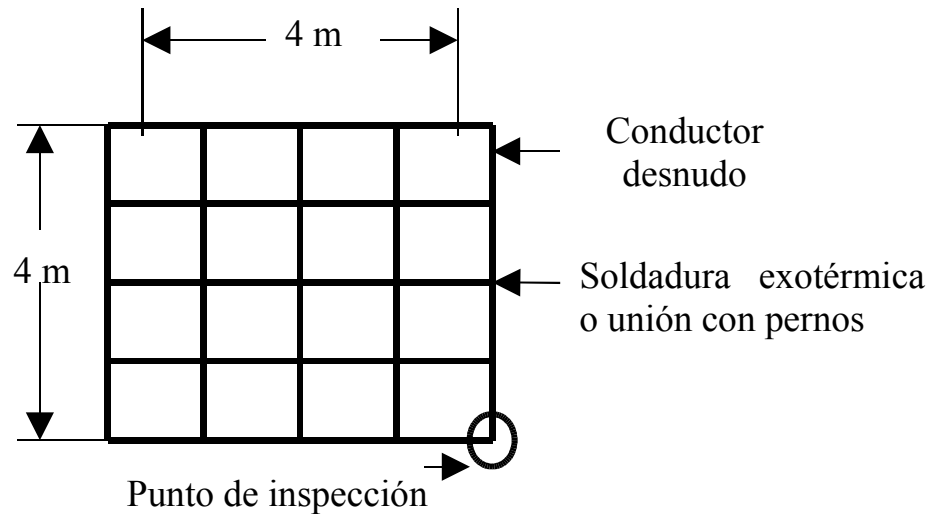


Figura 1.5 Malla.

1.7 Compuestos químicos.

El problema de lograr una resistencia baja en la roca así como en otros suelos de alta resistividad, está asociada con el material en contacto con el electrodo y la compactación que éste recibe al rellenar el agujero.

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. La bentonita entre otros compuestos como el sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, o de compuestos químicos patentados (THOR GEL, GEM, etc.) cumple con esos requisitos.

La bentonita es una arcilla consistente en el mineral montmorillonita, un silicato de aluminio, y tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de hincharse hasta 13 veces su volumen seco. Y tiene una resistividad de 2.5 Ω -m con humedad del 300%.

Aparte del relleno con alguno de los compuestos mencionados, existen otros métodos químicos más. En el primero, en un registro junto a la varilla se colocan unos 30 cm. de los compuestos, (Figura 1.6).

Este método es efectivo donde hay poco espacio como en banquetas o estacionamientos.

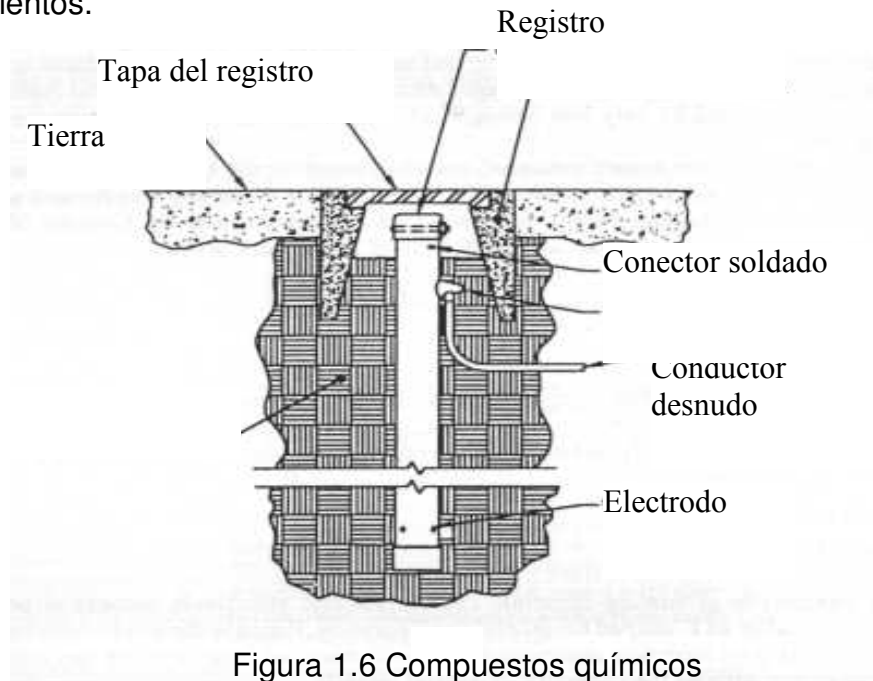


Figura 1.6 Compuestos químicos

El otro método es excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con unos 20 o 40kg de los compuestos químicos mencionados arriba, diluyendo con agua.

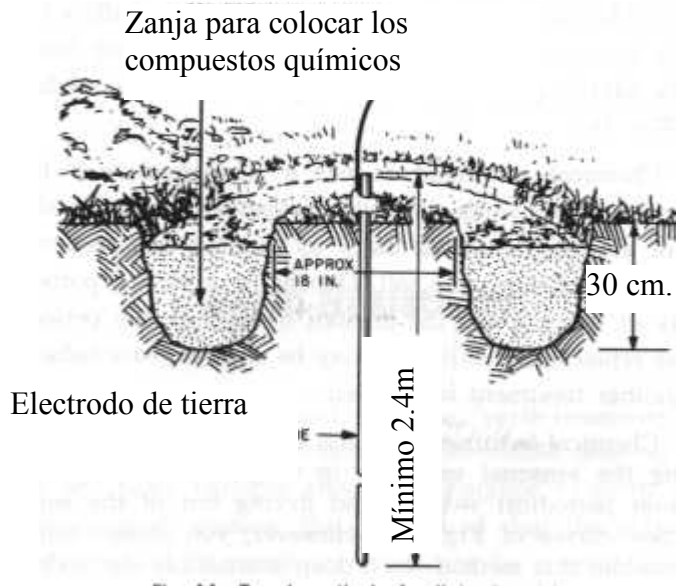


Figura 1.7 Compuestos químicos

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

Por último, se puede utilizar uno de los cementos puzolánicos grafiticos conductores (EarthLink 101, etc.) de la siguiente manera: se cubre el cable del electrodo [4/0 AWG] colocado horizontalmente en una zanja de unos 75 cm. de profundidad, con una capa de cemento seco de unos 5 cm. de grueso y 50 cm. de ancho. Con el tiempo, el cemento toma la humedad del suelo y endurece. Este método desarrollado en Japón en los 70s, tiene la ventaja que no requiere mantenimiento, es antirrobo, y por el tipo de material, no se corroen los cables con el tiempo y se adapta perfectamente a los lugares donde la capa superficial es poco profunda y de alta resistividad

1.8 Conectores.

Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados, ver figura 1.8. Estas no deben tener soldaduras con materiales de puntos

de baja fusión (estaño, plomo, etc.)



Figura 1.8 Conectores.

Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, deben ser del tipo apropiado.

1.9 Registros.

"Las abrazaderas u otros accesorios para puesta a tierra, deben estar aprobados para su uso general sin protección, o protegerse contra daño físico con una cubierta protectora.", la conexión debe ser accesible, siempre que no esté en un electrodo hundido, empotrado o enterrado.

Pero en el caso de las subestaciones, la misma norma especifica que deben hacerse mediciones periódicas en los registros para comprobar que los valores del sistema de tierras se ajustan a los valores de diseño. Por ello, se recomienda dejar registros en los electrodos de varilla. Aparte de los registros de fábrica, se pueden construir esos registros empleando un tubo de albañal, con la boca hacia arriba para que sirva de tope a una tapa de cemento.

1.10 Corriente drenada.

El dato de corriente drenada por la red de tierra se determina a partir de la corriente de falla monofásica a tierra que debe ser conocida.

1.11 Corriente de falla.

Las corrientes de falla en los sistemas eléctricos tienen valores reales que se conocen por cálculos y se verifican con los registros de fallas.

1.12 Distribución de corriente.

De la corriente total de falla monofásica solo una parte es drenada por la red de tierra, otra parte es conducida y no contribuye a crear tensiones de paso y de contacto. Se puede evaluar la reducción que producen los distintos dispersores auxiliares con la tabla 1.5, el factor indicado se aplica a la corriente total, y se obtiene la corriente drenada por la red de tierra.

Factores de reducción (valores medios)

Partes de la instalación que actúan como puestas a tierra	
Líneas alta tensión sin cable de tierra	1.00
Un cable de tierra de acero	0.95
dos cables de tierra de acero	0.90
Un cable de tierra de aluminio-acero	0.60 ... 0.70
dos cables de tierra de aluminio-acero	0.40 ... 0.60
Cables subterráneos 10 kV sin armadura	0.85
armadura de fleje de acero	0.20 ... 0.60
30 kV sin armadura	0.45

armadura de fleje de acero	0.08 ... 0.20
60 kV sin armadura	0.28
Armadura de fleje de acero	0.05 ... 0.15
110 kV envoltura aluminio y sin armadura	0.10
Gas a presión con tubo de acero	0.005 .. 0.03
Cables de telecomunicación con armadura de alambres de acero	0.90
Armadura de fleje de acero	0.30 ... 0.70
Rieles	0.80
Rieles con líneas de contacto	0.50
Tubos de agua, fundición 150 mm, 10 mm	0.70

Tabla 1.5

Tensión de paso (E_p): Diferencia de tensiones en la superficie aplicada sobre una persona que presenta una distancia entre pies de un metro sin estar en contacto con ningún objeto conectado a la malla.

Tensión de toque (E_t): Diferencia de tensión entre la malla de tierra (GPR) y el potencial de la superficie donde la persona está parada mientras simultáneamente tiene una mano en contacto con una estructura conectada a la malla.

Tensión de malla (E_m): Es la máxima tensión de toque encontrada dentro de las cuadrículas de malla de tierra. (Normalmente en la mitad de una cuadrícula).

Tensión transferida (E_{trd}): Es un caso especial de tensión de toque donde la tensión es transferida fuera de la subestación.

Fuente de consulta tabla 1.5: <http://davinci.ing.unlp.edu.ar/sisspot>

CAPITULO 2. SISTEMAS DE TIERRA

2.1 Concepto y objetivo de un sistema de puesta a tierra.

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen los equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa, o también que por falta de aislamiento en uno de los conductores y al quedar en contacto con las placas y ser tocados por alguna persona pudiera ocasionarle lesiones o incluso la muerte.

Por estas razones, se recomienda que se realicen las instalaciones de puesta a tierra por que la corriente siempre busca el camino mas fácil por donde poder pasar, y al llegar a tierra se disipa por esta, esto si se tiene una resistividad muy baja en el terreno donde se realizo la instalación.

El objetivo de un sistema de puesta a tierra es:

- a)* El de brindar seguridad a las personas
- b)* Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.
- c)* Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.
- d)* Mejorar calidad del servicio.
- e)* Disipar la corriente asociada a descargas atmosféricas y limitar las sobre tensiones generadas.
- f)* Dispersar las cargas estáticas a tierra.

El símbolo de puesta a tierra que se muestra a continuación es reconocido internacionalmente:

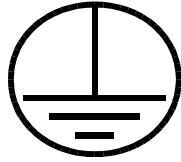


Fig. 2.1

Símbolo IEC numero 5019

2.2 Razones de conexión a tierra de los sistemas eléctricos.

Estas se pueden sintetizar en dos, las cuales son:

1. Protección personal.
2. Protección de equipo.

El propósito de mantener los equipos y cubiertas metálicas de un sistema a un mismo plano equipotencial, no es un simple hecho, el conductor conectado a tierra de un sistema aterrizado, establece una trayectoria de baja impedancia para las corrientes de falla y así permitir el funcionamiento o activación del interruptor automático de seguridad o de interruptor de circuito, para cancelar la falla.

Los motivos por los cuales se debe de poner a tierra materiales conductores que albergan conductores eléctricos o equipos, son tres:

1. Limitar el voltaje debido a rayos, sobrevoltajes transitorios y contacto accidental de alto voltaje.
2. Facilitar la protección de los dispositivos de protección contra sobrecargas y los interruptores del circuito.
3. Estabilizar el voltaje en durante operaciones normales.

Como se acaba de mencionar la importancia de realizar una conexión a tierra es

por seguridad, ya que una corriente indeseable o sobretensión podría causar accidentes, pérdida completa del equipo o costosas reparaciones.

Otra razón por la que debe instalarse un sistema de puesta a tierra eficiente en edificios o instalaciones industriales, es para evitar que las descargas atmosféricas caigan en lugares indeseados que puedan ocasionar algún accidente o dañar los equipos, esto se logra mediante sistemas de pararrayos.

Muchas personas piensan que al instalar un pararrayos este atraerá los rayos a sus viviendas pero esto es un gran error ya que lo único que se hace es proporcionar un camino por donde guiar a los rayos hacia tierra y de este modo evitar que caigan en alguna otra parte y nos ocasionen daños.

2.2.1 Principales sistemas de tierra.

- a) Tierra física.
- b) Tierra de protección contra rayos.
- c) Tierra del equipo o tierra de seguridad.
- d) Conductor conectado a tierra.
- e) Tierra aislada.
- f) Tierra de referencia de señal.

a) **Tierra física** o sistema de electrodo de tierra, el cual cubre el sistema del electrodo de tierra y todas las conexiones hechas para realizar un sistema de puesta a tierra efectiva. Hay que considerar el sistema completo de tierra de una instalación eléctrica, con sus tres componentes principales:

1. **Tierra física:** El sistema electrodo de tierra o tierra física puede consistir en una varilla, tubería u otro electrodo apropiado, el cual debe tener contacto directo con la tierra. Resumiendo es un sistema bajo tierra pero relacionado con las partes existentes por encima de la tierra.

2. **Tierra del equipo:** Son todas las partes existentes por encima de la tierra
3. **Tierra del circuito:** es el conductor conectado a tierra o conductor neutro, el cual tiene la función, en caso de cortocircuito o falla a tierra, de transportar la corriente de falla cedida por el conductor de tierra del equipo.

b) Tierra de protección contra rayos es un sistema separado que debe conectarse al sistema de tierra del edificio. Este tipo de tierra lo rige el código de protección contra rayos, NFPA 780 publicado por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios⁵, la cual es la autora del NEC.

La función específica de este sistema es drenar la energía del rayo a tierra, en forma controlada, por medio de la varilla pararrayos, un conductor bajante y un electrodo de tierra separado.

c) Tierra del equipo o tierra de seguridad está destinado a la protección del personal y el equipo contra fallas o cortocircuitos.

Este sistema conecta todas las partes metálicas de los equipos, es decir, los gabinetes metálicos, los conductores metálicos, las cubiertas metálicas de enseres domésticos eléctricos, y todo el equipo que pueda ser energizado y entrar en contacto con personas, esto para mantener una misma referencia con tierra (Ver anexo 8).

d) Conductor conectado a tierra o conductor neutro de acuerdo con la definición del NEC, este sistema tiene la función de transportar la corriente de retorno del conductor de fase para un sistema monofásico y el retorno de las corrientes de fase que no se cancelaron, para un sistema trifásico y un sistema

monofásico de fase dividida o sistema monofásico de tres hilos.

e) **Tierra aislada** este sistema ofrece una tierra libre de ruido eléctrico para equipo electrónico sensible y se usa especialmente en salas de computadoras, también se conoce como tierra dedicada, no utilizado comúnmente.

~~Asociación Nacional de Protección contra Incendios, en adelante referida como "NFPA".~~

f) **Tierra de referencia de señal** es el sistema de referencia cero para todos los equipos de señal digital. El objeto de esta es proporcionar una tierra sin contaminación, separada de la tierra del equipo, esta tierra se le conoce de diferentes maneras: tierra de señal, tierra de ruido, tierra electrónica.

Por norma la conexión del conductor neutro a tierra debe ser sólo en el tablero principal de distribución o en el secundario de un sistema derivado separadamente. (Ver anexo 8)

La sección 250-24 del NEC establece que: "Cuando un sistema de alimentación de corriente alterna opera a voltajes menores de 1000 voltios y se conecta a un punto, el conductor conectado a tierra debe ser extendido a cada dispositivo de desconexión del servicio y deberá conectarse a cada una de las cubiertas de los dispositivos de desconexión.

En condiciones de falla el conductor conectado a tierra se convierte en el conductor de tierra del equipo y proporciona la trayectoria para la corriente de falla, lo que causa la activación del dispositivo de protección contra sobrecorriente.

Traer el conductor conectado a tierra a la cubierta del tablero de servicio del equipo, ofrece una trayectoria de baja impedancia para la corriente de falla, lo que no ocurrirá si este conductor no llegara a este punto. Todos los conductores de tierra del tablero se conectan al conductor conectado a tierra en el "dispositivo de

desconexión” de la acometida del edificio.

Cuando se usan varios dispositivos de desconexión, se exige que el conductor conectado a tierra (neutro) se instale en cada servicio y se conecte en la cubierta de cada equipo o tablero principal. El neutro es traído a cada tablero de servicio aunque el conductor conectado a tierra no se extienda más allá del tablero de servicio.

La impedancia de este conductor debe mantenerse en un valor bajo, por las siguientes razones:

Limitar el voltaje a tierra.

Facilitar la operación de los dispositivos de protección.

Drenar a tierra las corrientes indeseables, ruidos y corrientes de fuga.

2.3 Esquemas de aterrizado de equipos electrónicos.

Existen cuatro esquemas de aterrizado de equipos electrónicos. Estos son:

- a) Esquema convencional.
- b) Esquema de tierra aislada.
- c) Esquema de tierra aislada total.
- d) Esquema de malla de referencia.

2.3.1 Esquema convencional.

Este esquema encuentra su uso en las instalaciones de PC's y de PLC's, donde sus alambrados están distribuidos en áreas muy pequeñas. No es recomendado para muchas instalaciones de sistemas electrónicos distribuidos, porque:

- a)* Puede resultar excesivamente ruidoso el sistema de tierra.
- b)* Los transitorios pueden sobrepasar el nivel de aislamiento.

- c)* No es compatible con las recomendaciones de la mayoría de los fabricantes de equipos electrónicos.
- d)* No puede ser fácilmente realambrado para cumplir con esquemas de aterrizado de redes de cómputo.
- e)* El alambrado puede ser obsoleto cuando se cambien las tarjetas y equipos por otros de una tecnología de mayor velocidad.

2.3.2 Esquema de tierra aislada.

Este esquema es el más socorrido en la industria y por la mayoría de los proveedores de equipos electrónicos.

En esta configuración se tiene una tierra relativamente libre de ruido e interferencia para la referencia lógica de los aparatos y, es complementada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Pero, tiene las siguientes limitaciones:

- a)* En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra es demasiado alta para servir de buena conexión.
- b)* El acoplamiento de las tierras dentro de los aparatos puede causar lazos de corriente, resultando en ruidos electrónicos.

Un arreglo de este esquema es hacer un anillo de tierras alrededor de los pisos de un edificio o un cuarto de cómputo. Y de este anillo se hacen varias conexiones al sistema perimetral de tierras, siempre que tengan las mismas longitudes y estén acomodadas simétricamente. Y a este sistema interno se conectan los equipos.

2.3.3 Esquema de tierra aislada total.

Este esquema consiste en conectar todos los aparatos e instrumentos a tierra

usando una configuración de estrella a partir de un solo punto físico, el cual es un cabezal o placa de conexión, la cual a su vez está conectada mediante un conductor apropiado a la red general de tierra. Sin embargo, también tiene sus limitaciones:

- a)* Esta configuración puede ser difícil de crear en un ambiente industrial.
- b)* Todos los equipos cercanos deben conectarse de esta manera a tierra o, se pueden tener lazos de corrientes.
- c)* Puede tener una impedancia en alta frecuencia muy alta, que en términos prácticos, la puesta a tierra sea ineficaz.

2.3.4 Esquema de malla de referencia.

Observar que adicionalmente a la estrella mencionada en el punto anterior, los equipos y partes metálicas estructurales se conectan a este tipo de piso mediante trencillas, y que al ofrecer un plano de referencia de tierra, baja la impedancia a tierra en todas las frecuencias.

Sus limitantes son:

- a)* Muchos fabricantes de equipos electrónicos industriales no están de acuerdo con su empleo.
- b)* En ambientes industriales, es difícil su implementación.

Los equipos en racks deben conectarse a tierra no obstante se supondría que los perfiles del rack los pondrían a tierra, lo que no siempre es real porque existen problemas de pintura y de montaje. Para ellos, es mejor la conexión mediante un solo cable y, la punta sobrante conectarla al sistema interno de tierras ya descrito. Este cable es mejor que sea aislado para que no cortocircuiten otros cables que pueda aterrizar el equipo.

El aterrizado de blindajes y el de cables de señal deben ser parte integral del

diseño de sistemas de tierras.

2.4 Requerimientos para la conexión a tierra de centros de cómputo.

2.4.1 Tierra de referencia cero del sistema.

Esta expresión se refiere a un cable o alambre aislado, separado y dedicado que tiene aislamiento color verde o verde con rallas amarillas, que esta conectado a tierra y se instala para computadoras y equipos que cuentan con microprocesadores.

Este es un conductor adicional para la seguridad, el propósito de este “sistema” a tierra es proporcionar un sistema limpio, libre de ruidos, de referencia cero de tierra para las fuentes de alimentación que suplen a la instalación.

El conductor de tierra del sistema no se conecta al conducto o tableros de distribución secundarios por los cuales se desplaza, sino que solo termina en los bloques de terminales “aislados”, en el cable principal de tierra u otra tierra aislada, en el equipo y en el punto único de unión de la fuente de energía.

La tierra de seguridad también debe instalarse y conectarse como se requiere para fines de seguridad por ejemplo, en una toma de tierra duplex aislada, el contacto redondo del receptáculo se conecta a la Terminal flexible aislado de tierra en la parte posterior del receptáculo.

El tornillo que sostiene la lamina frontal del receptáculo se conecta a la tierra de seguridad por medio de los sujetadores de montaje y la caja de metal donde se monta, si se usa una caja de plástico, se requiere un conductor de tierra de seguridad y este debe extenderse junto con el conductor de fase el neutro y los conductores de tierra aislados.

Es de gran importancia establecer un punto único de referencia de tierra para lograr la confiabilidad de un equipo y una satisfactoria operación de los sistemas de cómputo y otros modernos sistemas electrónicos.

La confiabilidad y operación de un sistema computarizado mejorara utilizando esta técnica, la cual se basa en el mantenimiento de un plano equipotencial para todos lo equipos y así evitar diferencias peligrosas de voltaje que puedan afectar el buen funcionamiento del equipo electrónico. Es un hecho que algunos sistemas no operan si no se cuenta con esta técnica. La acometida del edificio debe ser la referencia inicial para el sistema de un solo punto a tierra.

Siempre es necesaria la instalación de un transformador de aislamiento tan cerca de la computadora o sistema de procesamiento de datos como lo sea posible debido a la impedancia que se presentan los conductores largos, lo que genera diferencias de potencial a lo largo del conductor y como consecuencia presenta ruidos eléctricos e interferencias que afectan los equipos electrónicos.

En muchos casos el fabricante de un equipo electrónico especifica un sistema dedicado a tierra el cual se refiere al sistema denominado tierra aislada. En sus instrucciones de instalación del sistema incluye diagramas para la conexión de dos sistemas de tierra, la tierra de seguridad y la tierra aislada, aunque generalmente solo incluye una sola Terminal o accesorio eléctrico de conexión en la armadura del equipo.

La tierra aislada es la tierra de referencia cero para la lógica digital y la mantiene

libre de ruidos eléctricos. El propósito es mantener los equipos eléctricos sensibles protegidos de los ruidos eléctricos producidos por los bucles de tierra y múltiples conexiones a tierra.

Si la armadura del equipo se fija al piso de concreto por medio de un perno y este hace contacto con las barras de refuerzo en el mismo, entonces se crea una trayectoria adicional, en este caso, lazos cerrados de corriente pueden causar ruidos eléctricos que anularían por completo las ventajas de la tierra aislada. El calibre de cables es crucial para los modernos circuitos electrónicos.

Cuando el forro aislante de color verde se usa para la tierra de seguridad, debe utilizarse aislamiento de color verde con rallas amarillas para la tierra del sistema, un solo calibre significa un conductor de cobre de un calibre mínimo AWG No. 8 o del mismo calibre que los conductores portadores de corriente (Conductores de fase).

2.5 Puesta a tierra de sitios de telecomunicaciones

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

El sistema de punto único de conexión a tierra se logra conectando todos los elementos de tierra en un punto común, el cual se conoce como barra principal de tierra.

Todos los equipos de telecomunicaciones y el equipo electrónico siempre están relacionados con la tierra por medio del acoplamiento capacitivo, contactos accidentales o conexiones intencionales, por lo tanto, la conexión a tierra debe considerarse como un sistema total, con varios subsistemas que forman el sistema de puesta a tierra del lugar.

El sistema de puesta a tierra de un sitio de telecomunicaciones consta de varios subsistemas, interiores y exteriores. Estos constan de componentes básicos, configurados para lograr los objetivos de protección buscados y adaptados a las características de cada instalación en particular. A continuación se describen los elementos mediante los cuales se implementa una instalación con estos requerimientos:

2.5.1 Subsistema exterior de tierra

En sitios con antenas de radio el propósito de la conexión a tierra es proporcionar una trayectoria con la impedancia mas baja posible, desde las antenas y la torre, a tierra. La tierra de la torre consiste en un anillo de alambre que esta enterrado alrededor de la base. La tierra externa del edificio consiste por lo general en un alambre enterrado, usualmente en forma de anillo que circunda el edificio.

El anillo exterior de tierra proporciona la conexión primaria a tierra. Los anillos, el de la torre y el del edificio se conectan entre si y se complementan con varillas de tierra. Todos los blindajes de las líneas de transmisión de RF y equipos de entrada se conectan a tierra.

2.5.2 Subsistema de tierra interior

Es preciso que el sistema interno tenga una trayectoria de baja impedancia a tierra y que logre una mínima diferencia de potencial entre las estructuras conductoras del sitio, mientras elimina o minimiza cualquier flujo de sobrecorriente a través del equipo.

Las conexiones internas se efectúan a una barra de cobre, llamada barra principal de tierra (MGB), que ofrece un punto de baja resistencia para todas las tierras internas. Todo equipo RF se conecta directamente a esta barra y a su vez

esta se conecta al anillo externo de tierra, a la conexión de tierra de la línea de alimentación de ca y a otras tierras como la estructura metálica del edificio.

2.6 Conceptos asociados a las instalaciones de tierra de sistemas de telecomunicaciones.

2.6.1 Barra externa de tierra

Esta es una barra de cobre, con orificios taladrados para montar las terminales. Puede estar equipada con una cinta de cobre de 5.8 cm. de longitud (2 pulgadas) y de 1.3mm de espesor, que puede servir como conexión a esta barra, la cual proporciona un punto de baja resistencia para aterrizar las terminales de los accesorios de conexión a tierra de las líneas de transmisión en el punto de entrada en el cuarto del equipo.

2.6.2 Campo de tierra de la oficina central

El campo de tierra de la oficina central puede ser cualquier electrodo de tierra como por ejemplo: Varillas de tierra enterradas, un anillo de tierra o la combinación de electrodos conectados entre si para formar el sistema electrodo de tierra del sitio.

La resistencia a tierra de este campo debe ser igual o menor de 5 ohms. Sin embargo, la industria recomienda una resistencia máxima a tierra de 1 ohm. Todas las conexiones que se realizan bajo tierra y que están asociadas con el campo de tierra deben soldarse con métodos exotérmicos. El conductor que se extiende desde el campo de tierra hasta la barra principal de tierra debe ser continuo

Las torres de radio y los sistemas de protección contra rayos, ya sea el sistema

de atracción/disipación, deben conectarse a tierra a campos de tierra separados y dedicados y conectados conjuntamente al sistema de tierra de la estructura.

2.6.3 Barra principal de tierra

La barra principal de tierra (MGB) es el centro de actividad del sistema de tierra de la oficina central. Es el punto de conexión común para los protectores contra sobrevoltajes transitorios (P) y los absorbedores de carga (A), lo mismo que para las tierras de los equipos de ambas áreas, las no aisladas (N) y las aisladas (I).

La barra MGB es de cobre y esta aislada de su soporte y se ubica fuera del área de zona de tierra aislada (IGZ); sus dimensiones mínimas son 457 mm de largo por 78 mm de anchura y 6.35 mm de espesor. Esta barra se instala por lo general en la pared del sitio, donde se puede proporcionar la trayectoria o ruta más directa del conductor de campo de tierra de la oficina central.

Las antenas de radio y microondas, los blindajes o mallas de cables, los pares trenzados de cables y los conductores de alimentación son ejemplos de productores de sobrevoltajes transitorios. Los absorbedores de este tipo de sobrevoltajes son los elementos de un sistema de tierra de una oficina central que proveen una trayectoria de baja impedancia a tierra.

Los dispositivos de protección contra sobrevoltajes transitorios absorben la energía cuando estos se presentan y los conducen con rapidez a tierra. Los siguientes dispositivos se conectan directamente a la barra principal de tierra:

- El anillo exterior de tierra
- La tubería metálica para agua
- La estructura metálica del edificio
- El sistema de electrodo a tierra

- Tierra de línea de alimentación de ca.

Cualquier objeto que proporcione una trayectoria conductora a las descargas atmosféricas o a los sobrevoltajes transitorios debe conectarse a la porción (P) de la barra MGB. La sección “P” de esta es el punto de conexión para los generadores de sobrevoltaje como:

- Tierras de los equipos de microondas y radio
- Barra de tierra para cables de entrada
- Barra de tierra del panel principal de distribución
- Marco de tierra del generador
- Ventana de entrada de la guía de ondas
- Multiacoplador receptor (RMC)
- Terminales del protector de teléfonos
- Chasis del generador de emergencia

Las conexiones hechas a la sección (N) previenen diferencias de voltaje entre los paneles metálicos del equipo y los ubicados fuera de la zona IGZ. Todas las estructuras del equipo, el hierro de la barra MDF, gabinetes para cable, gabinetes para baterías y otras superficies de metales expuestos que podrían energizarse, están unidos a la barra MGB en este punto.

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

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

2.6.4 Zona de tierra aislada (IGZ)

Esta es el área donde todo el equipo y sus componentes de hierro están aislados

de las otras tierras y de sus conexiones a tierra, excepto una conexión única a la barra de ventana a tierra (GWB).

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

El equipo típico que se puede instalar en la zona IGZ incluye:

- Conmutadores digitales
- Equipo de transmisión dotado de fibras ópticas
- Multiplexores, digital
- Inversores que proporcionan energía de ca dentro de la zona IGZ
- Conductos de cable ubicados dentro de esta zona
- Equipo de telefonía digital

2.6.5 Zona de tierra no aislada

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

2.7 Diferencia entre neutro y tierra.

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

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

En el punto neutro-tierra del tablero principal de distribución, el neutro proporciona la trayectoria de baja impedancia, para la corriente de falla, cerrando el circuito, lo que facilita el disparo de los interruptores de circuito.

Si un conductor neutro se conecta a tierra en cualquier lugar que no sea la fuente de energía, ya sea en forma intencional o accidental, una porción de la corriente neutral de retorno fluirá en el conector de conexión a tierra. En lugares donde los conductores metálicos se usan como conductores de conexión a tierra, esta corriente fluirá por el conducto y en los tableros de distribución. Esta situación representa un peligro potencial ya que se generará un voltaje en el conductor de conexión a tierra, en el conducto o en el tablero.

Este voltaje será igual a la cantidad de corriente de tierra, multiplicada por la trayectoria de tierra desde el punto de conexión a tierra hasta la terminal X_0 de la fuente. Este voltaje podría transmitir una corriente a través del cuerpo humano que pueda fluctuar desde “ninguna sensación”, “sensación de cosquilleo”, “hasta la muerte”, se explicará más adelante cuales son los tipos de accidentes y las consecuencias de esos en el cuerpo humano.

2.8 Conexión a tierra de sistemas y circuitos.

La forma en que debe conectarse una instalación eléctrica a un sistema de puesta a tierra, es mediante un cable conectado a un electrodo y éste contacto con la tierra, es decir que este electrodo se encuentre enterrado. Según la Norma Oficial del NEC, este electrodo debe de estar enterrado a 3 m de profundidad para asegurar el contacto con el terreno (además de que a esta profundidad hay mas humedad).

El conductor que se use para la instalación de puesta a tierra no debe de estar seccionado, es decir debe procurarse que sea un conductor continuo para asegurar la conexión a tierra, en caso de que tuviese que seccionar el conductor se recomienda que las uniones sean soldadas esto con el fin de que haya un buen

contacto ente los conductores que estemos usando.

También es recomendable que el cable usado para la instalación del sistema de puesta a tierra, sea un cable desnudo, en el caso de que se decida usar un cable forrado, por norma este conductor debe ser color verde con el fin de poder identificarlo mas fácilmente de los cables de neutro y fase, por si se necesita hacer mantenimiento en el sistema de puesta a tierra.

2.9 Elementos de un sistema de puesta a tierra.

Los elementos que usamos para efectuar una instalación de puesta a tierra son los siguientes:

Electrodos: Estas son varillas (generalmente de cobre) que son resistentes a la corrosión por las sales de la tierra, que van enterradas a la tierra a una profundidad de 3m para servirnos como el elemento que nos disipara la corriente en la tierra en caso de alguna falla de nuestra instalación o de alguna sobrecarga, las varillas mas usadas para este tipo de instalaciones son las varillas de marca copperwell ya que son las que cumplen con las mejores características.

Conductor o cable: Este como ya se había mencionado es el que nos permitirá hacer la conexión de nuestro electrodo hacia las demás partes dentro de nuestro edificio. Debe procurarse que este cable no sea seccionado y en caso de ser necesario debe preferentemente ser soldado para poder asegurarse de su contacto y continuidad del sistema de conexión, pero hay que aclarar que no se puede usar cualquier soldadura sino que debe usarse soldadura exotérmica, ya que al calentar el cobre del conductor este puede dañarse y ya no tendría un buen contacto con la soldadura que se le coloque.

Otro punto importante sobre este conductor es que debe procurarse usar un cable desnudo para que todas las partes metálicas de la instalación queden conectadas a tierra. En el caso de que se use un cable con aislante este debe ser

color verde para poder distinguirlo de los otros cables.

2.9.1 Selección del conductor conectado a tierra.

El conductor de menor calibre cuyo uso está permitido para instalarse en paralelo es de calibre 1/0, esto sólo se aplica al conductor conectado a tierra, cuando los conductores se conectan en paralelo.

Este requisito se aplica a dos tipos de instalaciones: 1) Cuando el conductor conectado a tierra se usa como conductor de circuito y 2) Cuando el conductor conectado a tierra no es un conductor de circuito y se hace llegar hasta el tablero de servicio.

Las reglas básicas para calcular el calibre del conductor conectado a tierra:

- Leer directamente de la tabla 250.66 (Anexo 6) si el tamaño de los conductores de alimentación no es superior a 1100 kcmil para conductores de cobre o de 1750 Kcmil para conductores de aluminio.
- Cuando los conductores de entrada de servicio son superiores a 1100 kcmil de cobre o 1750 kcmil de aluminio, el conductor conectado a tierra no será mayor de 12.5% del tamaño del conductor de fase de mayor calibre.
- Cuando los conductores de fase se instalen en paralelo, el calibre del conductor conectado a tierra depende de la sección transversal total de cualquiera de las fases.

Resumiendo, cuando los conductores de fase de entrada de servicio no exceden 1100 kcmil de cobre o 1750 kcmil de aluminio, se aplica la tabla 250.66 (Anexo 6).

2.9.2 Naturaleza de los Conductores.

Los conductores y cables que se empleen en las instalaciones de puesta a tierra serán de cobre o aluminio y serán siempre aislados, excepto cuando vayan montados sobre aisladores.

2.9.3 Sección de los conductores “Caídas de tensión”.

La sección de los conductores a utilizar se determinará de forma que la caída de tensión entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización sea menor del 3 % de la tensión nominal para cualquier circuito interior de viviendas, y para otras instalaciones interiores o receptoras, del 3 % para alumbrado y del 5 % para los demás usos. El valor de la caída de tensión podrá compensarse entre la de la instalación interior y la de las derivaciones individuales, de forma que la caída de tensión total sea inferior a la suma de los valores límites especificados para ambas, según el tipo de esquema utilizado.

En instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas debidas cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, la sección del conductor neutro será como mínimo igual a la de las fases.

2.9.4 Conductor de tierra para diferentes sistemas.

En los casos donde existan sistemas a distinto potencial, instalados en una misma caja de distribución o cualquier otro tipo de tubería conductora de cables de alimentación eléctrica, se deberá identificar el conductor de tierra de cada uno de los sistemas. Esto permitirá identificar a cada circuito dentro de la caja principal de distribución.

El conductor de tierra de diferentes circuitos, es identificado individualmente para cada uno, esto se hace usando los distintos colores de identificación de conductor de tierra. (Ver Anexo 7)

2.9.5 Código de colores en sistemas de puesta a tierra.

El siguiente código de colores debe ser usado en los conductores de tierra para circuitos mayores a 50 voltios:

- a) Conductores con forro aislante color blanco o gris.
- b) Conductores con forro aislante con tres líneas continuas blancas o verdes, el caso mas común color amarillo con líneas verdes.
- c) Marcando el conductor de color blanco o gris en el terminal de este.

2.10 Diseño de una malla de puesta a tierra.

Idealmente un sistema de puesta a tierra debe tener una resistencia tan baja como sea posible; pero realmente es casi imposible mantener los potenciales de tierra dentro de los valores adecuados cuando los valores de corriente de falla son muy intensos.

Generalmente los sistemas de tierra a nivel industrial consisten en una malla conformada por electrodos enterrados y ubicados a ciertas distancias, formando un rectángulo o cuadrado, y conductores de tierra instalados en forma horizontal, los electrodos de tierra pueden usarse o no; pero esto dependerá del diseño de la malla de tierra.

Lo realmente importante es que por razones de seguridad todas las estructuras metálicas y cubiertas de equipos, incluyendo las rejillas metálicas ubicadas en áreas de trabajo, se deban conectar a la malla de tierra. Las normas indican que el diseño de una red de tierra o malla de tierra debe tener presente los potenciales de paso y de contacto para brindar protección a las personas.

Antes de comenzar el diseño es necesario efectuar un análisis general del área y

del cubrimiento de la malla. Un diseño preliminar incluirá la longitud y el calibre del conductor que se extiende alrededor de la periferia del área, más los conductores en paralelo para brindar acceso a la conexión de los equipos.

A continuación se presenta el procedimiento general para el diseño de una red de tierra:

1. Cálculo del área del terreno donde se va a instalar la malla.
2. Cálculo del radio equivalente de esta área.
3. Dibujar un rectángulo sobre esta área.
4. Insertar una malla sobre este rectángulo.
5. Calcular la longitud del conductor requerido que se propone.
6. Eliminar las partes de la malla ideal que se ubiquen fuera del área que se requiera aterrizar.
7. Dibujar esta malla sobre el rectángulo.
8. Medir la longitud real del conductor resultante.
9. Medir la resistividad del terreno.
10. Calcular las corrientes de cortocircuito.
11. Calcular el calibre del conductor de puesta a tierra.
12. Calcular la resistencia de malla.
13. Calcular las corrientes máximas de la malla.
14. Análisis de las tensiones de paso y de toque.
15. Si es necesario, realizar el tratamiento químico del suelo, para determinar la utilización de suelo artificial.
16. Medición de la resistencia de la malla de puesta a tierra para comprobar el cálculo teórico.

Después de un análisis general de la configuración geométrica y del área que se requiere aterrizar, se mide la resistencia del suelo mediante cualquiera de los métodos que se explicaran en el capítulo 3. Las fórmulas para el diseño de una malla de puesta a tierra que establece la IEEE, son uno de los métodos mas usados en el mundo. La IEEE establece ciertos parámetros fundamentales para realizar el cálculo

de la malla, estos son:

1. Valor máximo de la resistencia de puesta a tierra.
2. Tiempo máximo de la duración de la falla en segundos.
3. Resistividad del terreno.

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

A continuación se presenta el procedimiento general para calcular la malla de tierra:

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

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde r = radio de área circular equivalente a A.

2.10.1 Cálculo de corrientes de cortocircuito.

$$\blacktriangleright I_{\text{sec}} = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} \times E} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Corriente máxima en el secundario.

En donde:

KVA = Potencia del transformador.

E = Voltaje entre fase y fase.

$$\Rightarrow I_{cc}^{m\acute{a}x} = \frac{100\%}{Z\%} I_{sec} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Corriente de cortocircuito simétrica máxima.

En donde:

Z% = Impedancia del transformador.

$$\Rightarrow I_{cc}^{asim} = I_{cc}^{m\acute{a}x} \times F_{asim} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Corriente de cortocircuito asimétrica.

Donde F_{asim} = Factor de asimetría

(Depende de la relación X/R en el punto de falla).

2.10.2 Calculo del calibre conductor de puesta a tierra.

El calibre del conductor depende del valor de la corriente de falla, el tiempo de duración de ésta y el material del que esta hecho el conductor. Se han establecido valores mínimos que tiene la capacidad térmica para disipar la corriente de falla impuesta. El calibre se puede determinar utilizando diferentes métodos.

- a) Utilizando en forma práctica los valores de la tabla en el anexo 10. esta presenta el calibre mínimo de los conductores, por ampere, en función del tiempo de duración de la falla. En las subestaciones eléctricas usualmente se utiliza, por razones mecánicas, como calibre mínimo el conductor número 4/0 de cobre.

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

El siguiente método es una forma práctica de calcular la corriente máxima de un conductor antes de que sufra daños.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{\text{sección transversal}(cmils)}{42.25cmils} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Se ha establecido que un conductor de cobre puede transportar una corriente de 1 ampere por 5 segundos por cada 42.25 cmils de la sección transversal sin ser destruido.

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

$$A = I \sqrt{\frac{33s}{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

En donde:

A = Área del conductor en milésimas circulares (cmils).

I = Corriente máxima de falla a tierra en amperes.

s = Tiempo durante el cual fluye la corriente de falla.

T_m = Temperatura máxima de fusión, en °C, ver tabla de Anexo 11.

T_a = Temperatura ambiente en °C.

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

En la determinación de la sección transversal o calibre del conductor usado en la malla de tierra intervienen varios factores, los cuales se detallan a continuación:

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

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, el calibre mínimo del conductor del electrodo de tierra se determina por medio de la tabla 250.66 del NEC (Ver anexo 6).

Para calibres mínimos de conductor de tierra de seguridad o tierra del equipo, se utiliza la tabla 250.122 del NEC (Ver anexo 5).

c) El calibre del conductor se calcula de la siguiente forma:

$$A(\text{mm}^2) = I \sqrt{\frac{t_c \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP \ln \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]}} \quad \text{Ec. 2.7}$$

En donde:

A = Sección transversal del conductor (mm²).

I = Corriente simétrica de falla.

T_m = temperatura máxima permisible (°C).

T = Temperatura de referencia para diferentes materiales (°C).

T_a = Temperatura ambiente (°C).

t_c = Tiempo durante el cual circula la corriente de falla.

α₁ = Coeficiente de resistencia térmica a 0°C.

α₂ = Coeficiente de resistencia térmica a la temperatura de referencia T.

ρ = Resistividad del conductor de la malla de tierra a la temperatura de

referencia T.

Para conductores de cobre: $1/56 \mu\Omega/\text{cm}$.

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

T = Duración de las corrientes de falla (s) normalmente 0.5 s.

TCAP = factor de capacidad térmica.

Cálculo de Km.:

$$Km = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left[\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \dots \frac{2n-3}{2(n-1)}\right] \quad \text{Ec. 2.8}$$

En donde:

d = Separación entre los conductores de malla (m).

D= Diámetro del conductor (m).

h = profundidad de la zanja donde se entierra la malla (m).

n = Número de conductores.

2.10.3 Cálculo de la longitud aproximada que se debe enterrar para el conductor.

$$\rho = 2\pi dR \quad \text{Ec. 2.9}$$

En donde:

ρ = Resistividad del terreno ($\Omega\text{-m}$).

R = Resistencia del terreno (Ω).

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

$$L = \frac{K_m \times k_i \rho \times I \sqrt{t}}{165 + 0.25 \rho_s} \text{ m.} \quad \text{Ec. 2.10}$$

En donde:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left[\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8}\right] \quad \text{Ec. 2.11}$$

En donde:

d = Separación entre los conductores paralelos (20 metros promedio).

H = Profundidad de la malla (0.5 metros en promedio).

D= Diámetro equivalente del conductor de la malla.

n = Número de conductores.

$K_i = 0.656 + 0.172n$ Donde n = número de conductores en paralelo de la malla, que se extiende en una dirección.

2.10.4 Cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra.

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

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

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad \text{Ec. 2.12}$$

En donde:

Rg = resistencia de la red de tierra, en ohms.

ρ = Resistividad promedio en Ω -m.

A = Área ocupada por la malla.

r = Radio equivalente en m.

L = Longitud total del conductor enterrado.

- b) Cuando se utilizan placas, el cálculo de la resistencia de éstas (de espesor no menor de ¼ de pulgada), cuya forma es rectangular, se puede determinar de la siguiente forma:

$$R_{placa} = 0.8 \frac{\rho_a}{L} \quad \text{Ec. 2.13}$$

En donde:

ρ_a = Resistividad aparente del terreno.

L = Perímetro de la placa.

- c) En el caso de los electrodos artificiales o fabricados tales como varillas o tubos, se utiliza la formula predeterminada. Estos electrodos se fabrican usualmente de acero con recubrimiento de cobre, tienen una longitud mínima de 2.44 m, un diámetro mínimo de ¾ de pulgada para tubos y de 5/8 de pulgada para varillas de hierro, acero y cobre.

En donde: ρ = Resistividad del suelo.

$$R_{varilla} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} - 1 \right) \right]$$

Ec. 2.14

L = Longitud de la varilla.

d = Diámetro de la varilla.

2.10.5 Corriente máxima de la malla.

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

$$I_G = C_p \times Fasim \times I_g \quad \text{Ec. 2.15}$$

En donde:

C_p = Factor de proyección.

Fasim = Factor de asimetría.

I_g = Corriente simétrica de malla.

$$I_g = S_F \times I_{CC} máx \quad \text{Ec. 2.16}$$

El factor de división de corriente (S_F) es la relación que expresa la corriente que debe disipar la malla de tierra y la corriente total que disiparan tanto la conexión a tierra de los transformadores y la malla de tierra como el resto de las polarizaciones.

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

2.10.6 Análisis de tensiones de paso y toque.

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

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

El valor tolerable del voltaje de paso es:

$$V_p = \frac{k_s \times k_i \times \rho \times I_{CC}}{L_T} \quad \text{Voltios} \quad \text{Ec. 2.17}$$

En donde:

VP = Voltaje de paso o de malla.

LT = Longitud de conductor enterizado para mantener el voltaje de malla dentro de los límites de seguridad.

K_s = Factor que.

K_i = Factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.

ρ = Resistividad del terreno.

I_{cc} = Corriente de corto circuito trifasica en Amp.

La resistencia total del sistema será la suma de la conexión en paralelo de los electrodos formados por el acero de refuerzo de los cimientos y la resistencia de la malla. Las fórmulas para calcular la resistencia a tierra de diferentes electrodos de tierra con diferentes configuraciones se presentan en el anexo 12.

2.11 Fallas a tierra.

Las falla a tierra no pueden ser prevenidas por una conexión a tierra, pero una puesta a tierra correcta puede limitar el tiempo de falla, debido a esto se restringe la duración del peligro. Las fallas pueden ocurrir en el lado de la línea o en el dispositivo de protección, esto a causa de sobrecorrientes en el servicio.

Como regla general, el lado de la línea del tablero de servicio sólo lo protege el sistema de alimentación de la compañía distribuidora de energía eléctrica y su respectivo sistema de protección, el cual no separará una falla a tierra en el lado de la línea de servicio. La única protección contra sobrecorrientes se encuentra en el lado primario del transformador. Por lo tanto, debe establecerse una continuidad efectiva en el lado de la línea del tablero de servicio de tal forma que cuando ocurra una falla, se aclare tan pronto como sea posible.

2.11.1 Tipos de falla.

Las fallas por lo general se dividen en dos tipos: directas o de fase y fallas a tierra, fig. 2.2. Una falla directa puede ocurrir por un cortocircuito de fase a fase, también conocida como falla de "línea a línea". Un cortocircuito de fase a neutro también puede considerarse como falla directa, aunque las fallas de este tipo son

accidentes en la mayoría de los casos. La falla a tierra ocurre cuando un conductor de fase se conecta a tierra, por ejemplo una cubierta metálica. En una falla a tierra circulará aproximadamente un 75% de la corriente de falla directa (fase a fase).

Al presentarse una falla a tierra, el conductor a tierra del equipo cumple una función importante: proporcionar una trayectoria de baja impedancia para la corriente de falla.

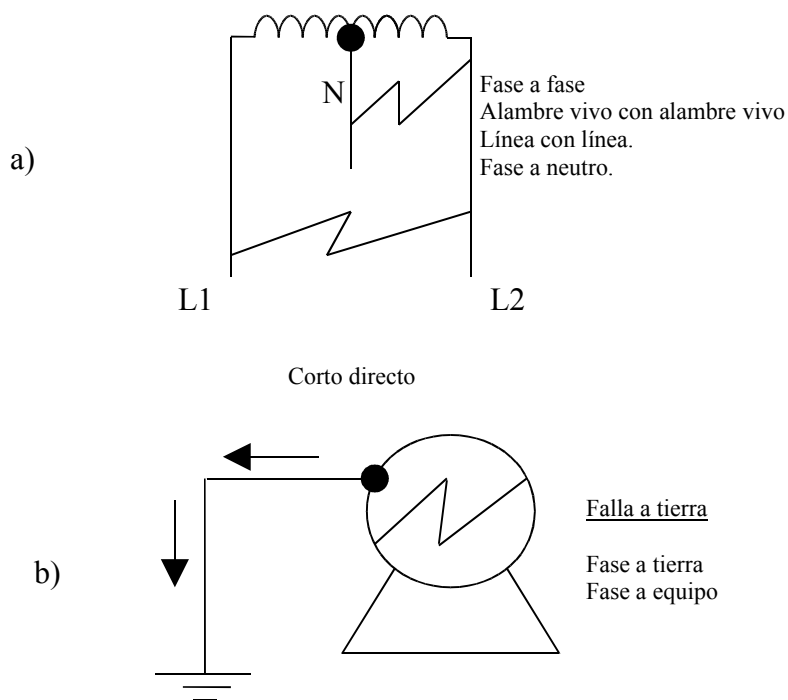


Fig. 2.2
Tipos de falla:
a) Falla directa.
b) Falla a tierra.

Una sobrecarga ocurre cuando un equipo eléctrico o un conductor transportan una corriente que rebasa su capacidad nominal. Cuando 22 A se conectan a un circuito con un amperaje equivalente, éste se sobrecarga pero los 22 A no son una corriente de falla.

Las fallas eléctricas provocan la aparición de sobrecorrientes. Algunos

dispositivos de protección contra sobrecargas son diseñados para enfrentar exclusivamente sobrecargas, y otros están diseñados para brindar protección contra sobrecargas y sobrecorrientes.

Las corrientes de falla de miles de amperes pueden ocurrir en un sistema eléctrico bien diseñado. Esto puede producir voltajes extremos en el punto de la falla, si no se usa un conductor a tierra con un calibre adecuado.

Por razones de seguridad personal, esta corriente de cortocircuito debe interrumpirse de inmediato mediante un fusible de protección o interruptores automáticos.

Los fusibles o interruptores automáticos protegen contra las fallas de línea a neutro, como las fallas de línea a tierra. Por consiguiente, la trayectoria de retorno a tierra debe tener una baja impedancia para que no se limite la corriente de falla a un valor que pueda prevenir el disparo inmediato del dispositivo de protección. Con el fin de proteger vidas humanas, la corriente de falla debe tener un valor inferior a 6 veces la corriente del interruptor o la capacidad de corriente del fusible.

La conexión entre el punto de falla – conducto metálico o cubierta – y el punto de unión neutral – tierra no debe permitir que la corriente de falla fluya a través de una trayectoria que incluya al sistema del electrodo de tierra u otra conexión de alta resistencia.

2.12 Tipos de accidentes que pueden ocurrir al no existir una red de tierra.

Los fenómenos fisiológicos que produce la corriente eléctrica en el organismo humano dependen del valor de la intensidad de la corriente, tiempo de duración del contacto, callosidad, sexo, estado de epidermis, peso, altura, estado de animo, estado del punto de contacto a tierra.

Respecto al concepto de alta o baja tensión, se debe de tener en cuenta que la

corriente eléctrica provoca la muerte por fibrilación ventricular, al contrario de la de alta tensión, que lo hace por la destrucción de los órganos o por asfixia, debido al bloqueo del sistema nervioso.

Estos efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano varían en función del valor de la intensidad, de acuerdo a la tabla 2.1

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

Tabla 2.1 Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica.

Los valores y efectos mostrados en la tabla anterior pueden variar según el tiempo que dure el paso de la corriente eléctrica. Los valores máximos de intensidad y corriente son:

- Para tiempos inferiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 300 mA.

- Para tiempos superiores a 150 milisegundos no hay riesgo, siempre que la intensidad no supere los 30 mA.
- La fibrilación ventricular del corazón es una acción independiente de las fibras musculares cardíacas, que produce una contracción incoordinada y que entraña la supresión inmediata de la actividad fisiológica del corazón.
- Al no poder circular la sangre oxigenada, y en particular, no llegar al cerebro, se producen lesiones cerebro bulbares graves.
- Esto no alerta sobre la rapidez con que debe interrumpirse el paso de la corriente por el organismo. Existen otros fenómenos fisiológicos producidos por la intensidad de la corriente eléctrica o por el trayecto seguido por esta que pueden conducir a la muerte; lesiones encefálicas, bloqueo de la epiglotis, laringoespasma, espasmo coronario, y shock global.

Otra manifestación que puede provocar la corriente eléctrica en el cuerpo humano es por medio de quemaduras, generada de dos formas distintas:

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

2.12.1 Causas de accidentes eléctricos

- Falta de prevención
- Exceso de confianza
- Fallas técnicas
- Fallas humanas
- Imprudencia

- Ignorancia

Existe una formula que puede usarse para calcular la cantidad de corriente que pasa a través del cuerpo y es la siguiente:

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

En donde:

T = Duración de la corriente de falla en segundos, y generalmente tiene un valor menor a 3 s.

Es por estos motivos que resulta necesario tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar este tipo de accidentes y contar con un sistema de puesta a tierra eficiente podemos evitar muchas lesiones ocasionadas por la corriente eléctrica, ya que en la actualidad casi todas nuestras actividades están vinculadas con el uso de la electricidad.

2.12.2 Factores que intervienen en el accidente eléctrico:

- | | |
|--|---|
| • Valor de la intensidad de la corriente eléctrica | que presenta el organismo |
| • Valor de la tensión | • La trayectoria que siga la corriente por el organismo |
| • Tiempo de paso de la corriente eléctrica | • Naturaleza de la corriente |
| • Valor de la resistencia óhmica | • Valor de la frecuencia en el caso de AC. |
| | • Capacidad de reacción del organismo |

De los factores anteriores se destacan:

- a) Valor de la intensidad de la corriente eléctrica: Se suele llamar también “umbral absoluto de intensidad” y representa la máxima intensidad que puede soportar una persona sin peligro, independientemente del tiempo que dure su exposición a la corriente. Se fija para la corriente eléctrica

alterna de frecuencia 50 Hz. entre 10 y 30 mA, según el sexo y edad de la persona.

- b) Valor de la resistencia óhmica del cuerpo: Diversos estudios experimentales demuestran que la impedancia del cuerpo humano es siempre resistiva pura. Se ha comprobado que para corriente alterna cuya frecuencia sea superior a 10kHz. No provoca mas efectos que el de calentar los tejidos por donde paso la corriente. En lo que a baja tensión respecta se puede considerar el comportamiento de los dipolos del cuerpo humano aproximadamente lineal. El valor de la resistencia en cada uno de ellos depende de diversas circunstancias. La más importante es la humedad de la piel, que llega a valores de 100000 ohms cuando esta seca y desciende considerablemente en estado de humedad.

- c) Tiempo de paso de la corriente eléctrica: Se denomina “umbral absoluto de tiempo” y representa el tiempo en que una persona puede soportar el paso de la corriente eléctrica sin peligro, en baja tensión, de intensidad por su cuerpo.

2.13 Mejoramiento de las puestas a tierra.

- a) Usando varillas de mayor diámetro.
- b) Usando varillas más largas.
- c) Colocando 2, 3 o más varillas en paralelo.
- d) Tratando químicamente el suelo.

La forma de ampliar el diámetro teórico de los electrodos, además de mantener o aumentar la conductividad, es usando tres elementos:

Bentonita: Arcilla (mineral montmorillonita, silicato de aluminio y absorbe hasta 5 veces su peso de agua e hincharse hasta 13 veces su volumen seco). Tiene una resistividad aproximada de 250 [Ω -cm.] con humedad del 300%. La primera carga dura de 2 a 3 años.

Gel: Base de silicatos dobles de aluminio y magnesio, complementados con sales químicas.

Gem 25: Cemento conductor (sólido), no requiere humectación y mantenimiento; con resistividad aproximada 12 [Ω -cm.]

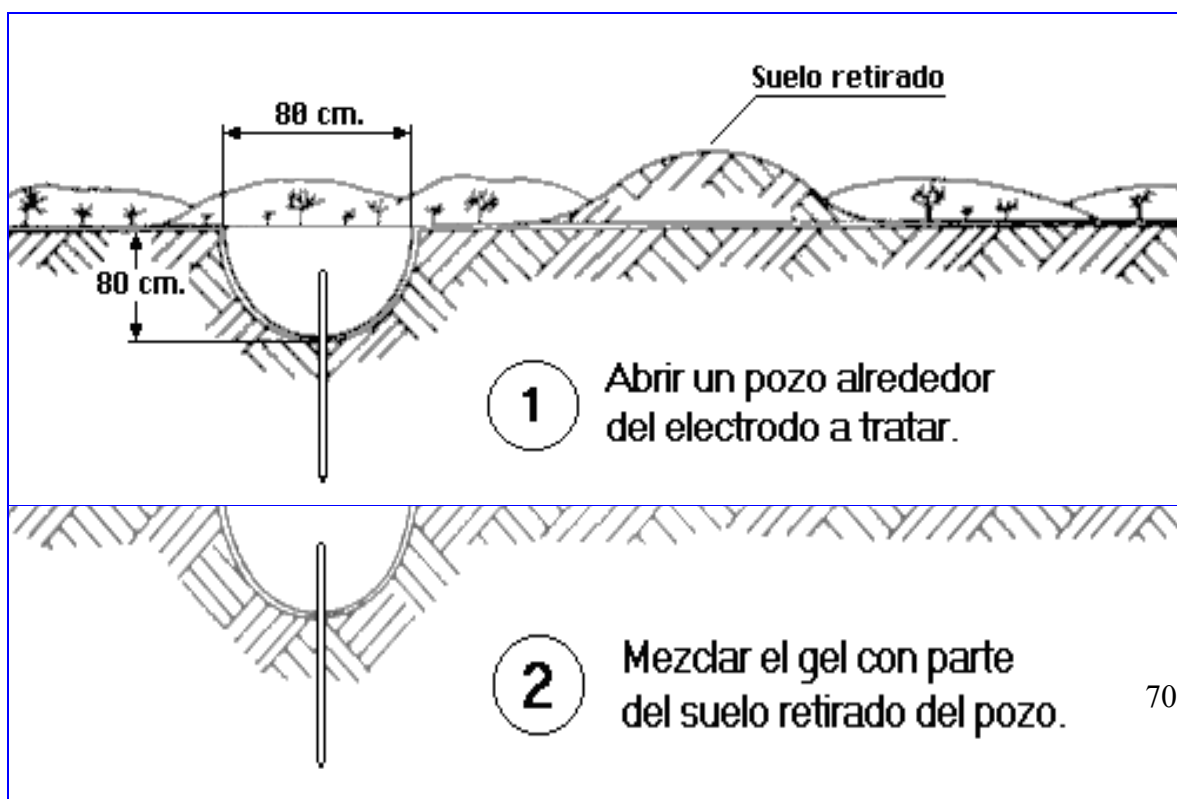
2.14 Formas básicas de mejoramiento de las puestas a tierra.

Dependiendo del largo de los electrodos, se clasifican en electrodos de hasta 3 metros y mayores de 3 metros, los métodos se detallan a continuación:

a) Electrodos de hasta 3 m.

La ventaja de este método es: bajo costo, facilidad y rapidez.

Forma en la que se emplea:



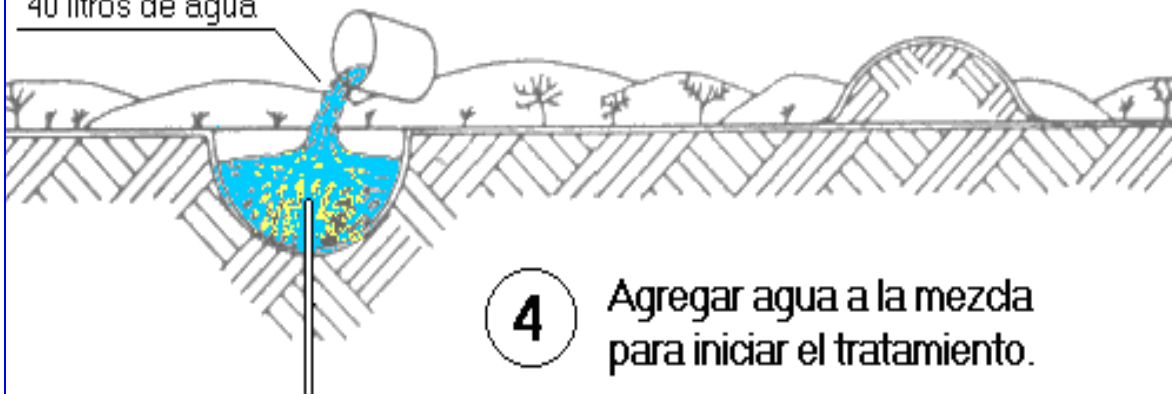
Mezcla del suelo natural con el gel.



3

Reponer la mezcla de tierra y gel en el pozo sobre el electrodo.

Aproximadamente
40 litros de agua



4

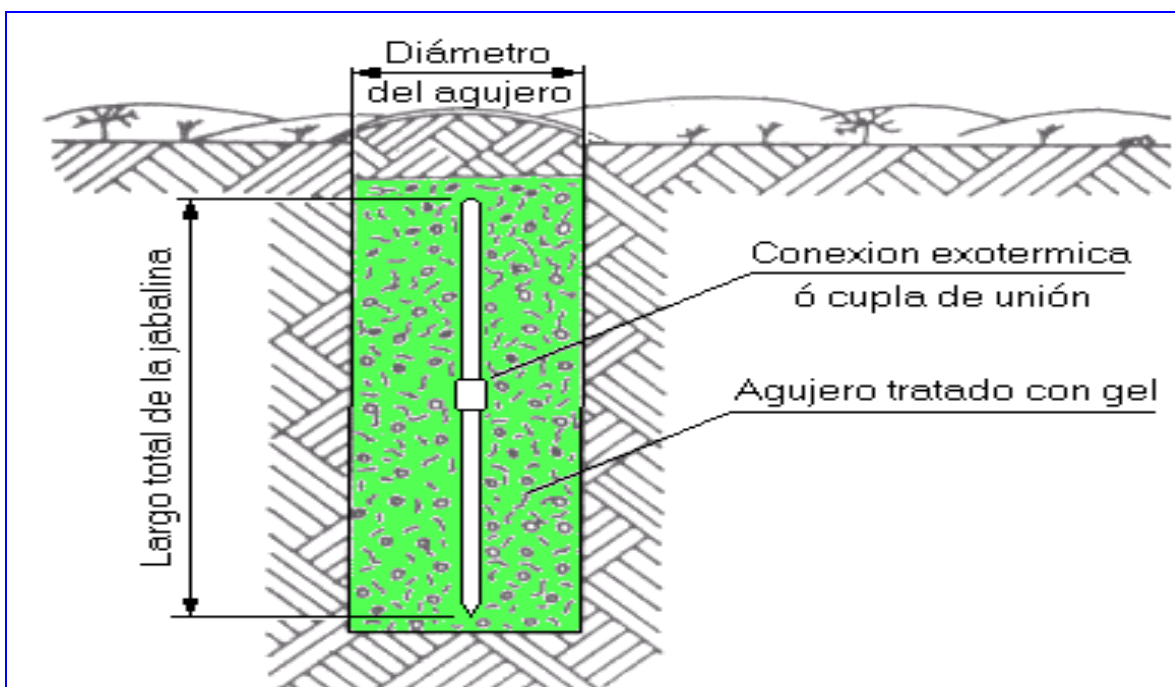
Agregar agua a la mezcla para iniciar el tratamiento.

5

Agitar la mezcla, hasta formar una pasta homogénea.

b) Electrodo de más de 3 m.

En este caso conviene usar el siguiente método:



1. Realizar una perforación de una profundidad 0,50 m. Mayor que el largo total de los electrodos a instalar, con un diámetro de 0,20 m.
2. a) Si se emplea GEL, mezclar este con la mitad del terreno retirado de la perforación, agregar 20 litros de agua por cada dosis de gel utilizada. Luego de

formar una mezcla homogénea, rellenar la perforación y proceder a hincar las jabalinas.

b) Si se emplea BENTONITA, mezclar esta en partes iguales con yeso y rellenar la perforación. Hincar las jabalinas, y a continuación humedecer la mezcla vertiendo agua en forma lenta, preferentemente sobre la jabalina.

3. La instalación ha finalizado.

Beneficios:

1. Ahorro en el consumo de energía eléctrica, al corregir la ineficiencia del neutro de su instalación y disminuir el factor de pérdidas.
2. Atenuación de picos, transitorios, y demás fluctuaciones de energía eléctrica que dañan y destruye sus aparatos electrónicos.
3. Mayor calidad en imagen y sonido para equipos de video como: televisión, dvd y video caseteras.
4. Sonido limpio, claro y definido para los equipos de sonido.
5. Mejor recepción de señales de radio a.m. f.m. y s.w.
6. Mayor eficiencia en el sistema de enfriamiento y congelación de los refrigeradores, el cual operará menos tiempo para dar el servicio que se le exige.
7. Mayor eficiencia en la potencia nominal para las lavadoras y secadoras de ropa.
8. Cancelación de interferencias de radiofrecuencia (rfi) y electromagnéticas (emi).
9. Se puede escuchar radio de a.m. sin ruidos molestos o interferencias.
10. Mayor calidad de vida, al disminuir peligrosos niveles de señales o ruido eléctrico y electromagnético que afectan la salud.
11. Menos calentamiento de motores, aparatos, equipos, accesorios y los cables de la instalación eléctrica.
12. Mayor eficiencia y vida útil del cableado de su instalación eléctrica.
13. Menor riesgo de explosión de tanques de gas, al cancelar peligrosos gradientes de potencial entre tubería de cobre, tanques, motor de bombeo de agua y calentador.

14. Seguridad y protección eléctrica para los seres vivos, contra descargas eléctricas y cortos circuitos.

2.15 Cómo detectar un sistema neutro-tierra incorrecto.

La relación del voltaje entre el conductor neutro y de tierra puede ser un buen indicio de la calidad del sistema de tierra. En una instalación de alto grado, todas las conexiones del alambrado son de mínima resistencia y su cantidad se mantienen en un mínimo.

El conductor de tierra no debería de transportar corriente, si el conductor de neutro porta corriente, habrá un voltaje generado entre éste y los conductores de tierra, que representan una caída de voltaje en el conductor neutro. Con una unión apropiada neutro-tierra, no existe corriente en el conductor de conexión a tierra, si se hiciese una medición entre el conductor neutral y el conductor de tierra, mostrará el voltaje desarrollado, desde ese punto en el conductor neutro al punto de unión neutro-tierra. El voltaje es producto de la cantidad de corriente del conductor neutro, multiplicada por la resistencia del conductor neutro, más cualquier otra conexión resistiva entre los puntos de unión neutro-tierra y el punto de medición.

CAPITULO 3. RESISTIVIDAD DEL TERRENO

3.1 Definición de resistividad del terreno

La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m³ de tierra, dicho de otra manera es la resistencia que ofrece un sistema de tierra al paso de la corriente eléctrica. Este valor de resistencia depende de la resistividad del terreno, de las características físicas del electrodo a tierra (diámetro, área, longitud, etc.) y también de la longitud y el área de los conductores.

Estos datos son de mucha importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra. El valor de resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto a potencial cero.

Los tópicos y datos utilizados en el capítulo 1 se retoman en este capítulo como parte de la orientación y conocimiento de las características del terreno y los valores de resistencia de algunas capas de suelos.

La Tabla 1.1 dá, a título de orientación, unos valores de la resistividad para un cierto número de terrenos. Con el fin de obtener una primera aproximación de la resistencia de tierra, los cálculos pueden efectuarse utilizando los valores medios indicados en la Tabla 1.2.

Bien entendido que los cálculos efectuados a partir de estos valores no dan más

que un valor muy aproximado de la resistencia de tierra del electrodo. La medida de resistencia de tierra de este electrodo puede permitir, aplicando las fórmulas dadas en el anexo 12, estimar el valor medio local de la resistividad del terreno; el conocimiento de este valor puede ser útil para trabajos posteriores efectuados en unas condiciones análogas.

3.2 Factores que afectan la resistividad del terreno

En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación y las variaciones estacionales.

3.2.1 Naturaleza del Terreno.

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

3.2.2 Humedad.

Aquí varía la resistividad según la humedad del terreno, mientras mas húmedo sea éste mas baja será la resistividad del terreno y mientras mas seco este el terreno mayor será la resistividad de éste, es por esta razón que debe procurarse un terreno un poco más húmedo para obtener mejores valores.

3.2.3 Temperatura.

Aquí también la temperatura afecta en las mediciones ya que el calor crea una resistencia en el terreno, ya que es como si se tuviera un terreno seco. Y por el contrario a temperaturas muy bajas la poca humedad que hay en el terreno puede

congelarse (solo la superficie del agua), y como se sabe el hielo no es un buen conductor por lo que se eleva la resistividad del terreno.

3.2.4 Salinidad.

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

3.2.5 Estratigrafía.

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

3.2.6 Compactación.

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

3.2.7 Variaciones estacionales.

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

Debido a la uniformidad del terreno, cuando se mide la resistividad del terreno en un punto, por cualquier método, el valor que se obtiene es llamado resistividad media o aparente. Por esto se recomienda hacer varias mediciones en el terreno en

diferentes posiciones y después sacar un promedio de estas para obtener un valor de resistividad más exacto.

3.3 Métodos para medir impedancias de puesta a tierra.

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad de la roca, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, planta generadora o trasmisora en radiofrecuencia. Asimismo puede ser empleada para indicar el grado de corrosión de tuberías. En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión.

Las conexiones de puesta a tierra en general poseen impedancia compleja, teniendo componentes inductivas, capacitivas y resistivas, todas las cuales afectan las cualidades de conducción de la corriente. Las resistencias de la conexión son de particular interés en los sistemas de transmisión de energía (bajas frecuencias), debido a la conexión. Por el contrario, los valores de capacitancia e inductancia son de particular interés en altas frecuencias como en comunicaciones de radio y descargas atmosféricas.

Además de lo anteriormente expuesto, las mediciones de puesta a tierra se hacen para:

- d) Proteger efectivamente los sistemas contra los efectos de las descargas atmosféricas.
- e) Proporcionar un medio para disipar la corriente eléctrica en la tierra bajo condicione normales o de corto circuito, sin exceder ningún limite

operacional de los equipos o suspender la continuidad del servicio.

- f) Minimizar la interferencia de los circuitos eléctricos de transmisión y distribución con los sistemas de comunicación y control.

3.4 Principios y métodos de puesta a tierra.

Dentro de los propósitos principales para los cuales se determinan los valores de impedancia de puesta a tierra están:

- a) Determinar la impedancia actual de las conexiones de puesta a tierra.
- b) Como control y verificación de los cálculos en el diseño de sistemas de distribución de puesta a tierra.
- c) La adecuación de una puesta a tierra para transmisión de radiofrecuencia.
- d) La adecuación de la puesta a tierra para protección contra descargas atmosféricas.
- e) Asegurar, mediante el diseño apropiado de la puesta a tierra, el buen funcionamiento de los equipos de protección.

A la par de la resistencia de valor óhmico (activa), existe una componente reactiva que hay que tener en cuenta cuando el valor óhmico es menor a 0.5 W, pero es despreciable cuando el valor óhmico es mayor a 1 W.

La resistencia de toma de tierra es, prácticamente, la resistencia del volumen del material del terreno que rodea el elemento de la toma hasta una distancia aproximada 5 m. Las mediciones de tierra deben realizarse, no solo durante la energización, sino periódicamente para determinar las posibles variaciones.

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

de las mediciones, y que son:

- a) El tipo de prueba.
- b) El tipo de aparato empleado.
- c) El lugar físico de las puntas de prueba.

a) Tipo de prueba.

Existen dos tipos de pruebas fundamentalmente. Las demás son variaciones de éstas. Aunque muy parecidas, los resultados de las mediciones no son exactamente los mismos. Los métodos son:

Método de caída de potencial: Llamado también: Tres Puntos, 62%, etc.

Método Directo: También conocido como: Dos Puntos. - No reconocido en la NOM-001SEMP-1994.

b) Tipo de aparato.

No todos los aparatos de medición de resistencia a tierra trabajan de la misma manera. Existen diferentes tipos de aparatos utilizados para medir la resistencia de tierra de mallas establecidas y terrenos aptos, algunos tipos de aparatos y sus características se presentan el Anexo 3.

c) Lugar físico de las puntas de prueba.

Las varillas electrodos de los instrumentos de medición pueden ser colocadas en todas direcciones como a una infinidad de distancias entre ellas. Aunque es el mismo punto de medida, las lecturas no son idénticas; a veces ni en terrenos vírgenes debido a la presencia de corrientes de agua o de capas de distinta resistividad. En los terrenos industriales es aún mayor la diferencia debido a la presencia de objetos metálicos enterrados como tuberías, varillas de construcción, rieles, canalizaciones eléctricas, etc.

3.4.1 Métodos para la medición de las impedancias de puesta a tierra.

Todos los resultados son aproximados y se requiere cuidado tanto con el equipo de prueba como con la selección de los puntos de referencia de la puesta a tierra. Dentro de los métodos para la medición de las impedancias de puesta a tierra se conocen los siguientes:

- a) Método de la tierra conocida.
- b) Método de los tres y cuatro puntos.
- c) Método de la caída de potencial.
- d) Método de la relación.

a) Método de la tierra conocida.

Este método consiste en encontrar la resistencia combinada entre el electrodo a probar y uno de resistencia despreciable.

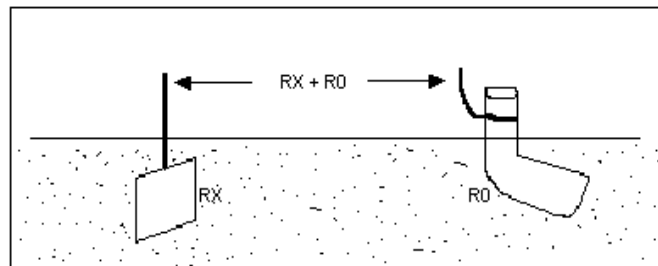


Figura 1. Método de la tierra conocida.

En este método se hace circular una corriente entre las dos tomas de tierra, esta corriente se distribuye en forma similar a las líneas de fuerza entre polos magnéticos. El inconveniente de este método es encontrar los electrodos de resistencia conocida y los de resistencia despreciable.

b) Método de los tres puntos o triangulación.

Consiste en enterrar tres electrodos (A, B, X), se disponen en forma de triángulo, tal como se muestra en la figura 2, y medir la resistencia combinada de cada par:

$X+A$, $X+B$, $A+B$, siendo X la resistencia de puesta a tierra buscada y A y B las resistencias de los otros dos electrodos conocidas.

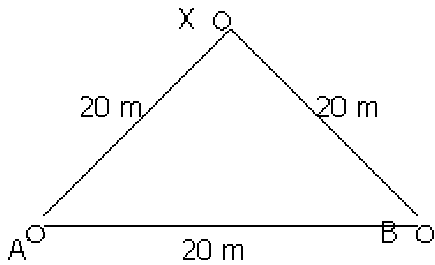


Figura 2. Método de las tres puntas.

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

$$R_1 = X + A$$

$$R_2 = X + B$$

$$R_3 = A + B$$

De donde

$$X = (R_1 + R_2 - R_3) / 2 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Este método es conveniente para medidas de resistencias de las bases de las torres, tierras aisladas con varilla o puesta a tierra de pequeñas instalaciones. No es conveniente para medidas de resistencia bajas como las de mallas de puesta a tierra de subestaciones grandes. El principal problema de este método es que A y B pueden ser demasiado grandes comparadas con X (A y B no pueden superar a $5X$), resultando poco confiable el cálculo.

c) Método de la caída de potencial.

Es el método más empleado, los electrodos son dispuestos como lo muestra la figura 3; E es el electrodo de tierra con resistencia desconocida; P y C son los electrodos auxiliares colocados a una distancia adecuada. Una corriente (I) conocida se hace circular a través de la tierra, entrando por el electrodo E y saliendo por el electrodo C . La medida de potencial entre los electrodos E y P se toma como el voltaje V para hallar la resistencia desconocida por medio de la relación V/I .

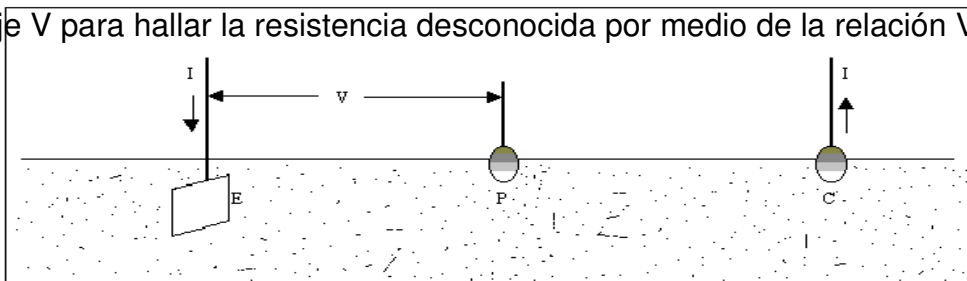


Figura 3. Método de la caída de potencial.

La resistencia de los electrodos auxiliares se desprecia, porque la resistencia del electrodo C no tiene determinación de la caída de potencial V. La corriente I una vez determinada se comporta como constante. La resistencia del electrodo P, hace parte de un circuito de alta impedancia y su efecto se puede despreciar.

d) Método de la relación.

En este método la resistencia a medir, es comparada con una resistencia conocida, comúnmente usando la misma configuración del electrodo como en el método de la caída de potencial. Puesto que este es un método de comparación, las resistencias son independientes de la magnitud de corriente de prueba. La resistencia en serie R de la tierra bajo prueba y una punta de prueba, se mide por medio de un puente el cual opera bajo el principio de balance a cero.

CAPITULO 4. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE RED DE TIERRA.

4.1 Datos de cargas por edificio.

Partiendo de la carga eléctrica de cada edificio, se da inicio a los cálculos para el diseño de la red de tierra en cada uno de ellos, estos datos se presentan en hojas de cálculo de Excel y pueden ser utilizadas a discreción para diferentes diseños.

A continuación se muestra el detalle de cada uno de los edificios, enumerando todas las cargas que forman parte de la instalación.

Edificio # 2 COMUNICACIONES	KW
Luminarias Fluorescentes	6.08
Luminarias Incandescentes	2.32
Computadoras	3.73
Cafetera	1.09
Fotocopiadora	1.24
Audio y Video	4.33
Refrigerador	2.29
Aires Acondicionados	82.22
Otros	1.57
Total de carga en KW	98.80
Factor de potencia	0.90
Carga en KVA	109.77
Proyección de carga	148.19

Edificio # 3 ELECTRONICA	KW
Luminarias Fluorescentes	23.20
Impresoras	0.64
Computadoras	36.34
Osciloscopio	2.63
Aires Acondicionados	38.83
Módulo de Entrenamiento	9.29
Ventiladores	1.24
Otros	1.22
Cafetera	2.00
Total de carga en KW	52.58
Factor de potencia	0.90
Carga en KVA	58.42
Proyección de carga	78.87

Edificio # 5 METROLOGÍA	KW
Luminarias Fluorescentes	3.87
Luminarias Incandescentes	13.30
Computadoras	23.18
Aires Acondicionados	4.44
Equipos de calibración	2.07
Cafetera	9.00
Transformadores	4.50
Luminarias Fluorescentes	2.50
Dispensadora de refrescos	12.28
Otros	0.43
Otros	6.47
Otros	4.16
Otros	3.47
Total de carga en KW	55.32
Factor de potencia	0.90
Carga en KVA	62.04
Proyección de carga	82.99

Edificio # 6 MECÁNICA DE PRECISIÓN	KW		Edificio # 6 CENTRO DE COMPUTO	KW
Fresadora 3 Φ	37.18	Edificio #7	Computadoras	62.69
Tornos 3 Φ	30.85	SOLDADURA	Fax	0.12
Rectificadoras 3 Φ	10.93	Compresores	Escáner	0.08
Máquina 1 (3 Φ)	7.70	Prensa 3 Φ	Impresoras	0.41
Máquina 3 (3 Φ)	9.08	Sierra eléctrica	Oasis	0.75
Esmeriladora	19.30	Taladro 3 Φ	Aires acondicionados	19.86
Luminarias Fluorescentes	6.26	Sistema de corte	Luminarias Fluorescentes	6.08
Ventilador	0.18	Soldadores	Total de carga en KW	90.00
Otros	1.58	Luminaria fluorescente	Factor de potencia	0.90
Total de carga en KW	101.05	Otros	Carga en KVA	100.00
Factor de potencia	0.90	Total de carga en KW	Proyección de carga	135.00
Carga en KVA	112.27	Factor de potencia		
Proyección de carga	151.57	Carga en KVA		
		Proyección de carga		

Edificio # 3 ELECTRÓNICA	
CARGA INSTALADA (KW)	78.87
RESISTENCIA (Ω)	15.6
CORRIENTE DE FUGA (mA)	1.00

Datos de carga por edificio obtenidos del trabajo de graduación:
 "Estudio para el uso eficiente de la energía eléctrica en la Ciudadela Don Bosco"
 Bonilla Cáceres, Heriberto Armando.
 Hernández Velásquez, Jorge Augusto
 Villegas Ventura, José Lázaro
 Soyapango, Septiembre de 2000.

Edificio # 2 COMUNICACIONES	
CARGA INSTALADA (KW)	148.19
RESISTENCIA (Ω)	20.7
CORRIENTE DE FUGA (mA)	13.00

Edificio # 4 ELECTRICIDAD	
CARGA INSTALADA (KW)	83.76
RESISTENCIA (Ω)	9.7
CORRIENTE DE FUGA (mA)	30.00

Edificio # 5 METROLOGÍA	
CARGA INSTALADA (KW)	151.57
RESISTENCIA (Ω)	9.0
CORRIENTE DE FUGA (mA)	82.99

Edificio # 6 MECÁNICA DE PRECISIÓN	
CARGA INSTALADA (KW)	151.57
RESISTENCIA (Ω)	13.2
CORRIENTE DE FUGA (mA)	31.00

Edificio # 6 CENTRO DE COMPUTO	
CARGA INSTALADA (KW)	90,00
RESISTENCIA (Ω)	11.2
CORRIENTE DE FUGA (mA)	135.00

Edificio #7 TALLER SOLDADURA	
CARGA INSTALADA (KW)	169.61
RESISTENCIA (Ω)	9.7
CORRIENTE DE FUGA (mA)	45.00

Como se observa en los datos, aunque físicamente se puede deducir que se cuenta con los requerimientos de conexión de la red de tierra, tenemos valores que no cumplen con los requisitos necesarios para garantizar la correcta protección de las personas y equipos que hacen uso de las instalaciones, en el capítulo 5 tocaremos más a fondo el tema de las corrientes de fuga.

Las hojas de la memoria de cálculo se presentan como Anexo 14, sin embargo estos pueden ser fácilmente modificados con la ayuda de la hoja de cálculo que ha sido desarrollada para este fin.

- Se han obtenido los siguientes datos esperados del sistema al encontrarse totalmente construido e interconectado:

Edificio # 2 “Comunicaciones”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	2.097645539	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Edificio # 3 “Electrónica”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	2.210382843	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Edificio # 4 “Eléctrica”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	2.197960634	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Edificio # 5 “Metrología”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	1.721957152	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

--	--	--	--

Edificio # 6 “Mecánica de precisión”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	1.629548445	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Edificio # 6 “Centro de cómputo”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	1.645259409	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Edificio # 7 “Taller de Soldadura”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	1.615261109	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Subestación # 1 “Mecánica”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	1.522165432	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Subestación # 2 “Eléctrica”

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	1.979244874	Ω
--	--------------------------	--------------------	----------

Ahora el cálculo de la red de tierra total nos da como resultado lo siguiente:

Resistencia total del sistema (resistencia de la malla y resistencia de electrodos)	R_{TOTAL}	0.20	Ω
--	--------------------------	-------------	----------

Como puede apreciarse el valor de la resistencia que se esperaría obtener en base a los cálculos considerados nos indica que la mejora en el sistema de tierra será significativa, cabe mencionar que los datos de las constantes utilizadas han sido tomados en base a tablas que especifican el valor en función de variables como el tipo de terreno, etc.

4.2 Presupuesto

Partida 1: Construcción de mallas de tierra.

- Malla de tierra edificio de comunicaciones: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

Construcción de red de anillo de tierra la cual servirá para la protección de equipo de radio frecuencia que son altamente sensibles a las variaciones de voltaje, esta se difundirá alrededor de todo el edificio.

- Malla de tierra edificio de electrónica: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.
- Malla de tierra edificio de electricidad: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

- Malla de tierra subestación 1: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

- Malla de tierra edificio metrología: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

- Malla de tierra edificio mecánica: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

- Malla de tierra edificio centro de cómputo: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

- Malla de tierra taller de soldadura: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

- Malla de tierra subestación 2: Construcción de malla de tierra con dimensiones de 4x4 m. Con barras copperweld de 3/8", utilizando cable desnudo de cobre calibre 4/0 con una profundidad de 0.5 m. Utilizando soldadura cadweld para los respectivos puntos de unión en cada pozo de registro.

Es importante recalcar que todas estas mallas de tierra incluyen en su detalle de construcción el respectivo zanjeado del terreno hasta los pozos de registro donde se realizaran los empalmes detallados en las recomendaciones de mejora de la red de tierra.

El resto de insumos se detallan en la siguiente tabla ya que representan el costo de materiales y mano de obra que se necesita para implementar esta propuesta:

PRESUPUESTO GENERAL				
CANT	UNIDAD	DESCRIPCION	P/UNIT	TOTAL
620	m	Cable de cobre desnudo calibre 4/0	\$2.90	\$1,798.00
144	c/u	Barra copperweld 3/8"	\$10.56	\$1,520.64
225	c/u	Cepos de unión cobre 3/8"	\$1.65	\$371.25
27	m ³	Grava	\$12.00	\$324.00
19	c/u	Tubos PVC 250 PSI	\$32.45	\$616.55
36	n/a	Uniones PVC	\$4.67	\$168.12
2	c/u	Pararrayo (10KA clase 2)	\$100.00	\$200.00
Mano de obra				\$1,999.42
36	n/a	Trabajo de soldadura Cadweld	\$125.00	\$4,500.00
Transporte				\$500.00
Imprevistos				\$1,199.80
Subtotal				\$13,197.78
IVA				\$1,715.71
Total				\$14,913.49

Las hojas de cálculo para este presupuesto en detalle, se presentan en el Anexo 15.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones y recomendaciones generales.

En la evaluación de la conexión física de cada uno de los tableros a un conductor destinado a servir como polarización a tierra, en general podemos afirmar que se cumple con este requerimiento aunque como se mostrará mas adelante en este capítulo esto no significa que sea una instalación confiable que es lo que se busca con este estudio que presentamos.

En el caso de los subtableros se determinó que no existe problema, ni inconsistencia en las conexiones, pero al tener problemas en la red principal, como altos valores de resistencia de tierra y corrientes de fuga, podemos concluir que la red necesita una mejora y una revisión en sus conexiones principales ya que se determinó que en algunos empalmes existen falsos al estar estos unidos por cepos y en otros casos estas uniones son simples empalmes de cables enrollados.

Debido a lo mencionado anteriormente es que se hace la recomendación de hacer empalmes con soldadura cadweld, el método para hacer este tipo de empalmes se explica con mayor detalle en el manual de mejora de red de tierra, que se presenta en el Anexo 18 de este documento.

Todo sistema puesto a tierra en cada edificio o estructura debe tener por lo menos un electrodo de tierra, pero estos electrodos o sistemas de tierra deben estar

conectados todos entre ellos, los que son parte del edificio y los edificios que conforman el sistema.

En un caso específico (edificio # 7) hay un electrodo a tierra que está conectado a un breaker y esta polarización está aislada de la red de tierra existente, la recomendación es conectar esta polarización a la red de tierra.

Un punto importante a resaltar es el tema de las corrientes de fuga que han sido detectadas en la instalación, las recomendaciones para la eliminación de las mismas se describen a continuación y representan una opción para la mejora de las mismas, esta información se amplía en el Anexo 16 de este documento.

En el caso de corrientes de fuga permanentes, para evitar los disparos intensivos, esta corriente no debe rebasar el 30% de la sensibilidad del diferencial (es decir, 9 mA para diferencial de 30 mA). Los datos recabados en la hoja de cálculo que se presenta como archivo digital, muestran las corrientes de fuga para cada edificio (Puntos de medición en edificios.xls).

Utilizar aparatos que incorporen una separación galvánica en su alimentación eléctrica, como ejemplo, un transformador separador, en el caso del edificio de eléctrica se nos presenta el caso en que se tiene la menor corriente de fuga de todos los edificios.

En definitiva hay que fraccionar la instalación en partes lo suficientemente pequeñas para que la corriente de fuga acumulada en ellas sea inferior al 30% de la sensibilidad de los diferenciales que la protejan. Por norma de fabricación, las protecciones diferenciales pueden empezar a disparar con valores de fuga superiores al 50% de su sensibilidad.

En el caso de corrientes de fuga transitorias, cuando se está proyectando una nueva instalación donde vayan a tener que repartirse líneas de cable muy largas para poder llegar hasta los receptores (iluminación, tomas de corriente, alimentación

directa de receptores, etc.) es muy conveniente realizar la máxima subdivisión posible de circuitos a fin de acumular el menor número de metros de cable por debajo de un solo diferencial, pudiéndose llegar a tener en muchos casos un diferencial para proteger cada circuito.

En cuanto a descargas atmosféricas se refiere, en la zona no se tienen precipitaciones que impliquen gran riesgo, sin embargo se recomienda la utilización de pararrayo en el caso del edificio de comunicaciones, ya que en este se encuentran equipos de transmisión radial, aunque no se tiene torre de transmisión la cual serviría como vía de escape en caso de descargas atmosféricas, pero como se explica a continuación se hace importante de tener una vía de salida para descargas atmosféricas. Se recomienda el uso de pararrayo (ver hoja de información para uso de pararrayos en Anexo 17), a 15 m de altura para tener un área de protección de 59 de diámetro, en los edificios de comunicaciones y mecánica, esto para lograr proteger el área completa del CITT teniendo como cobertura.

Las corrientes de los rayos siguen la trayectoria de mínima resistencia a tierra. Cuando un edificio recibe una descarga de este tipo, la corriente que fluye puede seguir como trayectoria la estructura metálica del inmueble, las líneas de energía, los conductores de cables u otros conductores metálicos. Si los sistemas de tierra no están interconectados podríamos tener una diferencia de potencial entre estos, y se produciría el salto de arco o chispa, que podría causar graves daños y aún la muerte, también podría ocurrir que si una persona tocara en el momento del rayo un objeto metálico y el conductor bajante del sistema, estaría expuesta a una elevada descarga de energía.

Actualmente las redes de tierra de las subestaciones no están conectadas entre ellas, con la implementación del diseño que se esta proponiendo se garantiza la interconexión de los sistemas y una red de tierra que da protección a las personas

y equipos eléctricos en general. En algunos casos se encontró ruido en la red de tierra, los circuitos de lógica de computadoras requieren una impedancia baja y una referencia a tierra libre de ruidos. Cuanto mas grande sea el calibre del conductor de tierra del sistema, más baja será la impedancia de retorno al sistema de conexión a tierra del edificio y cuanto más baja sea la impedancia la lógica será más pura, es por ello que se esta recomendando usar cable calibre 4/0 AWG de cobre.

5.2 Conclusiones Específicas.

1. Las condiciones actuales de la red de tierra del CITT no son las adecuadas para el fin deseado, tomando como referencia las mediciones realizadas y presentadas a lo largo de este documento, las cuales oscilaron entre los valores de 5 y 20.7 ohmios, y corrientes de fuga de hasta 104 mA.
2. Existen posibilidades de mejora en la instalación de red de tierra del CITT de acuerdo a los cálculos presentados, los cuales nos demuestran los valores idóneos y necesarios para la confiabilidad de la red de tierra, que según el cálculo y el diseño oscilara 0.2 y 0.3 ohm, siempre que se cumplan las recomendaciones de diseño y construcción planteadas en este proyecto.
3. Es posible obtener valores inferiores a 5 ohm para la red de tierra, así como se demuestra en los cálculos, por lo tanto es la propuesta es viable en el aspecto tanto constructivo como económico.
4. Se cuenta con la mayoría de requisitos para el mejoramiento de la red de tierra (pozos de registro, tuberías de conexión, etc.) lo cual hace atractiva la propuesta de mejora, tal y como se ha presentado en los planos.
5. La inversión en la mejora de la red de tierra garantizará en objetivo primordial que consiste protección de las personas y equipos que hacen uso de la instalación.

6. Las propuesta de mejora presentadas se adecuan a lo esperado, respaldándolo valores de resistencia menores a 5 ohm.
7. Se tienen diferentes calibres de cables en la red de tierra actual (4 AWG, 2 AWG, 1/0 AWG de cobre), lo cual no es recomendable.
8. Por los materiales y métodos que se recomiendan, se espera que el impacto del paso del tiempo no afecte el funcionamiento del diseño propuesto, por lo menos en un promedio de 10 años, se han realizado cálculos con los datos de placa de la subestación a plena carga, lo cual nos indica que será funcional, en lo que a la subestación se refiere, hasta el momento en que esta llegue a su capacidad nominal.

5.3 Recomendaciones Específicas.

1. Implementar de las medidas descritas en las recomendaciones generales.
2. Interconectar eléctricamente de las diferentes de las redes de tierra tal y como se ha descrito en el trabajo
3. La recomendación principal es utilizar los materiales descritos y los empalmes, el no cumplimiento de estas recomendaciones puede afectar el buen funcionamiento de la misma.
4. Recomendamos la implementación de la mejora en corto plazo ya que se cuenta con los requisitos necesarios para implementarlos.
5. Homogenizar el calibre del conductor de tierra en los puntos donde sea posible.
6. Recomendamos como parte del plan de mantenimiento el tratamiento de los suelos para cada una de las mallas que se propone su construcción, esto ayudara aun más en la protección.
7. Para la implementación de las medidas correctivas que se presentan en este documento, se recomienda la ejecución de mejoras individuales por edificio, en caso de no implementarlo en un solo proyecto se presenta un presupuesto individual, sin embargo se recomienda el desarrollo de estos en la jerarquía siguiente, por la importancia requieren estos.

El edificio # 2 requiere la mayor atención, para realizar las mejoras recomendadas.

En segundo plano se recomiendan las mejoras en el edificio #3.

En tercer plano se recomiendan las mejoras en el edificio #6.

En cuarto plano se recomiendan las mejoras en el edificio #4.

En quinto plano se recomiendan las mejoras en el edificio #7.

En sexto plano se recomiendan las mejoras en el edificio #5.

8. Aunque lo recomendable es que realicen soldaduras cadweld en las uniones especificadas en los pozos de registro, pueden tomar en cuenta el uso de regletas de conexión a tierra, pero teniendo en cuenta que estas conexiones se deben estar inspeccionando periódicamente, realizando reaprietes de estas, para evitar que se den falsos en la red.

Debido a estos resultados se presenta un propuesta de mejora individual de la instalación por edificio se ha optado por la proponer una solución que puede ser ejecutada en fases de corto y mediano plazo con las cuales se lograra obtener valores de medición de corriente y resistencia que se encuentren dentro de valores adecuados.

La propuesta consiste en realizar una interconexión efectiva entre las redes de tierra tanto de los edificios como de las subestaciones, actualmente estas no existen, y por lo tanto es necesario hacerlas, existen puntos específicos los cuales pueden ser tomados como puntos de partida para las mejoras.

Detallaremos cada uno de estos presentando la condición actual de la instalación así como la recomendación para lograr el objetivo perseguido presentando además los cálculos matemáticos que sustentan las propuestas que enumeraremos a continuación.

EDIFICIO DE COMUNICACIONES

- En lo referente a las cargas instaladas en el edificio, podemos afirmar que cuentan con un cableado de polarización, en base a esto, desde el tablero principal del edificio donde se encuentra el empalme de entrada, podremos tomar la línea para unirla con la red de tierra a instalar, y luego desde esta derivar e interconectar con el resto de la instalación de tierra.
- Como parte del rediseño se considera la implementación de una red para el edificio la cual esta compuesta por la elaboración de un cuadrado de 4 por 4 metros el cual estará compuesto por barras copperweld y la malla formada con alambre de cobre desnudo calibre AWG 4/0.
- La interconexión entre el tablero principal y la red de tierra se hará en el punto enumerado como 1 del plano presentado como diseño propuesto (Anexo 19).

EDIFICIO DE ELECTRONICA

- En este caso se recomienda la construcción de una red de tierra en forma de malla con las dimensiones ya establecidas, realizando siempre la interconexión con el sistema de tierra ya existente, esta conexión deberá realizarse en el punto enumerado como 2 del plano presentado de diseño propuesto (Anexo 19).

EDIFICIO DE ELECTRICIDAD

- Al igual que en el edificio de Electrónica, se recomienda la construcción de una red de tierra en forma de malla con las dimensiones ya establecidas, realizando siempre la interconexión con el sistema de tierra ya existente, esta se deberá

realizar en el punto enumerado como 3 del plano presentado como diseño propuesto (Anexo 19).

EDIFICIO DE METROLOGÍA

- En el punto 4 del plano presentado como diseño propuesto (Anexo 19), se deberá hacer la interconexión entre las redes de los edificios alimentados con la subestación 1 y los edificios alimentados con la subestación 2, esto mediante la unión entre los pozos de registro señalados en el plano.
- Adicionalmente se recomienda la construcción de una red de tierra en forma de malla con las dimensiones ya establecidas, realizando siempre la interconexión con el sistema de tierra ya existente, esta se deberá realizar en el punto 4 del plano presentado como diseño propuesto (Anexo 19).
- Además debe realizarse en este mismo punto la interconexión de todo el anillo que conforma la red de tierra con la red de la subestación eléctrica.

EDIFICIO DE CENTRO DE COMPUTO / MECÁNICA

- En este punto enumerado como 5 del plano presentado como diseño propuesto (Anexo 19), en el plano del diseño propuesto, se recomienda la construcción de una red de tierra en forma de malla con las dimensiones ya establecidas, realizando siempre la interconexión con el sistema de tierra ya existente
- Es muy importante mencionar que para este edificio se recomienda la construcción de dos mallas de tierra, una para el centro de cómputo y otra para el taller de mecánica, ya que existen consideraciones especiales con la protección de la sala del centro de cómputo que son descritas en un apartado de este trabajo.

- El ambiente eléctrico para computadoras incluye sus fuentes de energía, el sistema de tierra y las interfases eléctricas con las líneas de comunicaciones, sistema de aire acondicionado y los sistemas de seguridad industrial. También incluye el sistema de luminarias y otros equipos ubicados en el centro de cómputo.
- El ambiente adyacente a la sala de computadoras, también debe considerarse, en este caso tenemos que en el edificio se ubican cargas muy representativas como los son tornos, fresadoras y otros equipos referentes a mecánica de precisión, ya que las perturbaciones eléctricas que estas pueden causar, se propagan a través de conductores, tuberías, conductores metálicos y partes de estructuras del edificio o por medio de la radiación electromagnética.

EDIFICIO DEL TALLER DE SOLDADURA

- En este punto enumerado como 6 del plano presentado como diseño propuesto (Anexo 19), se recomienda la construcción de una red de tierra en forma de malla con las dimensiones ya establecidas, realizando siempre la interconexión con el sistema de tierra ya existente.
- Además es importante resaltar que debido a que la acometida eléctrica de este edificio es independiente del resto del complejo del CITT ya que este se encuentra alimentado desde un transformador ubicado frente al edificio, se debe realizar la respectiva conexión entre la red de tierra en construcción y la ya existente.

Cumpliendo con las recomendaciones descritas podemos asegurar el correcto funcionamiento en base al propósito de protección tanto de personas como del equipo de la instalación, ahora al encontrarse toda la instalación correctamente construida podemos aseverar que los cálculos presentados a continuación representaran fielmente las condiciones en las que estará la red de tierra.

Estos cálculos han sido realizados utilizando una hoja de calculo de Excel, la cual ha sido creada para que pueda ser utilizada de modo que el intercambio de datos para el calculo de una red de tierra no representen una dificultad para el la implementación de un diseño.

ANEXOS

Anexo 1: Detalle de distribución por edificio en el CITT.

Edificio 2:

- Edificio de maestrías.
- Centro de comunicaciones.
- Estudio de TV, radio y grabación.
- Estudio de fotografía.
- Estudio de video digital.
- Radio UBD.

Edificio 3:

- Laboratorio de Electrotecnia.
- Laboratorio de Biomédica.

Edificio 4:

- Laboratorio de Electricidad.
- Laboratorio de CC Básicas.
- Laboratorio de simulación matemática.

Edificio 5:

- Cisco Networking Academy.

- Laboratorio de Metrología y resistencia de materiales.
- Proyectos Educativos.

Edificio 6:

- Laboratorio de Mecánica de Precisión.
- Laboratorio de Informática.
- Laboratorio de Diseño Gráfico.

Edificio 7:

- Taller de Soldadura.

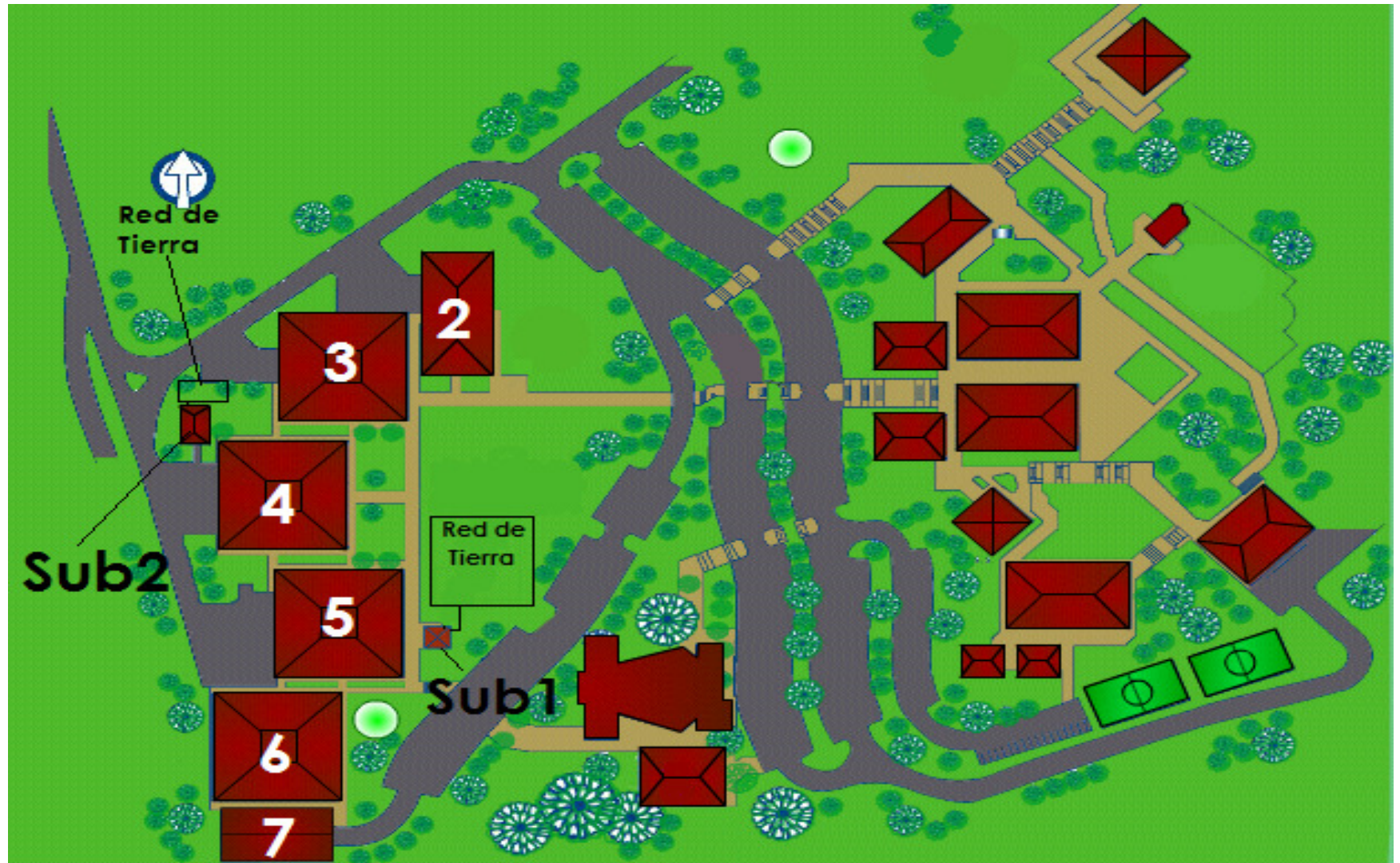
Subestación 1:

- Subestación trifásica.
⇒ Tres transformadores monofásicos
167KVA.
- Planta de Emergencias.

Subestación 2:

- Subestación Trifásica.
 - ⇒ Tres transformadores monofásicos 167KVA.

Anexo 2: Mapa de referencia instalaciones CITT.



Anexo 3: Probadores de resistencia de tierra (Hojas Técnicas)



PROBADOR DE PINZA DE RESISTENCIA DE TIERRA

MARCA: AEMC

MODELO: 3731

MODELOS	3711 y 3731		
ELECTRICAS			
Escalas de Resistencia de Tierra	Escala de Medidas	Definición	Precisión (% de Lectura)
Auto-Rango 0.1 a 1200Ω	0.10 a 1.00Ω	0.01Ω	±(2% ± 0.02Ω)
	1.0 a 50.0Ω	0.1Ω	±(1.5% ± 0.1Ω)
	50.0 a 100.0Ω	0.5Ω	±(2% ± 0.5Ω)
	100 a 200Ω	1Ω	±(3% ± 1Ω)
	200 a 400Ω	5Ω	±(6% ± 5Ω)
	400 a 600Ω	10Ω	±(10% ± 10Ω)
	600 a 200Ω	50Ω	Not Rated
Medida de Corriente	Escala de Medidas	Definición	Precisión (% de Lectura)
Auto-Rango 1mA a 30.00Arms	1 a 299mA	1mA	±(2.5% + 2mA)
	0.300A a 2.999A	0.001A	±(2.5% + 2mA)
	3.00A a 29.99A	0.01A	±(2.5% + 20mA)
Frecuencia de Medida de Resistencia	2403Hz		
Frecuencia de Medida de Corriente	47 a 800Hz		
Sobrecarga de Corriente	OL mostrado por encima de 29.99Arms		
MECANICAS			
Dimensiones	9.25 x 3.94 x 2.17" (235 x 100 x 55mm)		
Peso	2.2 lbs (1kg)		
Diametro de la ventana de la tenaza	1.25" (32mm)		
Apertura de la tenaza	1.38" (35mm)		
Temperatura de Trabajo	14° to 131°F (-10° to 55°C)		
Humedad	10 a 90% RH @ 14° a 104°F (-10° a 40°C), 75% RH @ 131°F (55°C)		
Temperatura de Almacenaje	-22° a 158°F (-30° to 70°C)		
LCD	3¼ Digitos, 1.73 x 1.10" (44 x 28mm)		
Alimentación	9V baterías Alcalinas (IEC 6LF22 ó NEDA 1604A)		
Duración de las Baterías	Normal: 8 horas o aprox. 1000 mediciones de 30 segundo		
US Patente Núm.	No. 362.639		
UL File No.	E192383		
SEGURIDAD			
Norma de ensayo	EN 61010-2-032 (Class 2) Double Insulation		
Marca CE	Sí		

Características:

- Funcionamiento de pinza rápido y simple sin cables, sin varillas auxiliares o requerimientos de espacio.
- Lectura directa de resistencia de tierra desde 0.01Ω a 1200Ω .
- Lectura directa de continuidad y de resistencia de bucle de tierra.
- Lectura directa de corriente de tierra de goteo desde 1mA a 30Arms.
- Diseño de mandíbula con ventana grande 1.25" (32mm) acomoda hasta cables de 1000MCM.
- Autoapagado para distribución de potencia.
- Función de alarma con punto fijo ajustable y timbre para controles de campo rápido (Modelo 3731)
- Función de memoria para guardar 99 medidas de campo para posterior recuperación y análisis (modelo 3731)
- Configuración de alarma e información de memoria guardada, grabada durante el apagado.

Aplicaciones:

- Medir resistencia de barra de tierra o de una rejilla pequeña.
- Uso de sistemas de tomas de tierra múltiple sin desconectar la tierra bajo tierra.
- Medir resistencia y continuidad de bucles de toma de tierra alrededor de almohadillas y de edificios.
- Medir corriente de goteo circulando a tierra o circulando en bucles de tierra.
- Realizar controles de campo rápido.
- Realizar prospecciones de campo, extraer y analizar lecturas más tarde.
- Uso en torres de telefonía móvil y localidades de telecomunicaciones.



PROBADOR DE RESISTENCIA DE TIERRA.

MARCA: AEMC

MODELO: 3640

Especificaciones

ELECTRICAS			
Escalas (Autoranging 0 to 2000Ω)	20Ω	200Ω	2000Ω
Medidas	0.00 a 19.99Ω	20.0 a 199.9Ω	200 a 1999Ω
Definición	10mΩ	100mΩ	1Ω
Voltage abierto	< 42V pico		
Frecuencia de Funcionamiento	128Hz onda cuadrada		
Corriente de Prueba	10mA	1mA	0.1mA
Precisión	2% de Lectura ± 1ct	2% de Lectura ± 1ct	3% de Lectura ± 3cts
Resistencia Máx. del Electrodo Auxiliar	20Ω	3kΩ	50kΩ
Escala	200Ω	30kΩ	50kΩ
Circuito Corriente	2000Ω	50kΩ	50kΩ
Circuito Voltage			
Interferencia	Rechaza altos niveles de voltage de interferencia (DC, 50/60Hz, armónicos): Voltage DC en serie con X: 20V; Voltage AC en serie con Y: 13V pico; Voltage AC en serie con Z: 32V pico		
Tiempo de Respuesta	Aproximadamente 6 segundos para una medida estabilizada		
Aguante de Voltage	50V _{ac} con puntas de 3000V _{ac} o 1000V _{dc}		
Alimentación	Ocho pilas 1.5V "AA"; Alcalinas recomendadas; indicación de "Bat Baja" en LCD		
Tiempo de Funcionamiento Típico	1800 medidas de 15 segundos (aproximadamente)		
Protección de Fusible	Alta capacidad de rotura, 0.1A, >250V, 0.25 x 1.25"		
MECANICAS			
Pantalla	LCD de 7 segmentos, .71" (18mm) altura (3 dígitos); 2000-counts; LCD también indica sobreescalado, cortos de cables de prueba y inversión de cable		
Conexión	Terminales con código de color aceptan enchufes de punta con un hueco mínimo de 6mm o enchufes tipo banana de 4mm estándar		
Indicación de LED	3 LEDs indican alto ruido de entrada, alta resistencia de barra auxiliar, cables abiertos, fusible fundido		
Temperatura de Funcionamiento	14° a 131°F (-10° to 55°C), 0 a 90% RH		
Temperatura de Almacenamiento	-40° a 158°F (-40° a 70°C), 0 a 90% RH sin las pilas		
Tamaño	8.7 x 5.4 x 5.9" (220 x 136 x 150mm)		
Peso	2.9 lbs (1.3kg)		
Caja	Duradera, ABS		
Colores	Caja amarilla de seguridad; Panel Frontal gris		
Choque Mecánico	IEC 68-2-27		
Vibración	IEC 68-2-6		
Prueba de Caída	IEC 68-2-32		
Prueba de Dieléctrico	3kV, 50/60Hz, 1min. entre tres terminales de medida interconectadas y cualquier metal de tierra externo		
Ambiental	Sellado con un aro "O" contra polvo y agua a IP50 (Índice de Protección)		
Electrostático	IEC 801-2		
Electromagnético	IEC 801-3		
Choque Eléctrico	IEC 801-5		
SEGURIDAD			
Categoría	EN 61010-1, Cat. III, Grado de Polución 2, 42V		
Compatibilidad Electromagnética	Emisión (de acuerdo con: EN 50081-1) Inmunidad (de acuerdo con: EN 50082-1)		
Marca CE	SI		

Características:

- Método de caída de potencial.
- Mide resistencia de tierra (punto 2 y 3).
- Autoescalado: selecciona automáticamente la escala óptima.
- Diseñados para rechazar altos niveles de ruido y de interferencia.
- Extremadamente fácil de usar: conectar, pulsar, leer.
- El LED en el panel frontal informa al operario de alto ruido de entrada, alta resistencia de la barra auxiliar y conexiones defectuosas.
- Funciona con baterías.
- Puede ser usado también para pruebas de continuidad y de enlace.

Aplicaciones:

- Medida de tres puntos para medir resistencia a tierra de barras de toma de tierra y de rejilla. Las medidas de tres puntos son usadas normalmente cuando el electrodo o la rejilla pueden ser desconectados fácilmente si se sospecha corrosión, o donde fallos de tierra son improbables.
- Las pruebas de dos puntos para pruebas de continuidad en enlaces o en tierras preestablecidas. Esta prueba es realizada comúnmente en entornos urbanos donde la colocación apropiada de electrodos auxiliares puede ser disimulado por solares confinados. Las medidas son referenciadas contra un buen conductor de tierra local



PROBADOR DE RESISTENCIA DE TIERRA DE CAIDA DE POTENCIAL.

MARCA: AEMC

MODELO: 4500

MODELO	4500				
ELECTRICAS					
Escalas de Medida	2Ω	20Ω	200Ω	2000Ω	20kΩ
Definición	1mΩ	10mΩ	0.1Ω	1Ω	10Ω
Frecuencia	128Hz onda cuadrada				
Corriente de Prueba	2mA, 10mA, 50mA				
Precisión	±2% de Lectura ± 1 ct desde 10% a 100% de escala				
Resistencia Máx. del Electrodo Auxiliar	Ry: 50kΩ en escalas de 20Ω, 200Ω, 2000Ω y 20kΩ; 5kΩ en la escala 2Ω Rz: Escala 2mA: 15kΩ; Escala 10mA: 3000Ω; Escala 50mA: 400Ω				
Interferencia	La unidad está diseñada para rechazar altos niveles de voltajes de interferencia a CC, o 50/60Hz y sus armónicos				
Influencia de Ruido sobre la Precisión	0.5% de la escala (máx.) a 20V pico				
Alimentación	Incorporado, recargable 12V, uno batería Ah NiCD, o 12Vcc externos; indicación de batería baja. La batería puede ser recargada con una unidad de carga incorporada: 94 a 127V o 187 a 253V (47 a 450Hz)				
Tiempo de Recarga	14 horas típico				
Voltage de alimentación de Recarga	Seleccionable internamente 110/220V, 45 a 450Hz				
Tiempo de Funcionamiento Típico	4 hr con la corriente de prueba a 50mA (800 mediciones de 15 segundos), 7 hr con las corrientes de prueba 2mA y 10mA (1500 mediciones de 15 segundos)				
Protección de Fusible	500Vrms medida de circuito				
MECANICAS					
Pantalla	LCD de 7 segmentos, 0.71" (18mm) altura (3½ dígitos); 2000-counts				
Conexión	Terminales aceptan enchufes de punta con un hueco mínimo de 6mm o enchufes tipo banana de 4mm estándar				
Temperatura de Funcionamiento	14° a 122°F (-10° a 50°C)				
Tamaño	15.75 x 10.2 x 9.8" (400 x 260 x 250mm)				
Peso	14 lb (6.5kg) aproximadamente				
Caja	Plástico duradero, con tapa extraíble y asa para transporte				
Colores	Caja: amarilla de seguridad; Panel Frontal: marrón				
Prueba de Dieléctrico	2000Vrms, 50/60Hz entre cuatro terminales de medida interconectadas y cualquier metal de tierra externo; 2000Vrms, 50/60Hz entre entrada de línea y las terminales de medida en el panel frontal				
Ambiental	Placa frontal sellada con un aro "O" contra polvo y agua; tapa sellada cuando cerrada; IEC529, DIN 0470-T1				
SEGURIDAD					
Categoría	EN 61010				
Doble Aislamiento <input type="checkbox"/>	Yes				
Resistencia de Impacto	Choque y vibración de acuerdo con MIL-T-28800D clase 3				
Marca CE	SI				

Características:

- Miden la resistividad del terreno por el método de 4 puntos.
- Miden la resistencia de puesta a tierra por el método de caída de potencial (2 y 3 puntos).
- Pruebas de voltaje graduado y medidas de potencial puntuales.
- Seleccionable: tres corrientes de prueba y cinco escalas de resistencia.
- Medir resistencias muy bajas en grandes sistemas de toma de tierra y de red.
- Alta corriente de prueba también permite estudios geológicos.
- Pantalla LCD grande para lecturas fáciles, la pantalla incluye indicadores para exceso de corrientes parásitas, alta resistencia de electrodo auxiliar, y conexión defectuosa.
- Alimentación: Batería (recargable 110V/220V) o externa 12Vcc.

Aplicaciones:

- Medida de tres puntos de toma de tierra grandes.
- Pruebas de resistividad de la tierra (medidas de 4 puntos), realizadas comúnmente en localidades de construcción propuesta. Usando análisis de resistividad de la tierra, el tamaño y la complejidad de la construcción del sistema de toma de tierra. El probador de resistencia de tierra modelo 4500 medirá la resistencia de compuestos epóxidos, cemento, materiales de mejora de la tierra y muchas otras substancias.
- Los niveles de paso o de “toque” bajo condiciones de fallo verdadero pueden ser determinadas usando el Modelo 4500 para inyectar un fallo de nivel bajo simulando dentro de un sistema eléctrico. Cuando es usado de esta forma, mostrará lecturas en voltios por amperio de fallo.
- Pruebas de dos puntos para pruebas de continuidad en enlaces o en tomas de tierra preestablecidas.

Anexo 4: Art. 250.24 NEC. Aterrizado de sistemas de corriente alterna.

- a) Sistema de conexión a tierra. En los sistemas eléctricos de corriente alterna el cable de tierra del sistema debe tener un electrodo de tierra conectado, a cada servicio, de acuerdo con el art. 250.24(a) en sus numerales 1 al 5.
1. General. La conexión se hará a cualquier punto accesible del extremo de carga incluyendo los terminales o barra a las cuales el servicio de tierra este conectado.
 2. Transformadores al aire libre. Donde el transformador que proporciona el servicio se localiza fuera del edificio, por lo menos una conexión conectando con tierra adicional se hará del conductor de servicio conectado con tierra a un electrodo conectando con tierra, o al transformador o en otra parte fuera del edificio.
 3. Para servicios que son dualmente alimentados en un grupo común o separados y empleando un lazo secundario, una sola conexión del electrodo conectando con tierra al punto del lazo del conductor de cada fuente de poder se permitirá.
 4. Donde los conectores principales son cables o barras conectoras, el electrodo de tierra se conectará con éstos, uniéndolos entre si por medio de cables a cualquiera de los conductores de tierra dentro del mismo sistema.
 5. Conexión de tierra del lado de la carga. Una conexión a tierra no debe hacerse a cualquier conector de tierra del lado de la carga

b) Para un sistema de aterrizado debe utilizarse un dispositivo de desconexión para poder ser independiente y poder aislar el servicio.

c) Traída del conductor de conexión a tierra a los equipos de servicio. Los sistemas de AC que operan a menos de 1000 voltios, se conectan con tierra a cualquier punto, el conductor (conectado con tierra) se correrá a cada servicio que desconecta los medios y se unirá a cada uno dentro del mismo circuito. El conductor se instalará de acuerdo con 250.24(C) del 1 al 3.

1. Ruta y dimensionamiento. El conductor se llevará con los conductores de fase y no debe ser de menor calibre que el especificado en la tabla 250.66, pero no será de mayor calibre que el conductor de fase. Cuando los conductores de entrada se servicio son superiores a 1100 kcmil de cobre o 1750 kcmil de aluminio, el conductor conectado a tierra no será mayor de 12.5% del tamaño del conductor de fase de mayor calibre. El conductor conectado con tierra de un servicio de 3 fases, un delta de 3 alambres no tendrá un ampacidad menor que el de los conductores que no son de tierra.

2. Conductores paralelos. Donde los conductores de fase se instalan en paralelo, el tamaño del conductor conectado con tierra será basado en el área del mil redonda total de los conductores paralelos como lo indicado en esta sección.

Donde se instalan dos o más cables, el tamaño del conductor conectado con tierra en cada cable será basado en el tamaño del conductor de fase pero no más pequeño que 1/0 AWG.

3. Alta Impedancia. El conductor conectado con tierra en un sistema de tierra de alta impedancia se conectará con tierra de acuerdo con 250.36.

- d)** Electrodo conductor de tierra. Un electrodo conectando con tierra se usará para conectar el equipo entre la tierra y el conductor.

- e)** El conductor del electrodo conectando con tierra se conectará por medio de un alambreado a la caja metálica donde se encuentran los conductores de servicio a cualquier punto accesible.

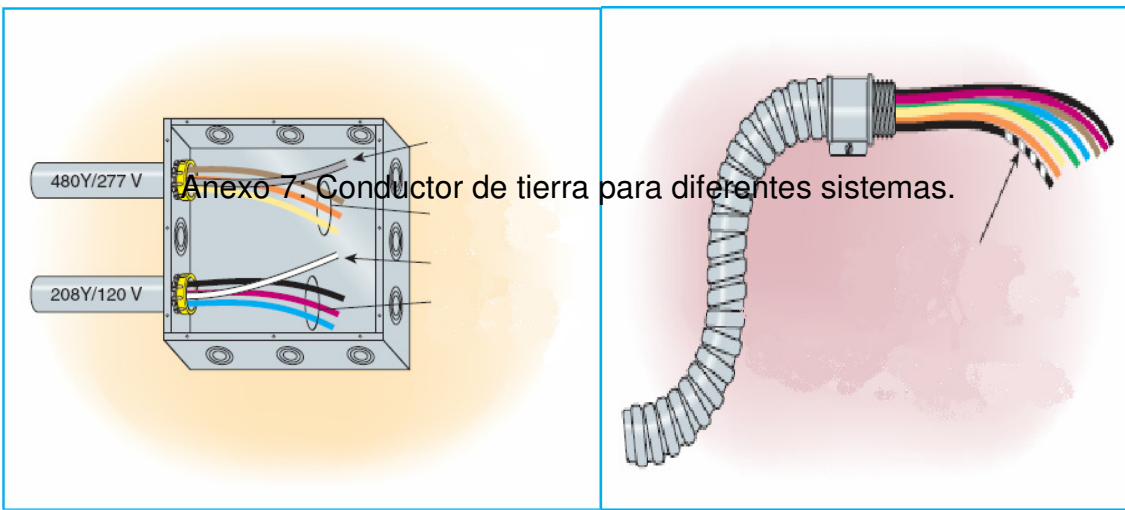
Anexo 5: Tabla 250.122 NEC. Calibre de conductores para conexión de tierra.

Valores o seteo de dispositivos de automáticos de sobrecorriente en circuitos al frente de equipos. Sin exceder. (Amperios)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio con alma de cobre
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Anexo 6: Tabla 250.66 NEC. Calibre de electrodo de tierra para sistemas AC.

Calibre de conductores o área equivalente para	Tamaño del electrodo de tierra
--	--------------------------------

conductores en paralelo.		(AWG/Kcmil)	
Cobre	Alumínio o Cobre revestido de aluminio	Cobre	Alumínio o Cobre revestido de aluminio
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 o 1/0	2/0 o 3/0	6	4
2/0 o 3/0	4/0 o 250	4	2
Arriba de 3/0 a través de 350	Arriba de 250 a través de 500	2	1/0
Arriba de 350 a través de 600	Arriba de 500 a través de 900	1/0	3/0
Arriba de 600 a través de 1100	Arriba de 900 a través de 1750	2/0	4/0
Arriba de 600 a través de 1100	Arriba de 1750	3/0	250



Gris

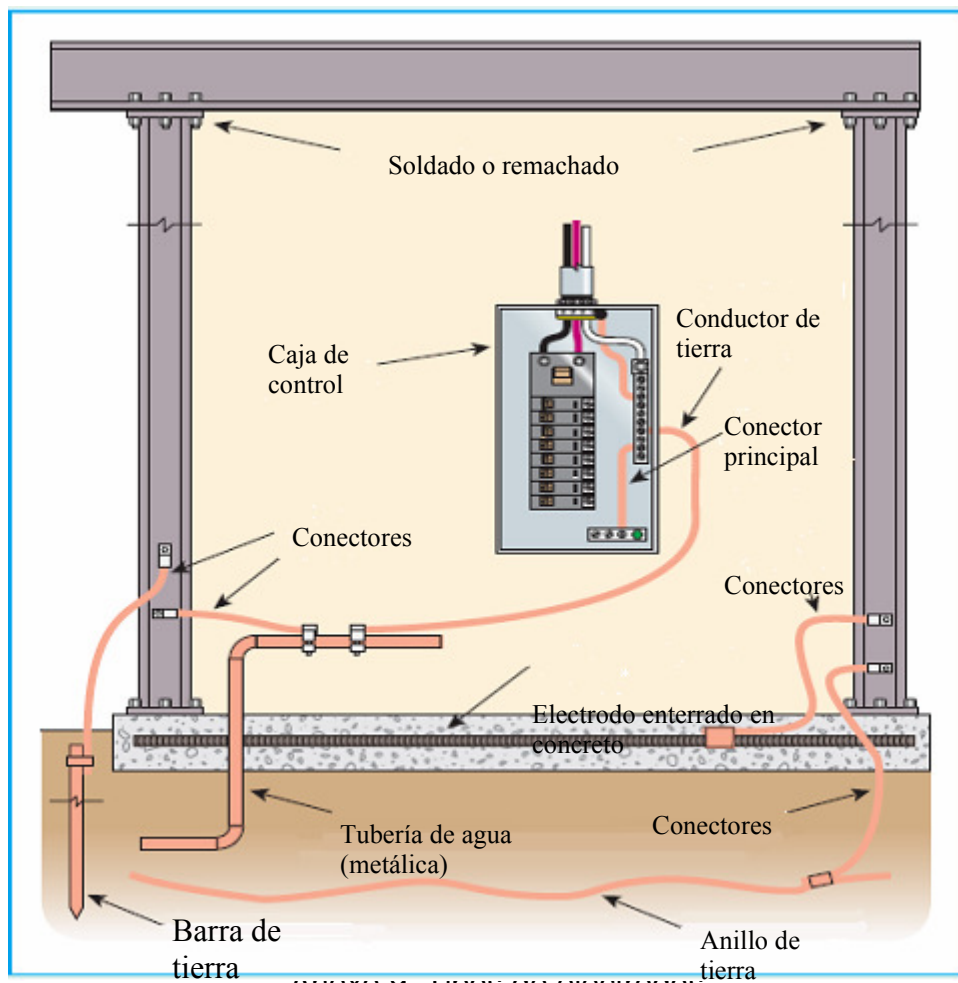
Líneas de fase

Blanco

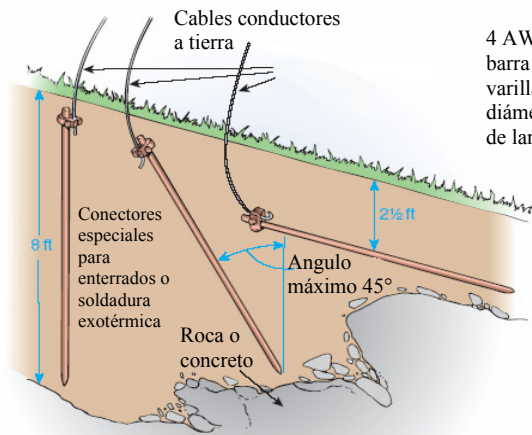
Líneas de fase

Conductor de tierra
(generalmente marcado con líneas blancas o pintadas)

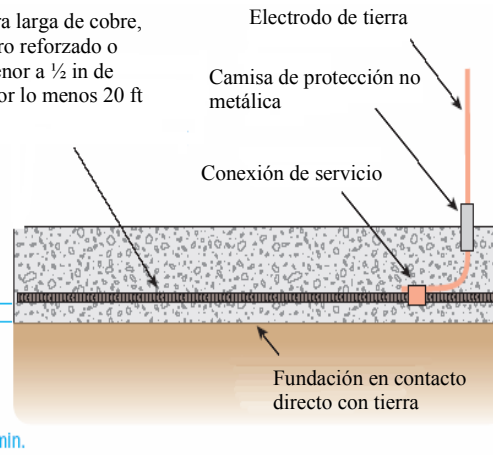
Anexo 8: Conexión a tierra de partes metálicas en edificaciones.



Anexo 9. Tipos de electrodos



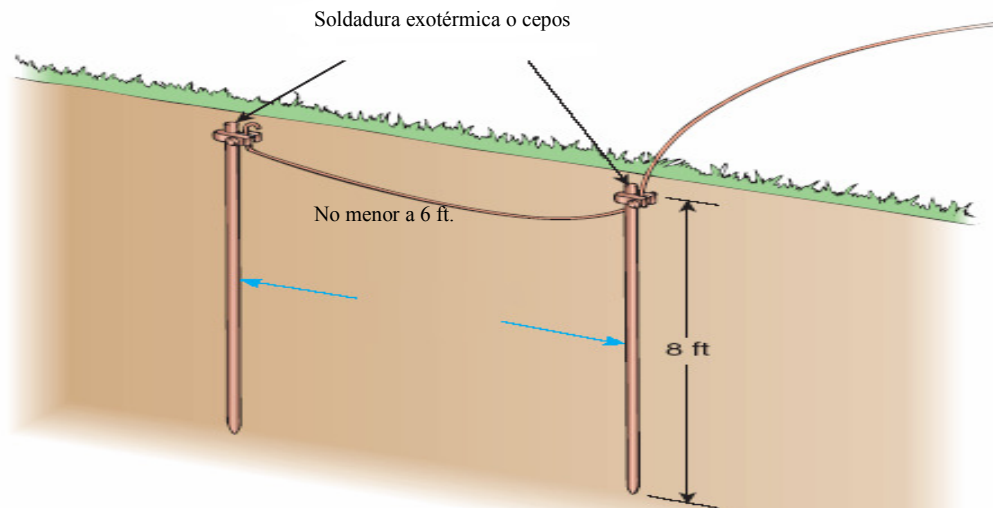
4 AWG, barra larga de cobre, barra de hierro reforzado o varilla no menor a 1/2 in de diámetro y por lo menos 20 ft de largo



Varillas Copperweld

Electrodo empotrado en concreto

Electrodo horizontal o contra-antena



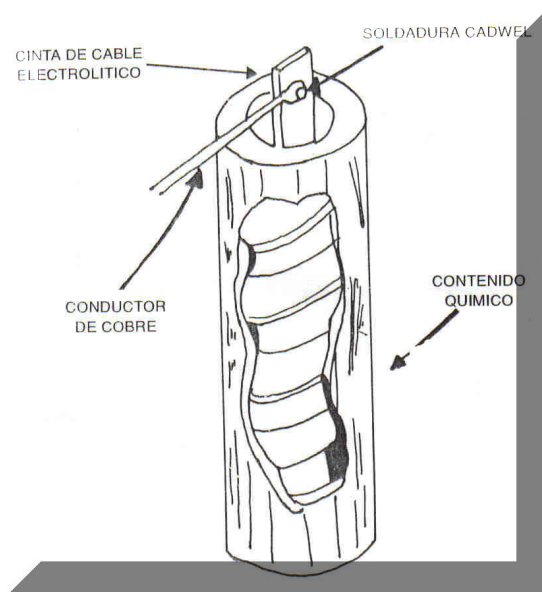
Malla



Electrodo en estrella



Electrodo de rehilete



Electrodo electroquímico















Anexo 10: Calibre del conductor de puesta a tierra según tiempo de falla.

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

Anexo 11: Temperatura máxima de fusión.

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

Anexo 12: Fórmulas para el cálculo de las resistencias de tierra.

Símbolo	Descripción	Fórmula
	Hemisferio radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
	Varilla Longitud L, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
	Dos varillas S>L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^8} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
	Dos varillas S<L separación s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	Alambre horizontal enterrado Longitud 2L Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	Alambre de ángulo recto Longitud de un lado L Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^4}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L} \dots \right)$
	Estrella de tres puntas Longitud de un lado L Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^3}{L^8} - 0.054 \frac{s^4}{L} \dots \right)$
	Estrella de cuatro puntas Longitud de lado L Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^8} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Estrella de seis puntas Longitud de lado L Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^3} - 0.409 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Estrella de ocho puntas Longitud de lado L Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^3}{L^3} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Anillo de alambre Diámetro del anillo D Diámetro del alambre d Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
	Placa enterrada Horizontalmente longitud 2L Sección a por b profundidad S/2 b < a/8	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	Placa redonda enterrada Horizontalmente radio a Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$
	Placa redonda enterrada Verticalmente radio a Profundidad S/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99}{320} + \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

Anexo 13: Tipos de químicos para tratamientos de redes de tierra.

TERRA EP



Producto de mezcla química con base grafito cuya función principal es reducir la resistencia de contacto entre elementos de cobre y terreno circundante; contiene cementantes que le otorgan las características necesarias para usarlo en la fabricación de electrodos de puesta a tierra y como cama para la instalación de mallas de tierras.

EP-TR



El material EP-TR esta diseñado para ser utilizado como relleno en las perforaciones para los electrodos prefabricados, donde la tierra circundante no es propicia para este uso. Por su composición, disminuye la resistencia propia del electrodo, además de formar un medio continuo y homogéneo con gran capacidad de conducción eléctrica.

ELECTROGEL



Por su composición, el electro-gel hace más eficiente el proceso de reducción de resistencia eléctrica de contacto a tierra.

Por su diseño como agregado electrolítico genera un efecto de ciclo cerrado donde humecta y activa al electrodo en la medida que este lo necesita, por tanto, la carga de estos componentes puede durar mas de un ciclo estacional.

EP-AE Agregado electrolítico



El agregado electrolítico ep-ae ha sido diseñado para efectos de activación y mantenimiento de los electrodos parres, ya que aumenta la conductividad de la pasta del electrodo.

Anexo 14. Diseño de red de tierra (Memoria de cálculo).

Anexo 15. Presupuesto (Hojas de cálculo).

Anexo 16. Corrientes de fuga

Corrientes de fugas permanentes y transitorias producen disparos no previstos en los diferenciales, la norma internacional de instalaciones eléctricas (IEC 60364) define como corriente de fuga, a la corriente que circula hacia tierra directamente, o a través de elementos conductores, en un circuito eléctricamente sano. Existen 2 tipos de corriente de fuga, no peligrosas, que sin debidas a defectos de aislamiento:

- a) Corriente de fuga permanente.
 - Estas corrientes son debidas a:
 - 1) Las características de los aislantes.
 - 2) Las frecuencias de las corrientes empleadas.
 - 3) Los condensadores de filtros capacitivos.

- b) Corriente de fuga transitoria o debida a perturbaciones.
 - Estas corrientes son generadas principalmente por:
 - 1. Sobre tensiones de maniobra.
 - 2. Sobre tensiones atmosféricas (rayos).
 - 3. Puesta en tensión de circuitos que poseen una elevada capacidad respecto a tierra.

Cuando un diferencial dispara debido a que ha detectado uno de estos defectos, que no suponen ningún peligro, se habla de disparos intempestivos o funcionamientos anómalos

Además, alguna de estas corriente de fuga también pueden producir el efecto contrario, es decir, puede insensibilizar y bloquear al diferencial haciendo imposible su disparo si simultáneamente se produce un defecto de aislamiento que sí suponga un peligro.

En el caso de corrientes de fuga permanentes, para evitar los disparos intensivos, esta corriente no debe rebasar el 30% de la sensibilidad del diferencial (es decir, 9 mA para diferencial de 30 mA). Funcionamiento de la protección diferencial, ante una falla en la aislamiento de un aparato eléctrico, sus partes metálicas quedan sometidas a tensión, el conductor de protección hará circular una corriente de fuga a tierra. El interruptor diferencial detectará la fuga y cortará la alimentación en forma inmediata.

Para estos casos hay que tomar en cuenta lo siguiente:

Utilizar aparatos que incorporen una separación galvánica en su alimentación eléctrica, como ejemplo, un transformador separador, en el caso del edificio de eléctrica se nos presenta el caso en que se tiene la menor corriente de fuga de todos los edificios, en este edificio se encuentran los transformadores de los módulos.

Hay que hacer un balance de las corrientes de fuga previstas en cada circuito, y limitar el número de tomas de corriente protegidas por un solo dispositivo diferencial. En definitiva hay que fraccionar la instalación en partes lo suficientemente pequeñas para que la corriente de fuga acumulada en ellas sea inferior al 30% de la sensibilidad de los diferenciales que la protejan. Por norma de fabricación, las protecciones diferenciales pueden empezar a disparar con valores de fuga superiores al 50% de su sensibilidad.

En el caso de corrientes de fuga transitorias, cuando se está proyectando una nueva instalación donde vayan a tener que repartirse líneas de cable muy largas para poder llegar hasta los receptores (iluminación, tomas de corriente, alimentación directa de receptores, etc.) es muy conveniente realizar la máxima subdivisión posible de circuitos a fin de acumular el menor número de metros de cable por debajo de un solo diferencial, pudiéndose llegar a tener en muchos casos un diferencial para proteger cada circuito.

Limitar en la medida de lo posible, el número de receptores electrónicos que incluya filtros capacitivos conectados a tierra, por debajo de cada diferencial. En circuitos para alimentar tomas informáticos, por ejemplo, hay que minimizar el número de líneas por debajo de cada diferencial.

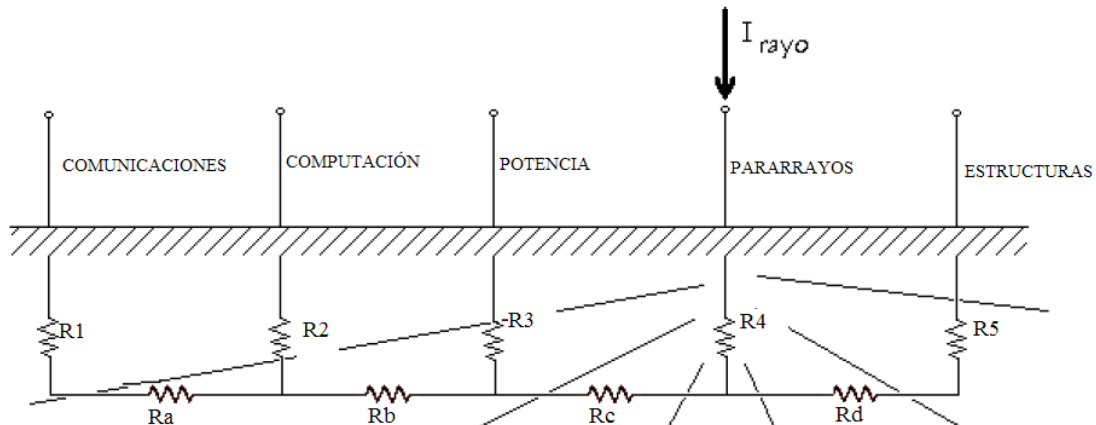
Para disminuir o eliminar el número de disparos intempestivos en instalaciones ya existentes, en la mayoría de ocasiones no es posible tomar las precauciones anteriores. Una solución es instalar un interruptor diferencial moderno, que posea filtros de alta frecuencia e inmunizados contra sobretensiones transitorias.

En cuanto a descargas atmosféricas se refiere, en la zona no se tienen precipitaciones que impliquen gran riesgo, sin embargo se recomienda la utilización de pararrayo en el caso del edificio de comunicaciones, ya que en este se encuentran equipos de transmisión radial, aunque no se tiene torre de transmisión la cual serviría como vía de escape en caso de descargas atmosféricas, pero como se explica a continuación se hace importante de tener una vía de salida para descargas atmosféricas.

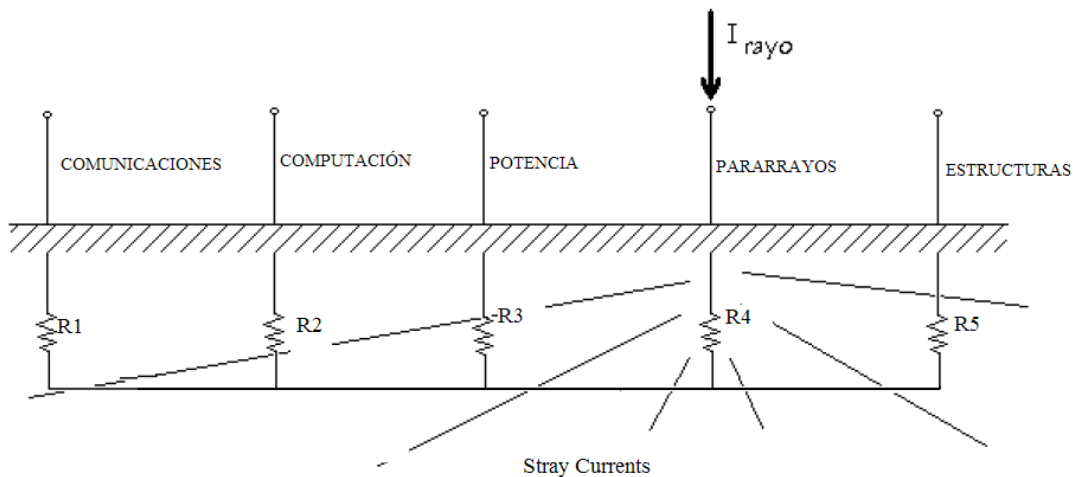
Punto Común De Aterrizaje

Al elaborar diferentes sistemas independientes de toma de tierra, se forma una resistencia interna entre los diferentes sistemas, durante una falla a tierra del sistema de potencia o, en el

peor de los casos, durante una descarga atmosférica se registran corrientes de gran intensidad en las vecindades del polo de puesta a tierra. A estas corrientes se les denomina corrientes extraviadas (Stray Currents).



Al encontrarse presentes las diferentes resistencias de los sistemas de puesta a tierra se crean diferencias de voltaje llegando a ser, muchas veces, superior al voltaje de alimentación, repercutiendo así en la destrucción de los equipos sensibles electrónicos. Para evitar esta situación, se sugiere, unir todos los puntos de todos los sistemas aterrizados formando un solo punto (o rama) de aterrizaje (single point to ground), teniendo en cuenta el evitar curvaturas cerradas en el cable de aterrizaje del sistema del pararrayos.



Prácticas de protección directa.

Fundamentalmente, la protección directa contra rayos (sistemas de protección contra rayos) consiste en terminales de aire o elementos desviadores que se colocan en la parte superior de la estructura que se quiere proteger y conectados a conductores de bajada adecuados, hasta unos electrodos de aterrizaje (al planeta).

El principio fundamental es que los conductores de bajada no deben tener partes con resistencia o reactancia elevadas y deben ofrecer la impedancia más baja posible a tierra. No debe tener curvas pronunciadas o lazos para prevenir la reactancia del conductor. La estructura

metálica se debe aterrizar para evitar la posibilidad de perforación que puede producir el golpe de la descarga.

Los terminales de aire que se agregan a las estructuras son barras sólidas puntiagudas o tubos de, por lo menos, 10 pulgadas (0.25 m) de longitud hasta unos 20 pies (6.1 m). Cuando las estructuras se interponen entre tierra y las celdas, estas igualmente son cargadas. Estas estructuras reducen una porción del espacio de aire, y pueden detonar un rayo porque la estructura reduce una porción significativa del espacio intermedio.

Anexo 17. Pararrayos

Selección del sistema de Pararrayos.

Para la selección de un dispositivo de protección exterior es necesario conocer dos parámetros. Estos son el radio de protección (R_p) y el nivel de protección (NP).

NIVEL DE PROTECCIÓN

El nivel de protección es un parámetro a determinar y debe realizarse en base a la normativa existente. En nuestro caso se utilizará la norma UNE 21186 -96 basada en la norma NF C 17-102. Estas normas establecen tres niveles de protección.

El nivel de protección depende de:

Densidad de impactos de rayo en la zona.

Situación de la estructura a proteger (Núcleos urbanos o rurales, edificios elevados próximos,...).

Tipo de estructura (Metálica, obra,...).

Ocupación del edificio.

Valoración del coste de una parada de la instalación por daños ocasionados por el impacto de un rayo.

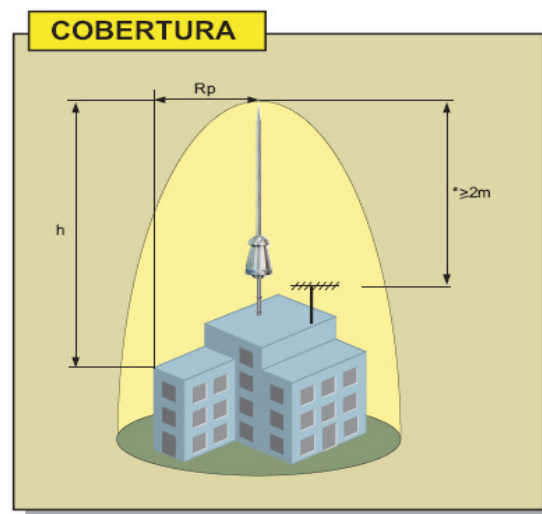
En muchas ocasiones este último punto condiciona la selección del nivel, es decir, el aumento del coste de la protección al seleccionar un nivel de protección I (Máxima seguridad), se justifica frente a las pérdidas que se podrían ocasionar por una parada en la instalación por los daños causados por la caída directa de un rayo sobre el edificio.

RADIO DE PROTECCIÓN

Para la correcta selección del PDC en la protección exterior de una estructura o edificio, es muy importante $h^* > 2m$ conocer otro parámetro.

Este parámetro es el radio de protección (R_p).

El radio de protección se define como la distancia entre el punto donde se desea ubicar el PDC y el punto más alejado de la estructura o edificio que queremos dejar protegido.



NP: Nivel de protección
Rp: Radio de protección
h: Altura de la punta del nimbus sobre la superficie a proteger

Ejemplo de selección del sistema nimbus

Una vez disponemos de estos dos datos preliminares (*NP* y *Rp*), ya estamos en disposición de seleccionar el PDC más adecuado.

Es necesario tener presente que para una correcta protección, la punta del PDC debe sobresalir como mínimo 2 m por encima de cualquier punto que queramos proteger.

Para realizar un ejemplo práctico partiremos de la siguiente situación: NP: I, Rp: 50 m.

La selección del PDC se realiza a partir de su tabla característica, que es la que nos permitirá determinar el modelo de nimbus que necesitamos y a qué altura se debe ubicar.

TABLA CARACTERÍSTICA DEL nimbus

NP	Nivel I			Nivel II			Nivel III		
Modelo de Pararrayos	nimbus CPT 1	nimbus CPT 2	nimbus CPT 3	nimbus CPT 1	nimbus CPT 2	nimbus CPT 3	nimbus CPT 1	nimbus CPT 2	nimbus CPT 3
Rp (m)									
h (m)									
2	17	24	32	23	30	40	26	33	44
3	25	35	48	34	45	59	39	50	65
4	34	46	64	46	60	78	52	67	87
5	42	58	79	57	75	97	65	84	107
6	43	58	79	58	76	97	66	84	107
8	43	59	79	59	77	98	67	85	108
10	44	59	79	61	77	99	69	87	109
15	45	59	80	63	79	101	72	89	111
20	45	60	80	65	81	102	75	92	113
45	45	60	80	70	85	105	84	98	119
60	45	60	80	70	85	105	85	100	120

- 1- Se selecciona en el apartado de nivel de protección I, el *Rp* igual o inmediatamente superior (58 m).
- 2- El índice vertical nos indica el modelo a instalar (nimbus CPT-2).
- 3- El índice horizontal nos indica la altura mínima (*h*) del nimbus (en este caso, mínimo 5 m).

Paso 1

NP	Nivel I		
Modelo de Pararrayos	nimbus CPT 1	nimbus CPT 2	nimbus CPT 3
Rp (m)			
h (m)			
2	17	24	32
3	25	35	48
4	34	46	64
5	42	58	79
6	43	58	79
8	43	59	79
10	44	59	79
15	45	59	80
20	45	60	80
45	45	60	80
60	45	60	80

Paso 2

NP	Nivel I		
Modelo de Pararrayos	nimbus CPT 1	nimbus CPT 2	nimbus CPT 3
Rp (m)			
h (m)			
2			
3			
4			
5		58	
6			
8			
10			
15			
20			
45			
60			

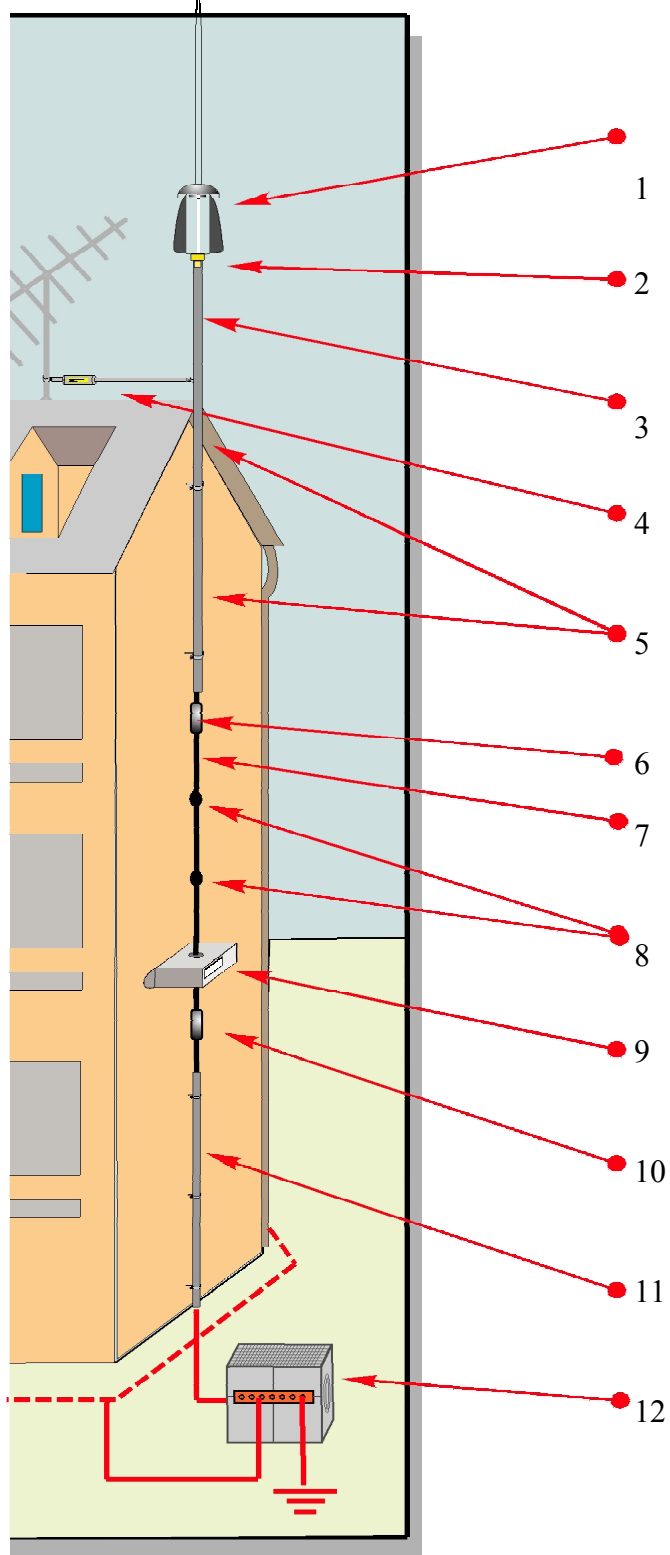
Rp

h

Paso 3

NP	Nivel I		
Modelo de Pararrayos	nimbus CPT 1	nimbus CPT 2	nimbus CPT 3
Rp (m)			
h (m)			
2			
3			
4			
5	58		
6			
8			
10			
15			
20			
45			
60			

GUÍA DE SELECCIÓN: Para la instalación de un pararrayos hace falta seleccionar correctamente todo el material que lo compone. El siguiente esquema es una guía de los puntos a tener en cuenta para adquirir el pararrayos y todos los accesorios para su instalación



1 CABEZAL CAPTADOR

Los Pararrayos con Dispositivo de Cebado nimbus, emiten impulsos de alta tensión, asegurando la formación anticipada del trazador ascendente, aumentando el radio de cobertura frente a un pararrayos convencional.

2 PIEZA DE ADAPTACIÓN

La pieza de adaptación permite acoplar el pararrayos nimbus al mástil. Existen dos modelos, uno para mástiles de 3 y 6 m. y otro para mástil de 9 m.

3 MÁSTIL

Elemento alargable para dar la altura necesaria al cabezal captador del pararrayos para cubrir el radio de acción de la zona a proteger.

4 PROTECTOR MÁSTIL ANTENA

Elemento para la puesta a tierra instantánea del mástil de antena en el momento de la caída del rayo. Permanece aislado en condiciones normales.

5 ANCLAJE MÁSTIL

Su función es la sujeción del mástil, existiendo diferentes tipos de anclajes: para la colocación mediante tornillo o para empotrar.

6 MANGUITOS DE UNIÓN (OPCIONAL)

7 CONDUCTOR BAJANTE

Elemento conductor destinado a encaminar la corriente de rayo desde el cabezal captador hasta la toma de tierra.

8 SOPORTES CABLE

Fija el conductor de bajada en toda su trayectoria para evitar movimientos del mismo.

9 CONTADOR DE DESCARGAS

Indica los impactos de rayo recibidos por la instalación de protección. Recomendado por la norma UNE 21186 1996

10 MANGUITOS DE UNIÓN

Los manguitos de unión permiten desconectar la toma de tierra con el fin de efectuar la medida de la resistencia.

11 TUBO DE PROTECCIÓN

Tubo de chapa galvanizada de 2 m. para evitar los choques mecánicos contra el conductor del bajante.

12 Toma de Tierra y Equipotencialidad

Sistema de toma de tierra: existen varias configuraciones para la realización de una toma de tierra, dependiendo de la construcción y los materiales empleados, debiendo conseguir una resistividad inferior a 10 Ohmios, con un mínimo de 3 electrodos.

GUÍA DE INSTALACIÓN

1 **CABEZAL CAPTADOR:** La punta debe estar situada 2m. por encima de la parte más elevada de la zona a proteger.

2 **PIEZA DE ADAPTACIÓN:** debe asegurar el contacto eléctrico entre la punta captadora y la bajante de cable. Se situará sobre mástil, poste de iluminación, pilares, etc.

3-5 **MÁSTIL-ANCLAJE MÁSTIL:** el mástil además de dar la altura necesaria al pararrayos para cubrir el radio de acción debe estar correctamente colocado o empotrado mediante 2 ó 3 anclajes, según longitud.

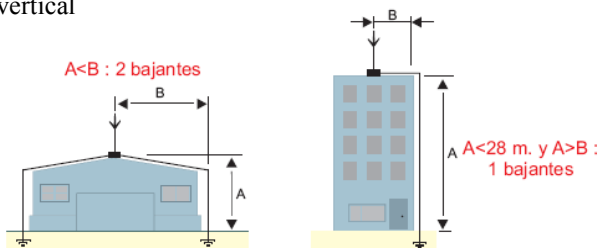
6 **CONDUCTOR BAJANTE:** debe asegurar la conducción de la corriente de rayo desde el dispositivo captador hasta la toma de tierra.

Los conductores podrán ser pletina, trenza plana, cable trenzado o redondo, y la sección mínima ha de ser de 50mm.

Cada pararrayos tendrá al menos una bajante, excepto en los siguientes casos que serán necesarias dos:

-Estructuras de altura superior a 28 m.

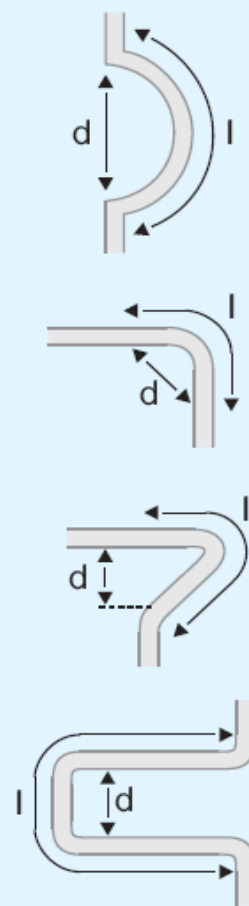
-La proyección horizontal es superior a la proyección vertical



El trazado desde ser lo más rectilíneo posible utilizando el camino más corto posible, evitando acodamientos bruscos o remotes. Los radios de cobertura no serán inferiores a 20cm. El bajante debe ser elegido de forma que evite el cruce o proximidad de líneas eléctricas o de señal.

l: longitud del bucle en metros d: ancho del bucle en metros. Cuando no sea posible evitar el cruce, la línea debe ubicarse en el interior de un blindaje metálico que se prolongue 1m. a cada parte del cruce. Se debe evitar el contorno de cornisas o elevaciones. Se admite una subida de un máximo de 40 cm. para franquear una elevación con una pendiente menor o igual a 45°.

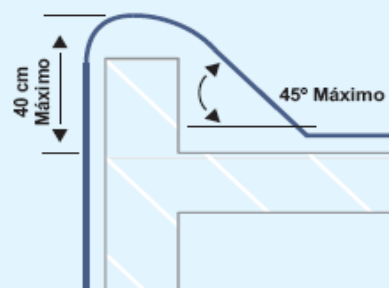
BAJANTE DE PARARAYOS



l : longitud del bucle en metros
d: ancho del bucle en metros
No hay peligro de ruptura del dieléctrico si se respeta la condición

$$d > \frac{l}{20}$$

CORNISAS



7 SOPORTES CABLE: Sea cual sea el soporte, las fijaciones de los conductores de bajada se realizarán tomando como referencia 3 fijaciones por metro. No deberán estar en contacto directo con material inflamable.

8 CONTADOR DE DESCARGAS: Este contador se instala encima de la junta de control, y en todos los casos 2m. por encima del suelo. Se instala sobre el conductor de bajada.

9 JUNTA DE CONTROL: Cada conductor de bajada deberá incorporar una junta de control que permita desconectar la toma de tierra a fin de efectuar la medida de toma de tierra. Se ubica a dos metros por encima del suelo.

10 TUBO DE PROTECCIÓN: Se intercala entre el suelo y la junta de control para proteger la bajante contra los choques mecánicos. Debe ser metálico y tener 2 m. de altura. Se fija con 3 abrazaderas.

Los pararrayos **nimbus** de la serie CPT están fabricados bajo norma UNE 21.186-96 y NF C17-102.

Fabricados en acero inoxidable AISI-316. Verificados en todas las fases de fabricación, bajo unos estrictos patrones de calidad.

Sistema interior de anticipación de cebado, fabricado con componentes reforzados de larga duración.

Fácil sistema de montaje e instalación, con sistema de retención de cable y punta.

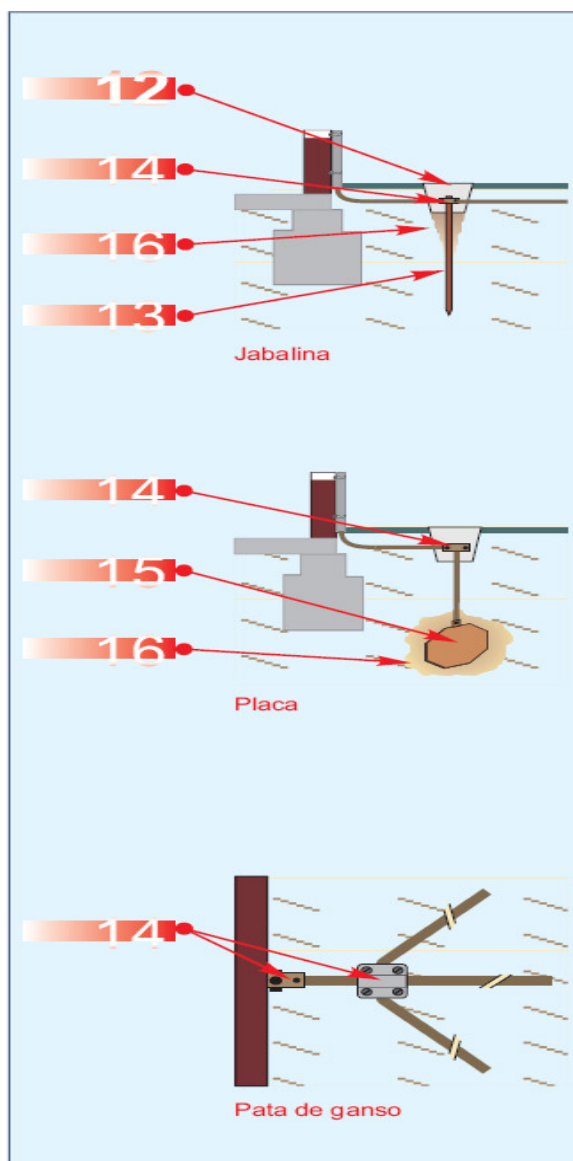
GENERALIDADES

La unión eléctrica con la tierra de una parte de un circuito eléctrico o de un Pararrayos se efectúa mediante una toma de tierra.

Una toma de tierra está formada por un conjunto de electrodos u otros elementos enterrados, que tienen como misión forzar la derivación al terreno de las intensidades de cualquier naturaleza que se puedan originar en nuestra instalación, ya se trate de corrientes de defecto a frecuencia industrial (50Hz) o de descargas atmosféricas.

TIPOS DE TOMAS DE TIERRA

Existen dos métodos para la construcción de tomas de tierra, siendo el más utilizado el de **profundidad** (jabalinas, electrodos activos, placas o similares, etc.). En el supuesto de que el terreno presente dificultades utilizaremos el método de **extensión**.



PROFUNDIDAD:

JABALINA: Constituye el método más utilizado de puesta a tierra debido a su fácil instalación. Su introducción en el terreno es por hincado. Estará formada por tres jabalinas, de 1,5 m de longitud mínima, enterradas verticalmente, formando un triángulo equilátero. Estas se unirán mediante cable desnudo o cinta de cobre enterrados en una zanja de 60 a 80 cm. de profundidad, y se conectarán a la red de tierras mediante puente de comprobación, dentro de una arqueta de registro.

La distancia de separación entre las diferentes picas será igual al doble de la longitud de las picas $D=2xL$ (longitud de las picas).

PLACAS O SIMILARES Es el menos utilizado por tener que realizar la excavación de un pozo. Sólo se recurre a este sistema cuando con los sistemas anteriores no obtenemos los valores deseados, y en lugares de muy poca superficie para colocar piquetas.

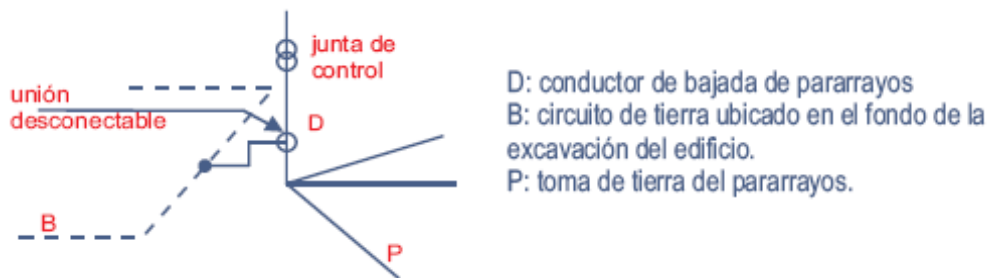
Normalmente se construye un pozo, de 2m de fondo, instalando la placa verticalmente y rellenando con tierra vegetal y otros aditivos para disminuir la resistividad del terreno.

SUPERFICIE:

PATA DE GANSO Este método de construcción de TT se emplea en terrenos rocosos, o de difícil excavación.

Está formado por 25 m de cinta o cable de cobre repartido en tres ramas enterradas en zanjas con un mínimo de 60 cm de profundidad, siendo la apertura entre ramas de 45°.

EQUIPOTENCIALIDAD DE LAS TOMAS DE TIERRA: Cuando el edificio a proteger dispone de una toma de tierra en el fondo de la excavación para las masas de las instalaciones eléctricas, las tomas de las instalaciones de pararrayos se unirán entre ellas.



Esta conexión se realiza a nivel del suelo, al pie de la toma de tierra. Si la realización de esta conexión no es posible, la interconexión se realizará sobre la placa de tierra. En este caso la trayectoria del conductor de unión se debe realizar de forma que evite una eventual inducción sobre los cables y materiales ubicados en las inmediaciones.

Anexo 18. Manual de diseño y mantenimiento de redes de tierra.

Unidad I

“Generalidades y conexiones de la puesta a tierra.”

Unidad II

“Resistividad del terreno y medición.”

Unidad III

“Diseño de la red de tierra.”

Unidad IV

“Ejecución y medición de la puesta a tierra.”

Unidad V

“Mantenimiento y mejoramiento de sistemas de puesta a tierra.”

UNIDAD I

*Generalidades y conexiones de la
puesta a tierra*

Unidad I

“GENERALIDADES Y CONEXIONES DE LA PUESTA A TIERRA”

Introducción

En esta unidad se describen los aspectos genéricos que sustentan la realización de una conexión a tierra, tales como: las regulaciones existentes, términos más usuales en la puesta a tierra, aspectos sobre el contacto directo e indirecto y con ello las fallas en los aparatos eléctricos y el recorrido de las mismas. Así también, se mencionan las corrientes admisibles por el cuerpo humano, para luego plantear los objetivos de la puesta a tierra y precisar que existen diferentes tipos de puesta a tierra.

Objetivos

En esta unidad el participante debe lograr los siguientes objetivos:

1. Conocer los antecedentes técnicos
2. Diferenciar e interpretar los fenómenos que se presentan durante las fallas
3. Identificar los objetivos de la puesta a tierra
4. Diferenciar los diversos tipos de puesta a tierra.

1. El servicio eléctrico

La empresa de distribución provee el servicio en el punto de conexión del medidor; desde allí hacia el interior, las instalaciones eléctricas son de total responsabilidad del cliente.

1.1 Las acometidas para servicio eléctrico

Cuando parten de una red subterránea de baja tensión en 220 V (Fig. 1.1), los conductores ingresan a la caja del medidor por debajo a través de los ductos acondicionados; dicha instalación debe estar protegida contra los derrames de agua y la acción de los roedores.

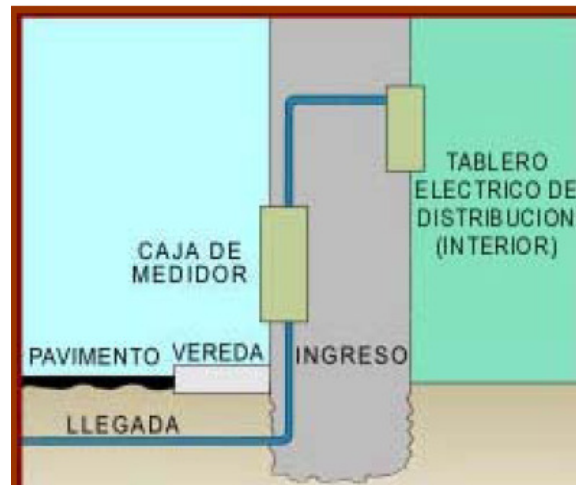


Fig. 1.1 Acometida subterránea

Cuando parten desde una red de baja tensión en 220 V (Fig. 1.2), los conductores de entrada a la caja del medidor lo hacen por encima a la altura de guarda, por un tubo de plástico moldeado en forma curva para evitar el ingreso de agua.

La preservación respecto de la humedad y el agua, así como de cualquier daño en las acometidas del servicio eléctrico, resulta ser indispensable para evitar la electrización de la caja del medidor y los toques directos.



Fig. 1.2 Acometida aérea.

1.2 Las instalaciones eléctricas interiores

Los alimentadores principales llegan al tablero de distribución, provenientes del medidor y desde allí se reparten a través de interruptores en diferentes circuitos, normalmente de tres conductores para tomacorrientes y cargas especiales (dos energizados y uno para conexión a tierra); y de dos conductores para iluminación (ambos energizados) (Fig. 1.3)

Las instalaciones interiores que no presentan dicha configuración, son irregulares y son peligrosas porque pueden propiciar daños a la salud o muerte de las personas que hagan contacto eléctrico accidental.

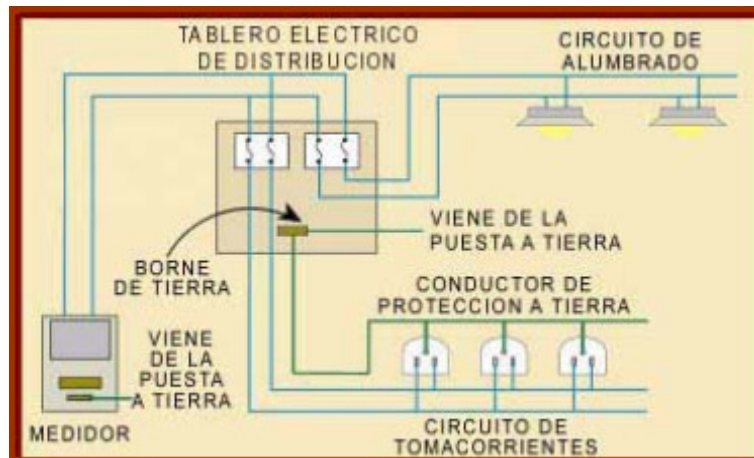


Fig. 1.3 Componentes interiores.

2. Introducción y objetivos de la puesta tierra

Antes de definir los objetivos de una puesta a tierra, es importante conocer algunos términos empleados, así como, los fenómenos que se presentan durante una falla, el recorrido de esta falla por el cuerpo humano y las corrientes admisibles.

2.1 Definición de términos

Es conveniente definir algunos términos que tienen relación con el tema de puesta a tierra y los que utilizaremos durante el desarrollo del presente curso.

- **Caída de potencial o tensión:** Es la diferencia entre las tensiones medidas en dos puntos diferentes de una línea en un momento dado.
- **Conductor de protección:** Conductor usado para conectar las partes conductoras de los equipos, canalizaciones y otras cubiertas, entre sí y/o con el (los) electrodo (s) de puesta a tierra, o con el conductor neutro, en el tablero, el equipo de conexión o en la fuente de un sistema derivado separadamente.
- **Conductor de puesta a tierra:** Conductor usado para conectar el electrodo de puesta a tierra al conductor de protección.
- **Contacto directo:** Es el contacto accidental de personas con un conductor activo (fase o neutros) o con una pieza conductora que habitualmente está con tensión.
- **Contacto indirecto:** Es el contacto de una persona con masas metálicas accidentalmente puestas bajo tensión, siendo esto el resultado de un defecto de aislamiento.
- **Contacto a tierra:** Conexión accidental de un conductor con la masa terrestre (tierra), directamente a través de un elemento extraño.
- **Electrodo de puesta a tierra:** Electrodo que se hincó en tierra para ser utilizado como terminal a tierra, tal como una barra de cobre.
- **Impedancia:** Una cantidad compleja cuyo coeficiente es el módulo de la impedancia, cuyo argumento es el ángulo de fase de la tensión menos el ángulo de fase de la corriente.
- **También, se define como la oposición total a una corriente alterna.** Se presenta por Z y se expresa en ohm. Puede consistir sólo en resistencia, reactancia inductiva, reactancia capacitiva o una combinación de estos efectos.
- **Neutro (Tierra):** Es una conexión a tierra de uno de los puntos neutros de un circuito, transformador, maquinaria rotativa o sistema.
- **Puesta a tierra:** Comprende a toda ligazón metálica directa sin fusible ni protección alguna de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo con objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno. No

existen diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falla o la descarga de origen atmosférico.

- Tensión de paso: Es la diferencia de potencial (tensión) máxima entre dos puntos sobre el terreno separados entre sí a una distancia de un paso, la cual se supone de un metro, en la dirección de máxima gradiente de potencial.
- Gradiente de potencial: Es la pendiente del gráfico de perfil de potencial (tensión), cuya trayectoria intercepta en ángulo recto las líneas que se encuentran a igual potencial en un instante dado.
- Tensión de toque: Es la diferencia de potencial máxima entre una estructura u objeto metálico puesto a tierra y un punto sobre la superficie del terreno a una distancia horizontal de un metro.
- Aparato eléctrico: Es todo dispositivo, equipo o artefacto que funciona con energía eléctrica, ya sea en forma estática o mediante movimiento.
- Conexión a tierra: Unión mediante un conductor, desde el terminal de tierra o masa de un aparato eléctrico, con una puesta a tierra.
- Resistencia de dispersión: Resistencia que opone la puesta a tierra al paso de la corriente eléctrica. Conviene que sea mínima para brindar mejor protección.
- Terminal de conexión a tierra o borde de tierra: es un punto aislado de los conductores eléctricos, pero no de la masa del aparato, al cual se une sólidamente el conductor de conexión a tierra.
- Masa o carcasa: Es la caja metálica exterior que contiene a un aparato eléctrico, presentando un punto, denominado terminal o borne en el cual se realiza la conexión a tierra.
- Apuesta a tierra o aterramiento (PAT.): Instalación de seguridad eléctrica en la que un electrodo de cobre es enterrado en el suelo con la finalidad de dispersar corrientes eléctricas para evitar accidentes.
- Aponer a tierra o aterrizar: Equivale a realizar la conexión de una masa o un punto neutro a una puesta a tierra.
- Electrodo de puesta a tierra o electrodo de aterramiento: Es un conductor metálico rectilíneo resistente al ataque corrosivo (cobre), embutido directamente en el suelo o en el relleno de una excavación, puede tener diferentes formas.
- Electrodo vertical o jabalina: Son simples varillas metálicas cilíndricas de pequeño diámetro que se instalan verticalmente en el suelo, ya sea por clavado directo o por embutimiento en el relleno de un pozo.
- Electrodo horizontal o pletinas o contrapesos: Son simples pletinas o conductores cableados de mediano diámetro equivalente, que se instalan horizontalmente en el suelo, por embutimiento en el relleno de una zanja.

- Electrodo mixto: Son electrodos conformados por elementos verticales y horizontales sólidamente unidos entre sí, que se configuran según los requerimientos de dispersión o control de la corriente evacuada a tierra.
- Relleno de puesta a tierra: Mezcla de tierra fina propia de la excavación y/o tierra fina de otra procedencia (no tierra de cultivo) con aglutinantes naturales y complemento localizado de sales inocuas, que permitan obtener bajas resistencias de dispersión.

2.2 Justificación de la puesta a tierra

Para que un sistema de energía eléctrica opere correctamente con una apropiada continuidad de servicio, con un comportamiento seguro de los sistemas de protección y para garantizar los niveles de seguridad personal es necesario que el sistema eléctrico en su conjunto posea un sistema de puesta a tierra como se muestra en la siguiente figura.

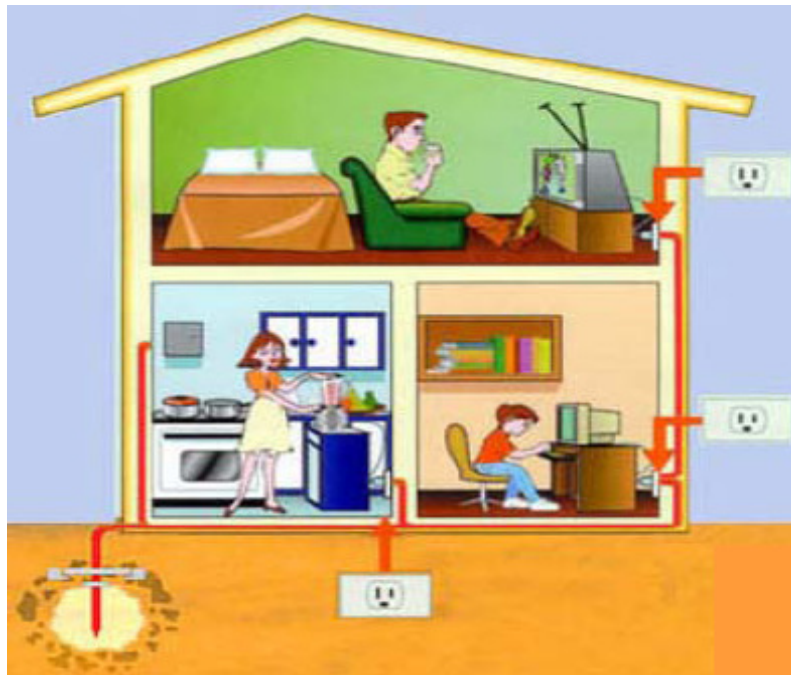


Fig. 1.4 Acometida de puesta a tierra de los diferentes artefactos domiciliarios.

Cuando se trata de instalaciones eléctricas que darán servicio a una extensa gama de aparatos eléctricos y electrónicos ya sean fijos o móviles; con carcasas metálicas y no metálicas, susceptibles al deterioro desde el punto de vista eléctrico, es fundamental la protección contra las fallas debido al deterioro del aislamiento que originan la aparición de tensiones por contactos indirectos.

2.3 El toque eléctrico

Es el contacto accidental con un conductor u objeto electrificado que ocasiona inicialmente estremecimiento y contracciones súbitas en una persona o en un animal; la severidad y

consecuencias de estas y otras manifestaciones, dependerán de la intensidad de la corriente eléctrica y del tiempo que ésta circule por el cuerpo.

2.3.1 El contacto directo

Ocurre cuando una parte desprotegida del cuerpo humano (Fig. 1.5) hace contacto limpio con una pieza desprovista de aislamiento o con una parte de un conductor activo (energizado), en tanto que otra parte del cuerpo está en contacto con otro punto de menor potencial (suelo); generalmente se trata de componentes defectuosos o averiados por el uso, tales como tomacorrientes o enchufes, o bien conductores pelados de artefactos eléctricos domésticos.

Los toques directos son sumamente peligrosos para la vida. Los accidentes se pueden evitar, en principio, cuidando que los elementos eléctricos que normalmente utilizamos — como son: interruptores, timbres, tomacorrientes, enchufes, conductores aislados etc. no presenten averías ni daños.

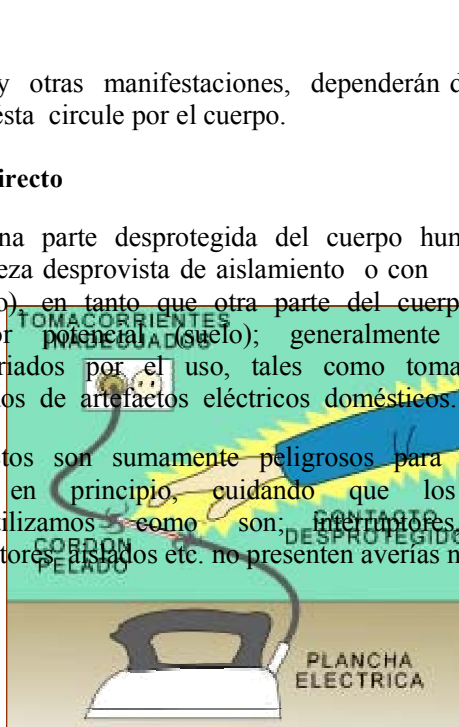


Fig. 1.5 Contacto directo.

2.3.2 El contacto indirecto

Constituye el contacto de una parte del cuerpo humano (Fig. 1.6) con la masa (caja metálica o cubierta) de una máquina, artefacto o instalación eléctrica que se ha electrizado debido a la falla interna del aislamiento, mientras que otra parte está en contacto con un punto de menor potencial. Puede ocurrir con la máxima conducción de corriente “Falla Franca” o a través de una resistencia espontánea que limita dicha corriente “Falla Amortiguada”.

Los toques indirectos a veces son menos peligrosos porque el contacto ocurre a través de un medio que limita la corriente; sin embargo, son difíciles de evitar al igual que las fallas eléctricas.

En todos los casos, al cumplir con la forma de uso recomendada por el fabricante para cada aparato, se estará minimizando el riesgo.

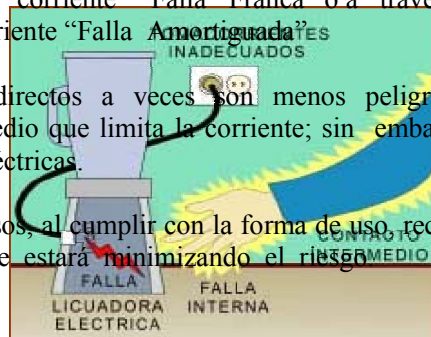


Fig. 1.6 Contacto indirecto.

2.4 Falla de los aparatos eléctricos

Los aparatos eléctricos en funcionamiento pueden fallar por deterioro natural o como consecuencia del uso recargado o erróneo o por la incidencia de una sobretensión en el circuito eléctrico; de ese modo involucran accidentalmente a las personas que los están utilizando con una corriente que atraviesa el cuerpo.

2.4.1 Recorrido de las corrientes de falla I_f

La corriente de falla en vez de regresar a la fuente por el conductor mellizo lo hará necesariamente por el suelo (tierra), para lo cual pasa por la falla hacia la masa y continúa por las partes más conductoras que están en contacto con ella, hasta que llega tierra. (Fig. 1.7)

Cuando no hay conexión entre la masa y tierra una de esas partes más conductoras puede ser la persona que está utilizando el aparato, tocándolo o agarrándolo, en cuyo caso, su salud o vida estarían en peligro.

Para minimizar la corriente peligrosa que podría pasar a través de la persona, la norma recomienda conectar la masa del artefacto con la tierra, con lo cual se reduce drásticamente la resistencia del trayecto para la circulación de la corriente de falla.

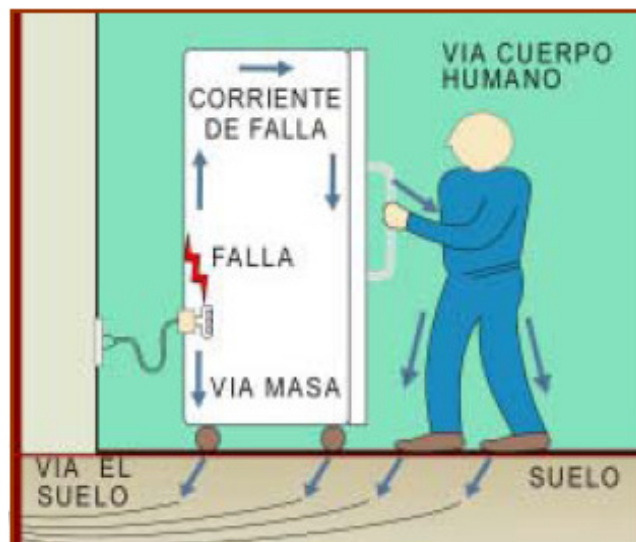


Fig. 1.7 Corriente de falla retornando a la fuente.

2.4.2 Corrientes admisibles por el cuerpo humano I_k

Las corrientes susceptibles de circular por el cuerpo humano comprometiendo el corazón y sin peligro para la salud, se denominan corrientes admisibles (Fig.1.8) para intervalos de hasta 3,0 segundos según el peso medio de la persona (70 kg asignado para los hombres y 50 kg. Para las mujeres).



Las normas adoptan como límite de corriente admisible, 50 mA, en intervalos de hasta 3,0 segundos, dado que por encima de dicha magnitud hasta los 100 mA, la corriente puede producir fibrilación ventricular y mayores corrientes de electrocución y muerte.

Fig. 1.8 Corrientes admisibles según el tiempo de aplicación.

2.5 Parámetros eléctricos en el cuerpo humano

Los toques eléctricos a partir de la diferencia de potencial aplicada conllevan a la circulación de corriente a través del trayecto comprometido del cuerpo humano. La evaluación del fenómeno requiere conocer las magnitudes de resistencia y potencial.

2.5.1 Resistencia eléctrica R_k

Entre dos partes diferentes del cuerpo humano que incluyen el corazón, se miden diferentes resistencias eléctricas; las normas recomiendan adoptar un valor promedio de $R_k = 1000 \text{ Ohm}$. (Fig.1.9)

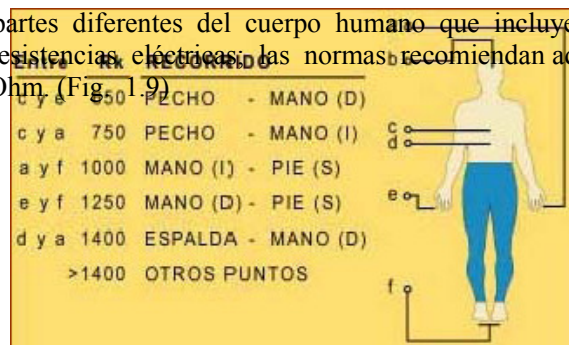


Fig. 1.9 Recorridos de la corriente en el cuerpo humano.

2.5.2 Potenciales admisibles V_K

La diferencia de potencial, considerada admisible por el cuerpo humano se calcula a partir de $I_K = 0,05$ A (Corriente admisible) y $R_K = 1000$ Ohm (Resistencia media), según la duración (t) del contacto.

En régimen permanente (Fig. 1.10), hasta por ($t = 3,0$ s), el potencial no peligroso en seco está definido por ($V_K = R_K \times I_K$)

$$V_K = 1000 \times 0,050$$

$$V_K = 50 \text{ V (Potencial no peligroso en seco)}$$

En régimen transitorio (Fig. 1.11), el tiempo (t) de exposición es controlado por la protección eléctrica (fusibles, interruptores), y se define según la relación (Dalziel)

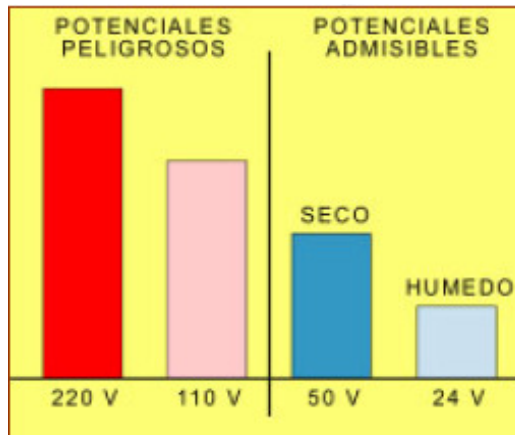


Fig. 1.10 Potenciales en régimen permanente.

Bajo contingencias de toque eléctrico conviene disponer de un circuito alterno de baja resistencia (conexión masa – tierra) y de accesorios que incrementan la resistencia eléctrica de cuerpo humano (guantes, mangas, delantales, zapatos, etc.)

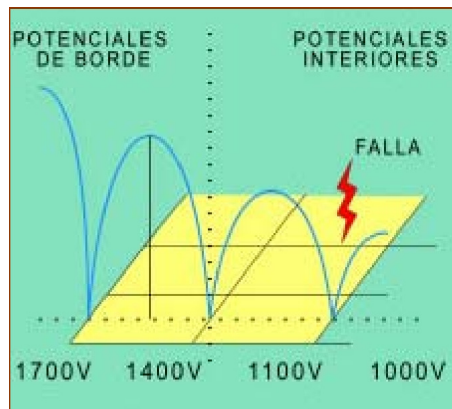


Fig. 1.11 Potenciales en régimen transitorio.

2.6 Objetivos de la puesta a tierra

Los objetivos de una conexión a tierra son:

- a) Conducir a tierra todas las corrientes anormales que se originan como consecuencia de carcavas de los equipos eléctricos energizados.
- b) Evitar que aparezcan tensiones peligrosas para la vida humana en las carcavas metálicas de los equipos eléctricos.
- c) Permitir que la protección del circuito eléctrico, despeje la falla inmediatamente ocurrida ésta.

Para lograr que la puesta a tierra de protección, cumpla con los objetivos previstos, es necesario establecer un medio a través del cual sea posible entrar en contacto con el terreno propiciando un camino de baja impedancia a menor costo, para la operación correcta de los equipos de protección, manteniendo los potenciales referenciales en un nivel adecuado.

Otra función que cumple la conexión a tierra es dispersar rápidamente las elevadas corrientes, evitando sobretensiones internas y externas.

¿POR QUÉ CONECTAR A TIERRA SISTEMAS Y CIRCUITOS?

Para limitar tensiones debido a:

- a) Rallos.
- b) Sobretensiones.
- c) Contactos indirectos frente a falla de aislamiento.

Y para:

- a) Estabilizar la tensión durante operaciones normales (maniobras).
- b) Facilitar la operación de los interruptores de circuito (Ej. Interruptor diferencial).

La trayectoria de la puesta a tierra debe ser: Intencionalmente realizada.

- a) Debe ser permanente.
- b) Debe ser continua.
- c) Debe tener amplia capacidad para conducir en forma segura cualquier corriente de falla.
- d) Debe ser una trayectoria de baja impedancia.

La impedancia debe ser mantenida a un valor bajo por tres razones:

- a) Limitar la tensión a tierra.
- b) Facilitar la operación de los dispositivos de protección.
- c) Conducir a tierra corrientes indeseables que causan ruidos lo mismo que corrientes estáticas y de fuga.

3. Tipos de puesta a tierra

3.1 Conexiones típicas de aterramiento del neutro de un sistema

El neutro de un transformador o maquinas rotativas puede adoptar diferentes formas de tratamiento.

3.1.1 Sistema eléctrico con neutro aislado

El neutro real o virtual flota con tensión propia sobre tierra.

- a) Las tensiones están referidas a tierra a través de las capacitancias parásitas.
- b) El retorno de corriente de fallas monofásicas a tierra es de pequeña intensidad.
- c) El sistema no presenta seguridad, pero es confiable.

3.1.2 Sistema eléctrico con neutro a tierra

El neutro real o punto de referencia y la tierra son solidarios.

- a) Las tensiones están referidas a tierra directamente a través del neutro puesto a tierra.
- b) El retorno de corrientes de falla es de gran intensidad.
- c) Sistema presenta seguridad, pero no confiabilidad.

3.1.3 Sistemas de alimentación en 220 V

Cualquiera que sea el régimen del neutro de los sistemas eléctricos, estos siempre estarán referidos indirectamente a tierra; según ello se puede estimar la porción (I_k) de las corrientes de falla máximas (I_F) que pueden pasar a través de una persona: Aquellas cuyo valor sea ($I_k > 50$ mA) serán peligrosas.

Sistema 220 V con neutro aislado.

Las tensiones de los alimentadores (V_n) están indirectamente referidas al potencial de tierra ($V = 0$) a través de las capacitancias parásitas (retorno de pequeñas corrientes) (Fig. 1.12).

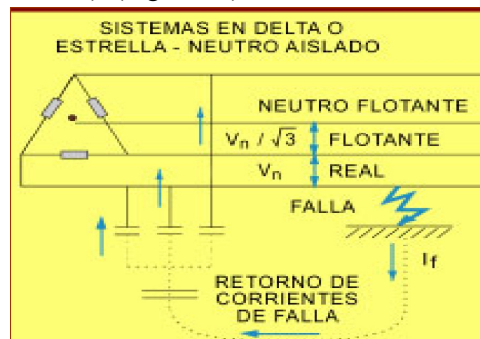


Fig. 1.12 Sistemas sin neutro puesto a tierra.

3.2 Puesta a tierra típica de instalaciones

A fin tener mayores conceptos claros es necesario clasificar los tipos de puesta a tierra según su aplicación:

3.2.1 Puesta a tierra de los sistemas eléctricos

Como se indicó, el propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es para limitar cualquier tensión elevada que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos indirectos. Esto se logra uniendo parte del sistema eléctrico a tierra física.

En la Fig. 1.13 se muestra los diferentes tipos de puesta a tierra del sistema eléctrico.

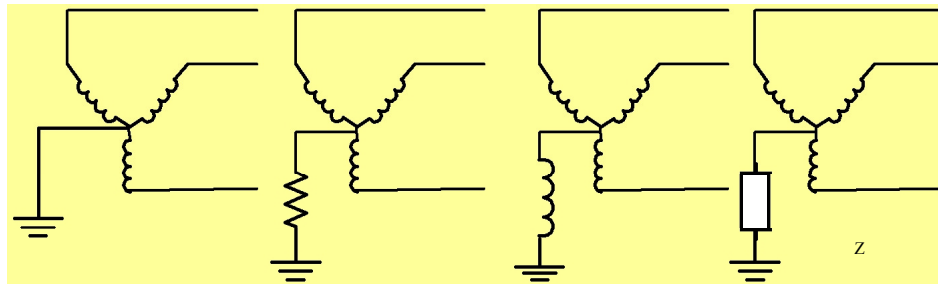


Fig. 1.13 Diferentes tipos de aterramientos del neutro de una instalación del sistema eléctrico.

3.2.2 Puesta a tierra de los equipos eléctricos

Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades y para que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos.

Se logra conectando al punto de conexión del sistema eléctrico con tierra, todas las partes metálicas que pueden llegar a energizarse, mediante un conductor apropiado a la corriente de cortocircuito del propio sistema en el punto de la conexión. En la siguiente figura se observan las conexiones a tierra del sistema de las partes metálicas de los aparatos y equipos metálicos eléctricos.

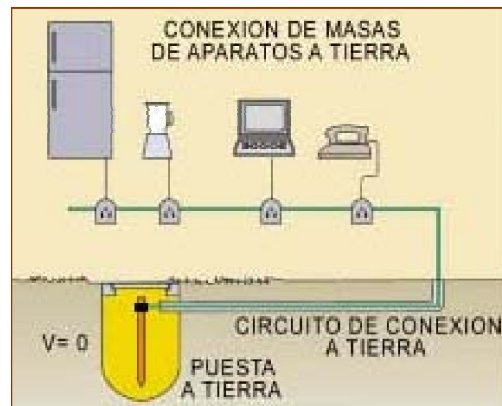


Fig. 1.14 Conexión a tierra del sistema de las carcasas (masas) de los equipos y aparatos eléctricos.

3.2.3 Puesta a tierra en señales electrónicas

Para evitar la contaminación con señales de frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero, pero puede ser la tierra física.

3.2.4 Puesta a tierra de protección electrónica

Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por sobretensión, se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero, que puede ser la tierra física.

3.2.5 Puesta a tierra de la protección atmosférica

Sirve para canalizar la energía de los rayos a tierra sin mayores daños a personas y propiedades.

Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada a tierra que cubre los edificios o equipos a proteger.

3.2.6 Puesta a tierra de protección electrostática

Sirve para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos.

Se logra teniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando la tierra como referencia de potencial cero.

“La regla general es: Cada sistema de tierras debe cerrar eléctricamente el circuito eléctrico que le corresponde”

3.3 Normas de referencia

A fin de tener presente durante el desarrollo del curso a continuación se indican las normas referenciales existentes sobre la materia.

Puesta a tierra de sistema y equipos eléctricos

- IEEE Std 142 – 1991 Grounding of Industrial and Comercial Power Systems. Green Book IEEE.
- IEEE Std 141 – 1993 Electric Power Distribution for Industrial Plants. 1986
- National Electrical Code. ANSI/NFPA 70 – 1996
- National Fire Protection Association, Battery March Park, Quincy MA 12269

Normas de referencia nacionales

- NTP 370 . 052: 1999 Seguridad eléctrica Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra
- NTP370 . 053: 1999 Seguridad eléctrica
- Elección de los materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra.
- Conductores de protección de cobre
- NPT370 . 054: 1999 Seguridad eléctrica, enchufes y tomacorrientes con protección a tierra para uso doméstico y general.
- NTP370 . 055: 1999 Seguridad eléctrica, sistema de puesta a tierra, glosario de términos.
- NTP370 . 056: 1999 Seguridad eléctrica, electrodos de cobre para puesta a tierra.

UNIDAD II

Resistividad del terreno y medición

Unidad II

“RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y MEDICIÓN”

Introducción

En esta unidad se define la resistividad y sus unidades, se describe al terreno desde su característica de conductor de la electricidad y su resistividad, así como los diferentes factores que influyen directamente en el aumento o disminución de esta resistividad.

Analizando el objetivo y la definición de la puesta a tierra de la unidad precedente, se llega a la conclusión que los elementos más importantes que garantizan una buena puesta a tierra son las uniones metálicas directas entre determinadas partes de una instalación, el electrodo o electrodos en contacto permanente con el terreno y una buena resistividad del terreno.

Para saber el comportamiento del terreno tendremos que analizarlo desde el punto de vista eléctrico, como elemento encargado de disipar las corrientes anormales que lleguen a través de los electrodos, es decir, debemos conocer internamente las diversas resistividades del terreno.

La realización de una instalación de puesta a tierra requiere conocer previamente el perfil de

la resistividad del terreno según la profundidad, de esta forma facilita la elección de la deposición de los electrodos de tierra que proporcione mejores resultados técnico – económicos.

Por otro lado, se debe efectuar mediciones para conocer la resistividad del terreno, sin embargo, es práctica usual prescindir de la medición en instalaciones de baja tensión y en lugares cuya intensidad de cortocircuito a tierra sea superior o igual a 16 KA, bastando el examen visual del terreno, pudiéndose estimar la resistividad por medio de la tabla de “resistividades típicas”, en la que se dan unos valores referenciales.

Debe resaltarse que la estimación de la resistividad en base a la clasificación del suelo puede dar lugar a grandes errores que obligarían a las pertinentes correcciones posteriores, por lo tanto, debemos apostar o realizar las mediciones ya que es el valor que requerimos y que dependerá de la resistividad de los diferentes estratos y del espesor de cada uno de ellos.

Para efectuar una buena medición es necesario seleccionar adecuadamente el equipo de medición, conocer sus partes, los requisitos mínimos que deben cumplir estos equipos y debe verificarse las certificaciones de los ensayos tipos a las cuales se han sometido.

Actualmente, existen diferentes métodos de medición y en lo posible se ha tratado de resumir los métodos más efectivos para medir la resistividad del terreno.

Objetivos

En esta unidad el participante debe lograr los siguientes objetivos:

1. Definir la resistividad del terreno.
2. Interpretar las unidades de la resistividad
3. Identificar los factores que determinan la resistividad del terreno.
4. Seleccionar el equipo apropiado para medir la resistividad de terreno.
5. Diferenciar los métodos de medición de la resistividad del terreno.

1. La resistividad de los suelos

La resistividad de los suelos se expresa en $\Omega\text{-m}$, $\Omega\text{-cm}$ ó $\Omega\text{-mm}$, que corresponde a la resistencia que presenta un cubo de 1 metro cúbico de suelo o aguas, entre sus paredes laterales (aristas) y se representa por la letra griega. La resistividad del terreno depende de su naturaleza, estratificación (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura. La resistividad de un terreno también se ve afectado por las variaciones estacionales.

Por otro lado, a medida que aumenta el tamaño de las partículas aumenta el valor de la resistividad, por ello la grava tiene mayor resistividad que la arena, y esta mayor resistividad que la arcilla. Debido que las capas no son uniformes en un terreno, cuando se mide la resistividad se está midiendo la resistividad aparente y por ello amerita determinar la resistividad de cada capa o estrato y sus espesores.

1.1 Influencia en el comportamiento eléctrico del suelo

La tierra representa generalmente un mal conductor (gran contenido de óxido de silicio y óxido de aluminio que son altamente resistivos) pero gracias al amplio volumen disponible, se puede lograr a través de ella los niveles conductivos necesarios para su utilización auxiliar. La conductividad representa un fenómeno esencialmente electroquímico o electrolítico, y por lo tanto, depende de la cantidad de agua depositada o el nivel de humidificación existente.

Los suelos están compuestos principalmente, por óxidos de silicio y óxidos de aluminio que son muy buenos aislantes; sin embargo la presencia de sales y agua contenida en ellos, mejora notablemente la conductividad de los mismos.

1.2 Factores que determinan la resistividad de los suelos

En la resistividad del terreno influyen los siguientes factores y es necesario su evaluación:

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Naturaleza de los suelos. | La concentración de sales disueltas. |
| La humedad. | La compactación del terreno. |
| La temperatura del terreno. | La estratificación del terreno. |

1.2.1 Naturaleza de los suelos

Los suelos son buenos, regulares o malos conductores de la electricidad en función de su naturaleza. El análisis y conocimiento de esta naturaleza es el primer paso para la instalación adecuada del sistema de puesta a tierra.

En la tabla siguiente se muestra los valores característicos de la resistividad de los suelos, donde se puede apreciar que entre la resistividad del agua de mar y el hielo existe una gran diferencia y se puede concluir que el agua de mar es el que presenta la mas baja resistividad y por lo tanto un buen conductor de la electricidad.

Tipo de suelo o agua	Valor típico de resistividad (ohm-m)
Agua de mar	2
Arcilla	40
Aguas subterráneas	50
Arena	2000
Granito	25000
Hielo	100000

Tabla 2.1 Resistividades típicas según el tipo de suelo o agua.

El Agua de río, de pozos o de mar (con sales disueltas) es buena conductora, poco resistiva, comparable a los buenos terrenos.

Los suelos de grano muy fino son buenos conductores por lo general, mejores que los de grano medio, y estos a su vez mejores que los de grano grueso.

Los suelos pueden clasificarse según su granulometría en:

Arcilla (greda)	Arena finísima	
Arena fina	Arena gruesa	Cascajo grava
Piedra suelta	Roca.	

1.2.2 La humedad

La resistividad que presenta un terreno esta en relación directa a los porcentajes de humedad contenida en él; es decir, depende de su estado hidrométrico, al aumentar la

humedad disminuye la resistividad y al disminuir la humedad aumenta la resistividad. En todo caso siempre que se añade agua a un terreno disminuye su resistividad respecto al que tendría en seco.

Se dice que el terreno esta “Saturado de agua” cuando todos sus intersticios esta llenos de agua, una vez pasada la causa de la “saturación” el agua contenida en los espacios entre los diferentes agregados, debido a la gravedad se dirigirá hacia abajo quedando estos íter espacios ocupados por aire en el interior de los agregados, al ser superior la fuerza de capilaridad que la gravedad.

1.2.3. La temperatura del terreno

La resistividad de los suelos, también depende de la temperatura, esta característica térmica del terreno depende de su composición, de su grado de compactación y del grado de humedad.

La resistividad del terreno aumenta al disminuir la temperatura, pero cuando el terreno se enfría por debajo de cero grados centígrados el agua que contiene se congela. El hielo es aislante desde el punto de vista eléctrico, lo que implica que la movilidad de los iones del terreno a través del agua se ve detenida al congelarse esta. Una forma de amortiguar este efecto en zonas con clima continental (inviernos fríos y veranos calurosos) deberá introducirse los electrodos a mayor profundidad.

1.2.4. La concentración de sale disueltas

Al presentarse una mayor concentración de sales disueltas en un terreno, mejora notablemente la conductividad y por lo tanto la resistividad.

El agua hace que las sales penetren hacia la parte profunda del terreno, hacia la capa de depósito, y que un riesgo excesivo o una lluvias excesivas lavan el terreno y, por lo tanto, arrastran la sal que rodea los electrodos aumentando la resistividad.

Tampoco es aconsejable ubicar el electrodo cercano al cause del río por que son terrenos muy lavados y por lo tanto más resistivos de lo normal.

1.2.5. La compactación del terreno

Cuando la compactación del terreno es grande disminuye la resistividad, por lo tanto es recomendable que exista un buen contacto entre electrodo y el terreno y por lo tanto es necesaria una compactación

2. Generalidades de la medición de la resistividad

Para conseguir un valor bajo de resistencia de puesta a tierra es necesario saber la resistividad del terreno y su espesor respectivo, para ello debe evaluarse el comportamiento del suelo como conductor eléctrico a partir de medidas realizadas con un instrumento llamado *Telurómetro*.

En gran parte de las ciudades del país, a la profundidad que se entierran los electrodos de puesta a tierra (máximo 3.5 m) el suelo está compuesto mayormente de dos estratos:

- Un estrato superficial.
- Un estrato subyacente.

En la Fig. 2.1 se observa el modelo de suelo de dos estratos donde se tiene que cada estrato posee una resistividad y su respectiva profundidad, asimismo, cada estrato tiene diferente composición de terreno.

Un estrato superficial

Generalmente de tierra limosa y/o tierra arenosa, con un espesor variable entre 0,3 y 1,2 m, normalmente seco en la costa y húmedo en la sierra y selva

Un estrato subyacente

Constituido por conglomerados finos y pedregosos en la costa, así como rocosos y pedregosos en la sierra y selva alta.

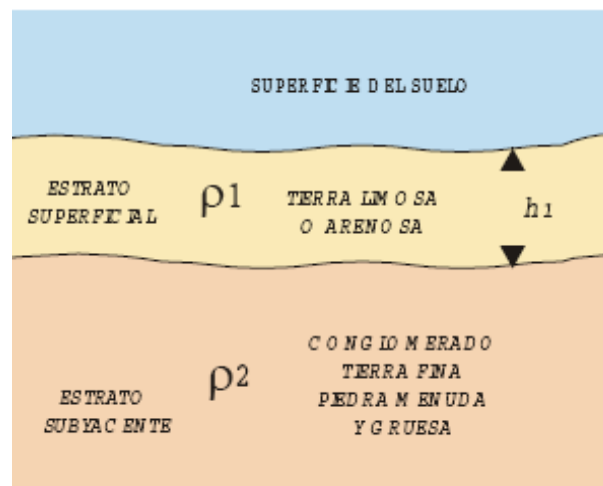


Fig. 2.1 Modelo de suelo de dos estratos (capas)

3. Finalidad de la medición de la resistividad

El objetivo de la medición de la resistividad tiene las siguientes finalidades:

- Obtener la resistividad de cada estrato o capa.
- Encontrar la profundidad de los estratos o capa.
- Ubicación óptima de las instalaciones de puesta a tierra.

4. Selección de los equipos de medición

Antes de efectuar una medición de resistividad es necesario seleccionar adecuadamente el equipo a utilizar y para ello se requiere saber cuáles son los componentes del instrumento, es decir, la fuente de potencia, sistema de medida, los requisitos mínimos que deben cumplir estos equipos y qué tipo de ensayo debe ser sometidos estos equipos.

4.1 Componentes del instrumento

Los componentes del instrumento son:

a) Fuente de potencia

- Recomendable alterna o alterna pulsante, capaz de vencer la resistencia propia del circuito y del terreno, tensión entre 50 y 500 V. a una frecuencia de 60 a 70 Hz.
- Debido a la probabilidad de electrólisis no es recomendable fuente de tensión continua.
- En el caso de instrumentos a batería deberá disponer de rectificador estático DC/AC

Dispositivos para eliminar corrientes electrolíticas y de inducción:

- Cuando la fuente es un generador manual, un rectificador mecánico será capaz de rectificar las corrientes electrolíticas y de inducción, de manera que la corriente neta por el circuito de medida sea cero.
- Cuando la fuente de potencia es una batería operada por un convertidor o transistor, el rectificador estático rechazará las corrientes de frecuencia diferente al de la corriente de prueba.

b) Sistema de medida:

Básicamente se conocen tres sistemas de medida:

1. *Sistema voltímetro*: amperímetro o sistema ohmimétrico; ventaja: la resistencia de los electrodos de corriente no afectan la lectura del instrumento.
2. *Sistema comparador*: de resistencias, ofrece relativa facilidad en la lectura directa.
3. *Sistema de balance nulo*: debido al uso de electrodos de resistencia baja no afecta la lectura

del instrumento.

4.2 Requisitos mínimos de los instrumentos

Existen tradicionalmente equipos analógicos y digitales, equipos que trabajan a manivela y a batería.

En la actualidad los equipos modernos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Compactos y de fácil traslado y permitir almacenamiento de información.
- Interfase para PC, accesorios, manual, medición multipolo (2, 3, 4) controlados por microprocesador.
- Opción para medición con pinzas y sin estacas.
- Al usar transductores de medición deben ser de similar clase de precisión.
- Deben tener certificaciones de los siguientes ensayos tipos: ensayo de aislamiento, ensayo de compatibilidad electromagnética, ensayos climáticos, ensayos mecánicos, ensayo de clase de precisión.

5. Consideraciones para la medición

Es necesario saber las precauciones que deben tenerse presente antes de efectuar una medición y también, en que casos no es recomendable efectuar una medición.

5.1 Precauciones para la medición

Las mediciones deben efectuarse en épocas apropiadas en la sierra en estiaje y en la costa en verano.

- Los electrodos de exploración deben tener un buen contacto con el terreno.
- Si el terreno es deslizante remover el material suelto hasta encontrar tierra firme.
- Si el suelo tiene capa gruesa de arena verter agua en el punto de clavado de los electrodos.
- Verificar el punto de contacto de la bornera de los instrumentos y la toma de los electrodos.
- Verificar los conductores gastados para evitar puntos de degradación del aislamiento.
- Verificar la presencia de corrientes inducidas.
- La resistencia de los electrodos auxiliares y conductores deben ser tal que no influyan en las mediciones.

5.2 Casos no recomendables para las mediciones

Estas recomendaciones son producto de la experiencia práctica y sirven si se desea un resultado bueno.

Las recomendaciones a tomar en cuenta son:

- Después de una lluvia.
- Durante alta humedad ambiental.
- Cuando hay conductores pelados y no se logran buen contacto en el conexionado.
- Durante horas de tormenta.
- Durante horas de humedad, en la que se escucha chisporroteo en los aisladores.
- Durante la ejecución de trabajos de mantenimiento sobre la infraestructura en las proximidades.

6. Métodos de medida de la resistividad

Para un análisis real del terreno es fundamental efectuar la medición de la resistividad del terreno. Los métodos de medición se pueden clasificar en:

Por el tipo de fuente:

- Método Volt – amperímetro.
- Uso de instrumento específico.

Por el número de electrodos utilizados:

- - Método de tres electrodos.
- - Método de cuatro electrodos.
- - Configuración de Wenner.
- - Configuración de Schulumberger.

6.1 Métodos de los tres electrodos

Básicamente consiste en medir la resistencia de puesta a tierra de un electrodo de dimensiones conocidas, enterrado en un terreno cuya resistividad se desea conocer (Fig. 2.2). El cálculo de la resistividad aparente a una profundidad dada, puede ser realizada utilizando cualquiera de las tres ecuaciones a, b, c; aunque se puede recomendar el uso de la ecuación “c” a partir de la cual se obtiene.

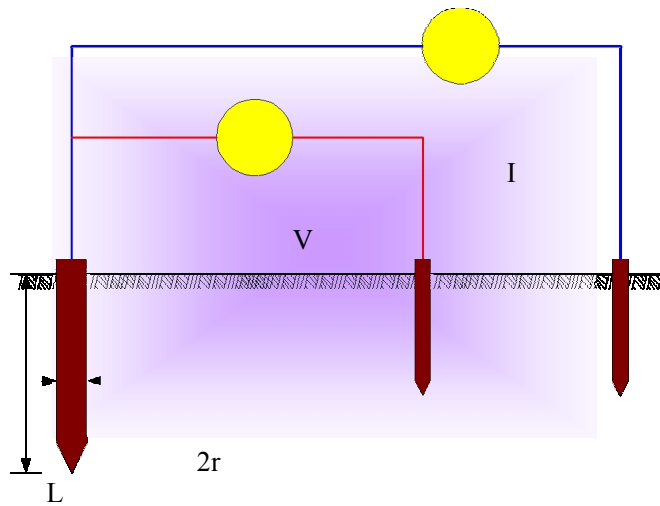


Fig. 2.2 Método de tres electrodos para la medición de resistividad

6.2 Método de los cuatro electrodos

El principio de este método está basado en la medición de la diferencia de potencial entre dos de los electrodos, luego de haber inyectado al terreno una corriente a través de los otros dos. La corriente inyectada puede ser corriente continua conmutada o corriente alterna de baja frecuencia (menores de 200 Hz) por razones de acoplamiento entre los conductores.

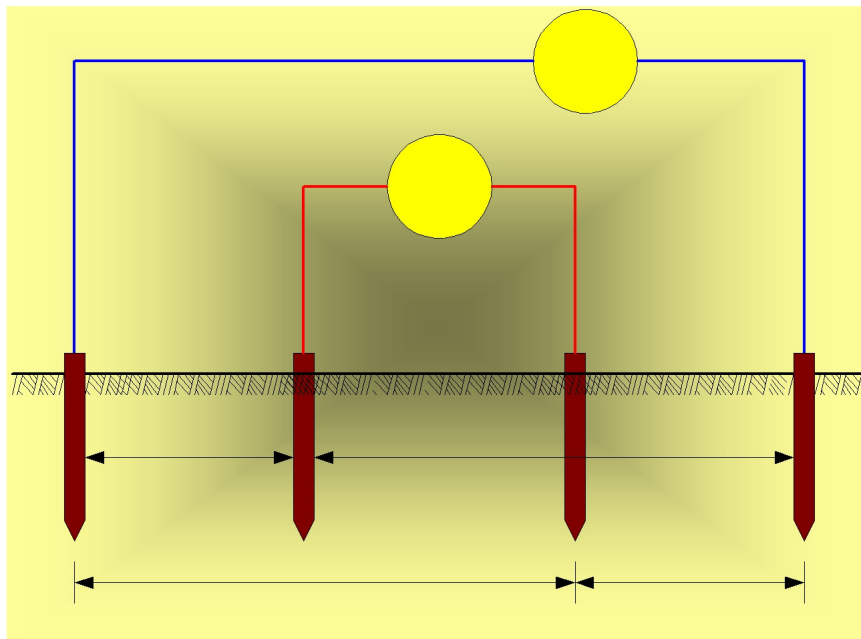


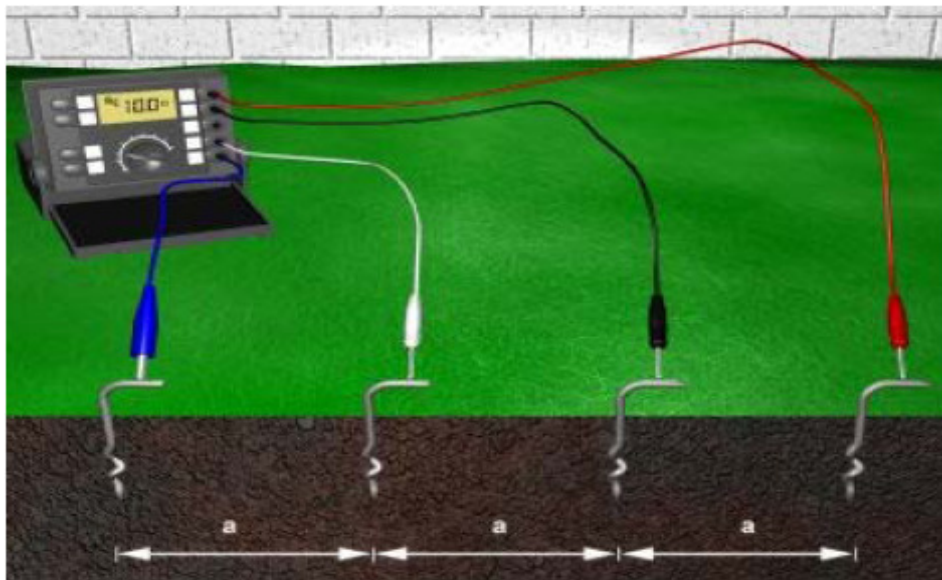
Fig. 2.3 Medición de la resistividad por el método de los cuatro electrodos.

Si el terreno considerado es homogéneo, el valor de la resistividad medida por este método corresponderá al valor único de resistividad presente en el terreno; pero si no es homogéneo, entonces el valor obtenido será ficticio, llamándose resistividad aparente.

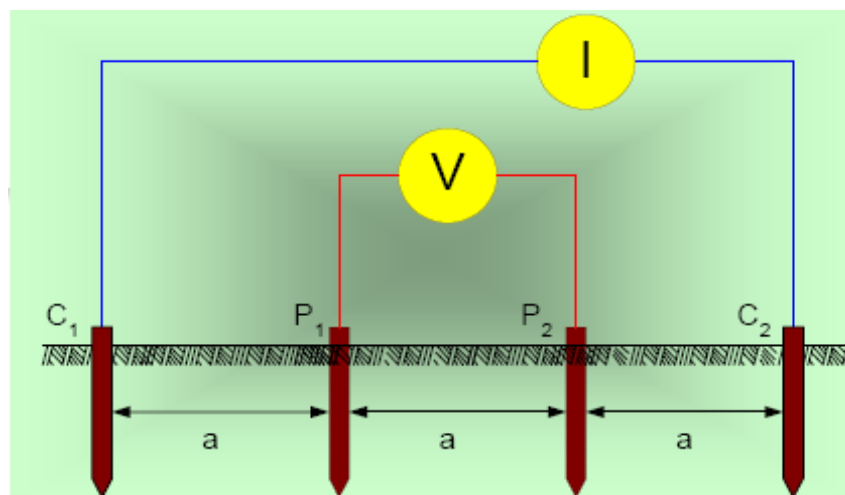
Existen varias configuraciones clásicas del este método anterior, dependiendo de la forma relativa en que se ubiquen los electrodos.

6.2.1 Configuración de Wenner

Para esta configuración, los cuatro electrodos se colocan en una línea recta, con igual separación y profundidad de penetración en el terreno (Fig. 2.4 b). El método de medición está basado en la ecuación del Dr. Frank Wenner, donde los electrodos 1 y 4 (externos) se utilizan para inyectar la corriente y los electrodos 2 y 3 (centrales) sirven para medir la diferencia de potencial que al dividirse por la corriente inyectada da un valor de resistencia R . Luego:



(a)



(b)

Fig. 2.4 Configuración de Wenner

6.2.2 Configuración de Schlumberger

Para esta configuración los cuatro electrodos se colocan también en línea recta, manteniendo la separación entre electrodos centrales o de potencial (a) constante; mientras que los electrodos exteriores varían su separación a partir de los electrodos interiores, a distancias múltiplos (na) de la separación base de los electrodos centrales (a), Fig. 2.5

Algunas de las ventajas de esta configuración son la rapidez con que se realizan las mediciones y la menor sensibilidad a las variaciones laterales del terreno, debido principalmente a que sólo se desplazan los electrodos de corriente, permaneciendo en su lugar los de potencial.

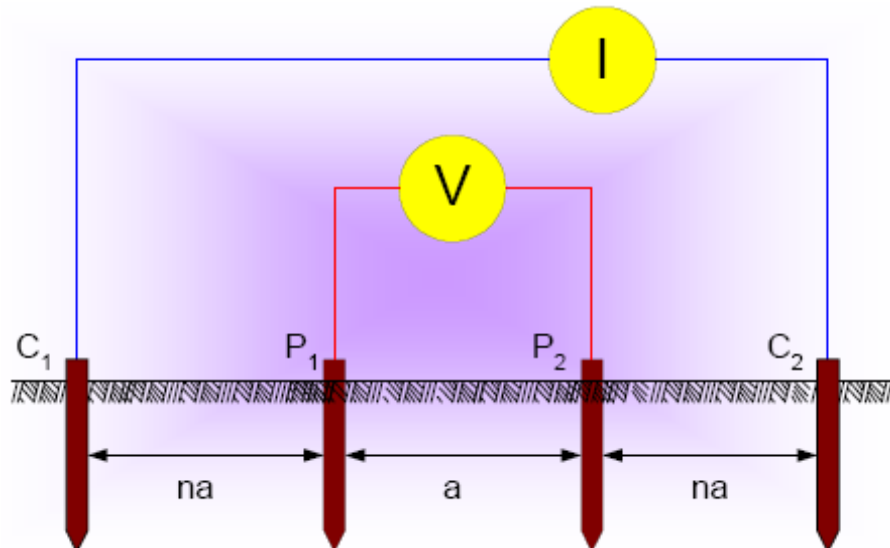


Fig. 2.5 Configuración de Schlumberger.

7. Resistividades típicas

El código nacional de electricidad Tomo I prescripciones generales, detalla las resistividades de los diferentes terrenos y en todo caso son valores referenciales durante el desarrollo de este curso:

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

Tabla 2.2 Valores de resistividad de algunos materiales

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

Tabla 2.3 Valores de resistividad de algunos suelos

UNIDAD III

Diseño de la red de tierra

Unidad III

1. Diseño de una malla de puesta a tierra.

Idealmente un sistema de puesta a tierra debe tener una resistencia tan baja como sea posible; pero realmente es casi imposible mantener los potenciales de tierra dentro de los valores adecuados cuando los valores de corriente de falla son muy intensos. Generalmente los sistemas de tierra a nivel industrial consisten en una malla conformada por electrodos enterrados y ubicados a ciertas distancias, formando un rectángulo o cuadrado, y conductores de tierra instalados en forma horizontal, los electrodos de tierra pueden usarse o no; pero esto dependerá del diseño de la malla de tierra.

Lo realmente importante es que por razones de seguridad todas las estructuras metálicas y cubiertas de equipos, incluyendo las rejillas metálicas ubicadas en áreas de trabajo, se deban conectar a la malla de tierra. Las normas indican que el diseño de una red de tierra o malla de tierra debe tener presente los potenciales de paso y de contacto para brindar protección a las personas. Antes de comenzar el diseño es necesario efectuar un análisis general del área y del cubrimiento de la malla. Un diseño preliminar incluirá la longitud y el calibre del conductor que se extiende alrededor de la periferia del área, más los conductores en paralelo para brindar acceso a la conexión de los equipos.

A continuación se presenta el procedimiento general para el diseño de una red de tierra:

1. Cálculo del área del terreno donde se va a instalar la malla.
2. Cálculo del radio equivalente de esta área.
3. Dibujar un rectángulo sobre esta área.
4. Insertar una malla sobre este rectángulo.
5. Calcular la longitud del conductor requerido que se propone.
6. Eliminar las partes de la malla ideal que se ubiquen fuera del área que se requiera aterrizar.
7. Dibujar esta malla sobre el rectángulo.
8. Medir la longitud real del conductor resultante.
9. Medir la resistividad del terreno.
10. Calcular las corrientes de cortocircuito.
11. Calcular el calibre del conductor de puesta a tierra.
12. Calcular la resistencia de malla.
13. Calcular las corrientes máximas de la malla.
14. Análisis de las tensiones de paso y de toque.
15. Si es necesario, realizar el tratamiento químico del suelo, para determinar la utilización de suelo artificial.
16. Medición de la resistencia de la malla de puesta a tierra para comprobar el cálculo teórico.

Después de un análisis general de la configuración geométrica y del área que se requiere aterrizar, se mide la resistencia del suelo mediante cualquiera de los métodos explicados en el capítulo 2 de este documento. Las fórmulas para el diseño de una malla de puesta a tierra que establece la IEEE, son uno de los métodos mas usados en el mundo. La IEEE establece ciertos parámetros fundamentales para realizar el cálculo de la malla, estos son:

Valor máximo de la resistencia de puesta a tierra.

Tiempo máximo de la duración de la falla en segundos.

Resistividad del terreno.

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

A continuación se presenta el procedimiento general para calcular la malla de tierra:

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

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Ec. 3.1} \quad \text{Donde } r = \text{radio de área circular equivalente a A.}$$

2. Cálculo de corrientes de cortocircuito.

$$\Rightarrow I_{\text{sec}} = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} \times E} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Corriente máxima en el secundario.

En donde:

KVA = Potencia del transformador.

E = Voltaje entre fase y fase.

$$\Rightarrow I_{\text{cc máx}} = \frac{100\%}{Z\%} I_{\text{sec}} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Corriente de cortocircuito simétrica máxima.

En donde:

Z% = Impedancia del transformador.

$$\Rightarrow I_{\text{cc asim}} = I_{\text{cc máx}} \times F_{\text{asim}} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Corriente de cortocircuito asimétrica.

Donde Fasim = Factor de asimetría

(Depende de la relación X/R en el punto de falla).

3. Cálculo del calibre conductor de puesta a tierra.

El calibre del conductor depende del valor de la corriente de falla, el tiempo de duración de ésta y el material del que está hecho el conductor. Se han establecido valores mínimos que tiene la capacidad térmica para disipar la corriente de falla impuesta. El calibre se puede determinar utilizando diferentes métodos.

- c) Utilizando en forma práctica los valores de la tabla en el anexo 10 del documento principal, esta presenta el calibre mínimo de los conductores, por amperes, en función del tiempo de duración de la falla. En las subestaciones eléctricas usualmente se utiliza, por razones mecánicas, como calibre mínimo el conductor número 4/0 de cobre.

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

El siguiente método es una forma práctica de calcular la corriente máxima de un conductor antes de que sufra daños.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{\text{sección transversal (cmils)}}{42.25 \text{ cmils}} \quad \text{Ec. 3.5}$$

Se ha establecido que un conductor de cobre puede transportar una corriente de 1 amperes por 5 segundos por cada 42.25 cmils de la sección transversal sin ser destruido.

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

$$A = I \sqrt{\frac{33s}{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}} \quad \text{Ec. 3.6}$$

En donde:

A = Área del conductor en milésimas circulares (cmils).

I = Corriente máxima de falla a tierra en amperes.

s = Tiempo durante el cual fluye la corriente de falla.

T_m = Temperatura máxima de fusión, en °C.

T_a = Temperatura ambiente en °C.

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

En la determinación de la sección transversal o calibre del conductor usado en la malla de tierra intervienen varios factores, los cuales se detallan a continuación:

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

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, el calibre mínimo del conductor del electrodo de tierra se determina por medio de la tabla 250.66 del NEC.

Para calibres mínimos de conductor de tierra de seguridad o tierra del equipo, se utiliza la tabla 250.122 del NEC.

e) El calibre del conductor se calcula de la siguiente forma:

$$A(mm^2) = I \sqrt{\frac{t_c \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP \ln \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]}} \quad \text{Ec. 3.7}$$

En donde:

A = Sección transversal del conductor (mm²).

I = Corriente simétrica de falla.

T_m = temperatura máxima permisible (°C).

T = Temperatura de referencia para diferentes materiales (°C).

T_a = Temperatura ambiente (°C).

t_c = Tiempo durante el cual circula la corriente de falla.

α₁ = Coeficiente de resistencia térmica a 0°C.

α₂ = Coeficiente de resistencia térmica a la temperatura de referencia T.

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

Para conductores de cobre: 1/56 μΩ/cm.

K = Coeficiente inverso de la resistencia térmica K = 1/ α.

T = Duración de las corrientes de falla (s) normalmente 0.5 s.

TCAP = factor de capacidad térmica.

4. Cálculo de la longitud aproximada que se debe enterrar para el conductor.

$$\rho = 2\pi dR \quad \text{Ec. 3.9}$$

En donde:

ρ = Resistividad del terreno (Ω -m).

R = Resistencia del terreno (Ω).

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

$$L = \frac{K_m \times k_i \rho \times I \sqrt{t}}{165 + 0.25 \rho_s} \quad \text{metros} \quad \text{Ec. 3.10}$$

En donde:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left[\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8}\right] \quad \text{Ec. 3.11}$$

En donde:

d = Separación entre los conductores paralelos (20 metros promedio).

H = Profundidad de la malla (0.5 metros en promedio).

D = Diámetro equivalente del conductor de la malla.

n = Número de conductores.

$K_i = 0.656 + 0.172n$ Donde n = número de conductores en paralelo de la malla, que se extiende en una dirección.

5. Cálculo de resistencia de la malla de puesta a tierra.

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

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

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad \text{Ec. 3.12}$$

En donde:

Rg = resistencia de la red de tierra,

en ohms.

ρ = Resistividad promedio en Ω -m.

r = Radio equivalente en m.

A = Área ocupada por la malla.

L = Longitud total del conductor enterrado.

- d) Cuando se utilizan placas, el cálculo de la resistencia de éstas (de espesor no menor de $\frac{1}{4}$ de pulgada), cuya forma es rectangular, se puede determinar de la siguiente forma:

$$R_{placa} = 0.8 \frac{\rho_a}{L} \quad \text{Ec. 3.13}$$

En donde:

ρ_a = Resistividad aparente del terreno.

L = Perímetro de la placa.

- e) En el caso de los electrodos artificiales o fabricados tales como varillas o tubos, se utiliza la fórmula predeterminada. Estos electrodos se fabrican usualmente de acero con recubrimiento de cobre, tienen una longitud mínima de 2.44 m, un diámetro mínimo de $\frac{3}{4}$ de pulgada para tubos y de $\frac{5}{8}$ de pulgada para varillas de hierro, acero y cobre.

En donde: ρ = Resistividad del suelo.

$$R_{varilla} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} - 1 \right) \right]$$

Ec. 3.14

L = Longitud de la varilla.

d = Diámetro de la varilla.

6. Corriente máxima de la malla.

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

$$I_G = C_p \times F_{asim} \times I_g \quad \text{Ec. 3.15}$$

En donde:

C_p = Factor de proyección.

F_{asim} = Factor de asimetría.

I_g = Corriente simétrica de malla.

$$I_g = S_F \times I_{CC}^{máx} \quad \text{Ec. 3.16}$$

El factor de división de corriente (S_F) es la relación que expresa la corriente que debe disipar la malla de tierra y la corriente total que disiparan tanto la conexión a tierra de los transformadores y la malla de tierra como el resto de las polarizaciones.

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

7. Análisis de tensiones de paso y toque.

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

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

El valor tolerable del voltaje de paso es:

$$V_P = \frac{k_s \times k_i \times \rho \times I_{CC}}{L_T} \quad \text{Voltios} \quad \text{Ec. 3.17}$$

En donde:

VP = Voltaje de paso o de malla.

LT = Longitud de conductor enterado para mantener el voltaje de malla dentro de los límites de seguridad.

Ks = Coeficiente que tiene en cuenta la influencia combinada de la profundidad y del espaciamiento de la malla.

Ki = Factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.

ρ = Resistividad del terreno.

Icc = Corriente de corto circuito en Amp.

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

UNIDAD IV

Ejecución y medición de la puesta a tierra

Unidad IV

“EJECUCIÓN Y MEDICIÓN DE LA PUESTA A TIERRA”

Introducción

Después de haber definido las características del pozo de tierra y haber realizado todos los cálculos necesarios para la selección de los equipos, el siguiente paso es su ejecución; para ello es conveniente seguir una serie de pasos y recomendaciones que permitan una realización óptima y económica.

Es así que para la instalación de electrodos verticales se dispone de medios mecánicos para introducirlos, pudiéndose instalar varios de ellos en paralelo si fuera necesario, pero teniendo presente que ello no implique saturación, aunque en ese caso, para lograr la máxima eficacia, deberán disponerse de forma que la distancia que guarden entre sí sea al menos igual al doble de la longitud enterrada de los mismos.

Antes de la ejecución de la puesta a tierra, deberá elaborarse una lista de materiales y equipos y luego seguir una secuencia de ejecución que garantice su culminación exitosa.

Objetivos

- Diferenciar las partes constitutivas de una puesta a tierra.
- Seleccionar los accesorios de instalación de una puesta a tierra.
- Elaborar el método y presupuesto de una puesta a tierra.
- Identificar las labores de instalación de una puesta a tierra.

1. Contenido

1.1 Generalidades

La instalación de la puesta a tierra debe satisfacer básicamente las siguientes condiciones:

- El trabajo a ejecutarse debe ser eficiente para minimizar costos de instalación.
- El terreno o material de relleno usado no debe tener un índice de acidez pH tal que cause corrosión al electrodo.
- Todas las uniones o conexiones bajo tierra deben ser construidas de modo tal que no se presente corrosión en dicha unión o empalme.
- El método de instalación, relleno y conexiones dependerá de la configuración de electrodo que se usará y de las condiciones del terreno.

1.2 La conexión a tierra

A continuación se detallan los componentes interiores y periféricos de la puesta a tierra, así como, la función física de la puesta a tierra interior. Finalmente se ubica la puesta a tierra en la edificación.

1.2.1 Componentes interiores y periféricos de la puesta a tierra

Estos componentes están constituidos por el conductor que posibilita la unión de las masas de los aparatos eléctricos a la puesta a tierra de la vivienda.

Componentes interiores

El circuito interior de protección parte del borne de tierra del tablero de distribución, llegando hasta la tercera entrada de los receptáculos de los tomacorrientes, con un conductor aislado (según lo indica el código nacional de electricidad) que acompaña en su recorrido a los pares de alimentadores secundarios energizados.

Cuando el sistema eléctrico externo tiene el neutro puesto a tierra corrido el circuito de protección se incluye también en el recorrido de los alimentadores secundarios del alumbrado.

Los conductores eléctricos de las instalaciones interiores, deberían caracterizarse por el color de su aislamiento; al circuito de tierra le corresponderá el color verde o amarillo, mientras que para los conductores de fase estarían reservados los colores rojo, negro y azul.

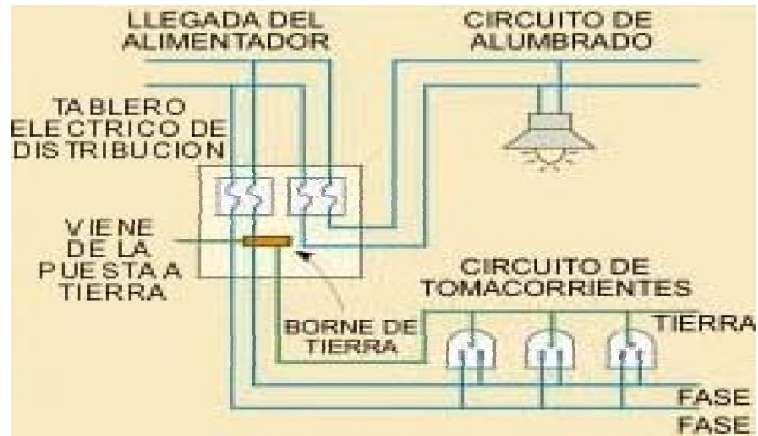


Fig. 4.1 Instalación eléctrica interior

Componentes periféricos

El circuito periférico de protección es aquel que une la puesta a tierra del edificio con el borne de tierra del tablero de distribución, mediante un conductor aislado o desnudo de 10 mm² de sección. (Fig. 4.2)

En edificios de condominio, en forma similar se une a la puesta a tierra con el terminal de tierra de la caja principal de distribución, desde donde se reparte a los montantes.

Dicho tramo deberá ser protegido contra posteriores daños por excavación o remoción de suelo, mediante una tubería de PVC – Pesado, hasta su salida a la superficie o llegada al ducto.



Fig. 4.2 Recorrido del conductor de tierra.

2. La puesta a tierra interior

Como se trató en las unidades anteriores las puestas a tierras están destinadas a brindar la seguridad eléctrica que prevén las normas y asegurar el correcto funcionamiento de los aparatos conectados al circuito eléctrico, aparte de otros beneficios en la calidad del uso del servicio que son:

Evacuan y dispersan corrientes eléctricas con mínima resistencia Las corrientes que se canalizan hacia tierra, tienen diversos orígenes y amplitudes; en todos los casos, su dispersión en el suelo. (Fig. 4.3), se hace a través de la resistencia total del sistema de puesta a tierra (circuito, conexiones y puesta a tierra) cuyo valor en lo posible debe ser mínimo para asegurar la protección de las personas, lo cual depende de la eficacia lograda en la instalación de los electrodos en el suelo.

Para proteger a las personas de los toques eléctricos, las masas de los aparatos eléctricos o electrónicos se conectan al circuito de tierra ya sea sólidamente cuando estos son estacionarios o bien a través de la tercera pata de los respectivos enchufes cuando dichos artefactos son portátiles.

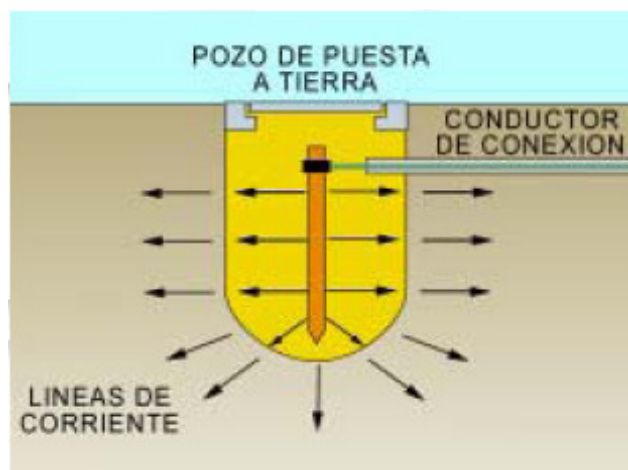


Fig. 4.3 Dispersión de corrientes en el suelo

Proveen a las masas el potencial de referencia cero

El comportamiento de la tierra como un sumidero infinito de carga hace que su potencial sea cero ($V=0$); luego, todo aparato eléctrico cuya masa sea conectada a la tierra (Fig. 4.4) estará provisto de dicho potencial de referencia cero, que propiciará tanto su óptimo funcionamiento como el de los dispositivos asociados a él.

Los equipos electrónicos de todo tipo exigen este requisito para su correcto funcionamiento dado que utilizan pequeños voltajes de operación y son muy sensibles a toda variación de tensión.

Cuando las masas no están conectadas a tierra, el potencial de referencia en ellas es “Flotante” es decir, diferente de cero, dependiendo de las capacitancias parásitas hacia tierra; en tal caso, ocurre la electrización de las masas y el funcionamiento de equipos o aparatos que tienen componentes electrónicos no es correcto o no es satisfactorio.

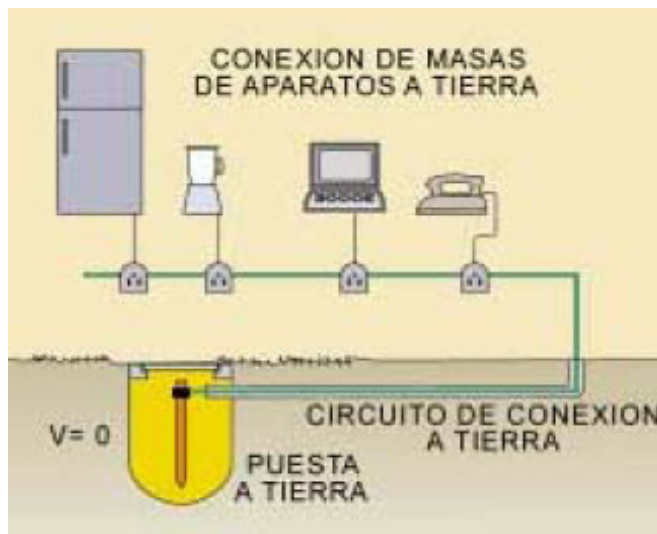


Fig. 4.4 Conexión a tierra de las masas

2.1 Ubicación de una puesta a tierra

La elección del lugar en los inmuebles ya construidos deberá hacerse en lo posible con la ayuda de los planos de las instalaciones subterráneas; eléctricas, sanitarias (agua, desagüe), combustibles líquidos, gas, aire y otras estructuras enterradas para no interferir con ellas y lograr una ubicación próxima al tablero eléctrico de distribución.

Predios con áreas libres disponibles

Generalmente, los planos de instalación eléctrica, muestran que ya tienen designada la ubicación de la puesta a tierra y los recorridos del circuito de conexión, en cuyo caso, sólo habrá que seguir dichas especificaciones. (Fig. 4.5)

Cuando no se dispone de planos de instalaciones subterráneas, será necesario ubicar en forma aproximada, la presencia y recorrido de éstas a fin de evitar daños durante las excavaciones. Si hubiese sótano o piso de subsuelo, será el lugar ideal para ubicar la puesta a tierra.

Una posible ubicación es en alguna de las áreas libres que están constituidas por los retiros de fachada y los espacios internos que se destinan parcialmente a jardines y a pasadizos o patios cubiertos con losas; se deberá prever la mínima distancia de recorrido del circuito al tablero eléctrico de distribución.



Fig. 4.5 Puesta a tierra en área disponible

Edificaciones sin áreas libres disponibles

En edificios comerciales o de oficinas donde tanto los retiros como los espacios de holgura están totalmente cubiertos por losas y destinados a diversos usos; se siguen las indicaciones de los planos de instalaciones eléctricas. Si las instalaciones de aterramiento ya existen y son inoperantes, se hará la renovación.

Cuando no se dispone de planos ni hay evidencias de la existencia de la puesta a tierra, el sitio será elegido en un lugar discreto, próximo al muro de medidores. (Fig. 4.6) previéndose una excavación puntual y cuidadosa.



Fig. 4.6 Puesta a tierra en áreas de servicio.

El lugar elegido para la instalación de la puesta a tierra, de preferencia, debe estar al cubierto de cualquier paso de tránsito vehicular, dado que la conservación normalmente se hace con aplicación directa de agua o soluciones.

2.2 Partes de una puesta a tierra

Presentan una configuración sencilla, basada en un electrodo simple embutido en un relleno dentro de una excavación, con accesorios de conexión al tablero eléctrico. El electrodo adoptado, depende de las características del suelo y de su resistividad.

2.2.1 Puesta a tierra con electrodo vertical

Son las que más se aplican por el mínimo espacio que necesitan, las partes que componen el modelo económico varían poco, se pueden escoger entre dos formas de electrodo y tres configuraciones de acabado externo según la necesidad a la que se adecua el modelo propuesto, permitiendo lograr entre 6 y 12 Ohm de resistencia de dispersión.

Partes principales

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Acabado exterior | auxiliar |
| - Modelo cerrado (con caja) | 3. Grapa desmontable |
| - Modelo abierto (en hoyo) | 4. Conductor de conexión |
| - Modelo ciego (cubierto) | 5. Auxiliar de electrodo |
| 2. Electrodo principal | 6. Empalme múltiple soldado |
| - Electrodo simple | 7. Pozo vertical |
| - Electrodo con | 8. Relleno conductor |
| | 9. Lechos de sal |
| | 10. Niveles de impregnación |

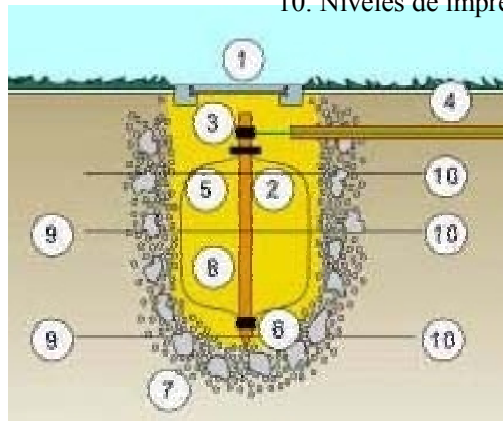


Fig. 4.7 Puesta a tierra con electrodo vertical

Uso de electrodo principal con auxiliar

Tres cuerdas paralelas de conductor de cobre aseguran la eficacia de la optimización del electrodo embutido en el relleno conductivo.

- **En suelos de alta resistividad**

- Cuando la resistividad equivalente en el lugar elegido para la instalación de la puesta a tierra, sobrepasa los 300 Ohm – m.

- **En suelos de granulometría gruesa**

- Cuando el material extraído de la excavación contiene poca tierra fina o inclusive cuando haya sido necesario mejorarla para el relleno.

Uso de caja de registro construida

Cuando la puesta a tierra está en un área de servicio con tránsito peatonal y de carga manual; asimismo, para el caso de tener que soportar el tránsito vehicular, dicha caja de registro deberá mejorar en cimentación y robustez.

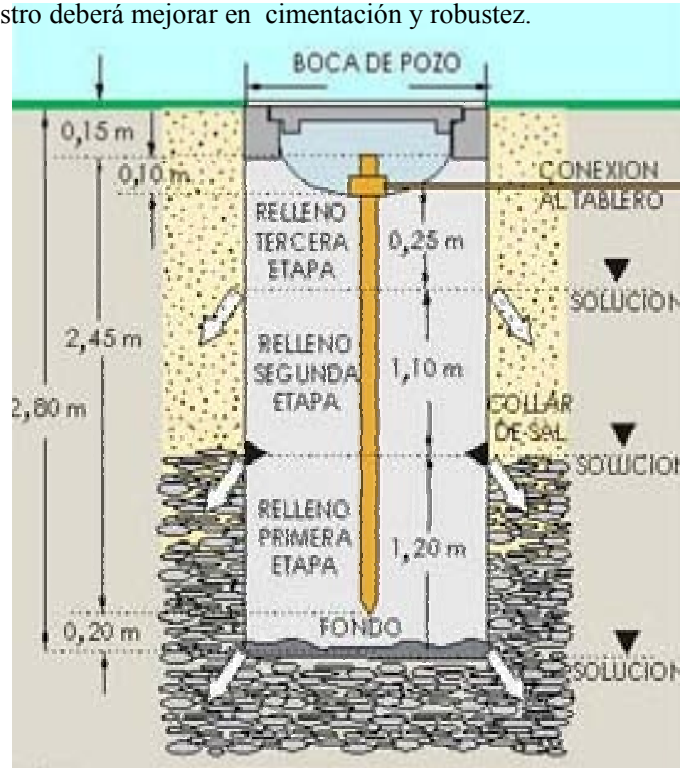


Fig. 4.8 Esquema dimensional de una puesta a tierra de electrodo vertical.

2.2.3 Puesta a tierra de electrodo horizontal

Se aplican esporádicamente, generalmente cuando el subsuelo es rocoso. Las partes que componen el modelo económico son fijas, sólo varía el acabado externo que puede tener tres configuraciones según la necesidad a la que se adecua el modelo propuesto, que permite obtener resistencias de dispersión entre 8 y 14 Ohm.

Partes principales

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Acabado exterior. | 3. Perno desmontable. |
| - Modelo cerrado (con caja). | 4. Conductor de conexión. |
| - Modelo abierto (en hoyo). | 5. Auxiliares de electrodo. |
| - Modelo ciego (cubierto). | 6. Relleno conductor. |
| 2. Electrodo principal. | 7. Lecho de sal. |
| - Electrodo simple. | 8. Niveles de impregnación. |
| - Electrodo con auxiliar. | 9. Empalme múltiple soldado. |
| | 10. Zanja principal. |

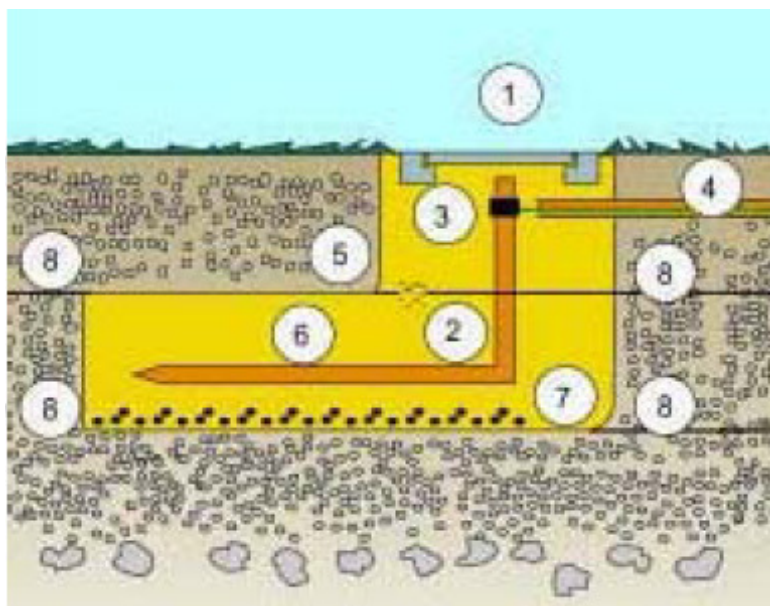


Fig. 4.9 Puesta a tierra con electrodo horizontal.

3.1 Conductor de conexión a la puesta a tierra

Cálculo de la sección del conductor de servicio y protección

La dimensión de los conductores de servicio, debe calcularse conforme al valor de la corriente de servicio que circule por ellos, la sección mínima puede determinarse por la fórmula siguiente:

$$I = 1973,55 \times \frac{S}{\sqrt{33t}} \times \lg_{10} \left(\frac{T_m - T_a}{234 - T_a} - 1 \right) \quad A$$

I: corriente en amperios

S: sección transversal, en mm²

t : tiempo, en segundos, durante el cual se aplica la corriente I.

T_m: máxima temperatura admisible, en ° C

T_a: temperatura ambiente, en ° C

Normalmente, por razones mecánicas se elige una sección mayor.

El código nacional de electricidad recomienda los siguientes valores mínimos, según la dimensión del conductor de acometida (activo) como se muestra en la Fig. 4.11.

Sección del conductor de acometida (mm ²)	Sección del conductor de P.T.
• 35 o menor	• 10
• 50	• 16
• 70	• 25
• 95 a 185	• 35
• 240 a 300	• 50

Fig. 4.11 Conductor de puesta a tierra T 3-X CNE TV

Conductor de protección

El conductor del circuito de protección que sale del electrodo de puesta a tierra y llega al tablero de distribución, debe tener una sección recta de 10 mm² o mayor, normalmente el código nacional de electricidad define las secciones necesarias en función de los alimentadores de la acometida del suministro eléctrico. Será de cobre electrolítico con aislamiento TW o desnudo (Fig. 4.12), su recorrido en el suelo lo hace por una zanja superficial de (0,4 m) de profundidad a través de una tubería de PVC – pesada para evitar ulteriores daños físicos. La parte exterior se canaliza en una tubería de PVC – flexible.

Calibre AWG	Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Amperios (A)
12	3,309	2,053	20
10	5,261	2,588	30
8	8,366	3,264	45
6	13,300	4,115	65
4	21,150	5,189	85
3	26,670	5,827	100
2	33,630	6,544	115

Fig. 4.12 Conductores TW o TWH en tubo PVC

3.1.2 Accesorios de conexión

Las conexiones entre los diferentes componentes deben ser mecánicamente robustas, tener una buena resistencia a la corrosión y baja resistividad eléctrica. Es prudente evitar uniones y conexiones innecesarias.

Debe considerarse la duración y el valor de corriente de falla que se espera que soporte el sistema de tierra. Los métodos de unión empleados incluyen métodos mecánicos, soldadura en fuerte (bronceado), soldadura exotérmica y soldadura por fusión autógena.

3.1.3 Conexiones mecánicas

Las de uso más frecuente son la conexión apernada (en el caso de cintas o barras de sección rectangular) y la conexión por compresión (abrazadera). Es esencial una conexión eléctrica de baja resistencia. En las conexiones apernadas, debe tenerse cuidado con el tamaño de las perforaciones taladradas para acomodar el perno, para no perjudicar la capacidad de transporte de corriente de la cinta o barra. El diámetro de esta perforación no debe ser superior a un tercio del ancho de la cinta o barra.

Cuando se empernan metales diferentes (por ejemplo de cobre y aluminio) las superficies deben ser minuciosamente limpiadas y protegidas por un inhibidor de óxido. Una vez hecha la conexión, el exterior debe ser recubierto por pintura bituminosa u otro medio para proteger contra el ingreso de humedad. Cuando se une cobre y aluminio, el cobre primero debe ser estañado. Estas conexiones no pueden ser enterradas.

Para unir distintos tipos de conductores, por ejemplo barras de tierra a cinta o cable, se dispone de abrazaderas apropiadas.

El método de unión por remache no es aceptable, pues los remaches se sueltan y rompen por vibración, oxidación, etc.

Conectores típicos

Estos deben ser desmontables y de bronce, con sistema de presión por rosca.

- Para conectar el electrodo vertical se prefiere el borne simple (Fig. 4.13) en anillo, con diámetro interior variable desde 0,013 a 0,025 m.

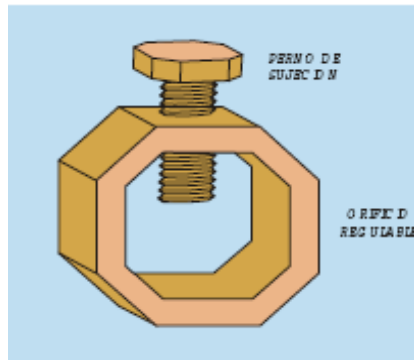


Fig. 4.13 Borne simple de conexión a presión.

Para el electrodo horizontal se utiliza un perno con tuerca (Fig. 4.14) de 0,04 m (L) por 0,01 m (d); con ese fin el extremo que sobresale de la pletina deberá tener un orificio de 0,013 m (d) hecho con taladro.

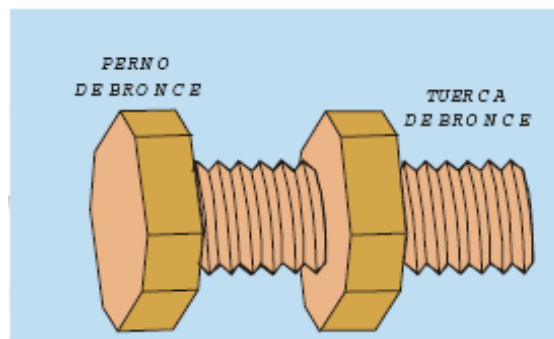


Fig. 4.14 Perno pasante de bronce con tuerca.

Para la conexión al borne de tierra del tablero eléctrico, sólo es necesario usar un terminal o hacer una oreja en el extremo de llegada del conductor, dado que existen el tornillo y arandela respectivos.

Para el empalme permanente de los electrodos auxiliares adosados al electrodo principal, se utilizarán manguitos extensibles (Fig. 4.15) de cobre estañado de 0,025 m (d), los cuales se sueldan en baño de estaño duro. (Fig. 4.16)

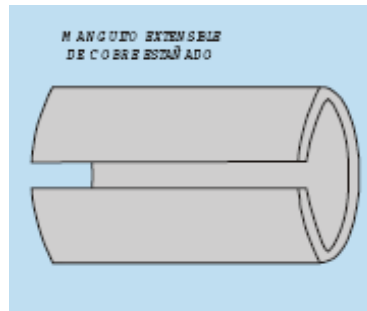


Fig. 4.15 Manguito para empalme múltiple soldado.

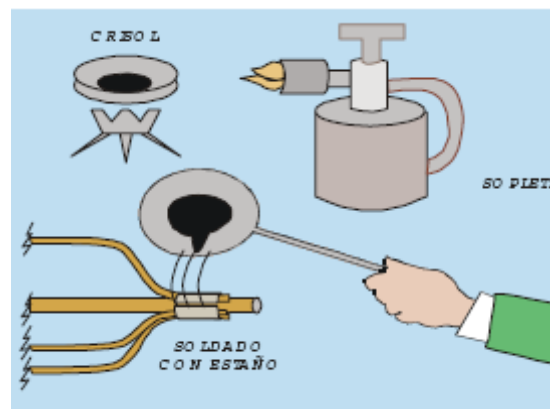


Fig. 4.16 Soldado de electrodos auxiliares.

3.1.4 Conexiones bronceadas

La conexión bronceada se aplica ampliamente al cobre y a aleaciones de cobre. Es esencial disponer las superficies planas limpias pues los materiales de bronceado no fluyen como la soldadura. Es esencial además una buena fuente de calor, particularmente para conectores grandes. La técnica emplea alta temperatura y bronce como material de relleno que es el que más se ajusta al cobre.

3.1.5 Conexiones soldadas en forma autógena

Cuando necesitan unirse componentes de cobre de gran tamaño, se usa soldadura autógena en ambiente gaseoso. El arco eléctrico proporciona el calor, mientras que el área del entorno al electrodo y la soldadura envuelta por un gas tal como argón, helio o nitrógeno. Este último se usa ampliamente como el "gas inerte" cuando se suelda cobre. El aluminio puede soldarse vía arco de gas inerte de tungsteno o arco de gas inerte de metal. También en este caso (aluminio) se usa algunas veces la soldadura en frío o presión.

3.1.6 Capacidad de transporte de corriente de falla

El tipo de unión puede influir en el tamaño del conductor usado debido a las diferentes temperaturas máximas permisibles para las distintas uniones. La tabla siguiente indica la máxima temperatura permisible para diferentes tipos de uniones y el tamaño del conductor requerido según el tipo de unión, para una corriente de falla de 25 kA y una duración de 1 segundo.

Temperatura máxima permisible para diferentes tipos de uniones			
Uniones	Apernada	Bronceada	Soldada
Temp. Máxima	250°C	450°C	700°C
Calibre conductor	152 mm ²	117 mm ²	101 mm ²

Fig. 4.17 Temperatura máxima permisible para diferente tipos de uniones.

4. Uniones exotérmicas

Estas uniones se realizan mediante un molde de grafito que se diseña para ajustar el tipo específico de unión y el tamaño de los conductores. Usando una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvos de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre virtualmente puro en torno a los conductores. La reacción de alta temperatura se produce en el interior del molde de grafito.

Este método se utiliza en uniones de mallas de puesta a tierra y que normalmente no son accesibles, no pueden recibir mantenimiento ni ser inspeccionadas y se construyen para una duración como mínimo igual a la de la edificación y equipos que ha de proteger.

Generalidades de soldadura cuproaluminotérmica

Las soldaduras cuproaluminotérmica tienen su uso más difundido en las conexiones eléctricas de puestas a tierra.

La unión se realiza por aporte de cobre en estado de fusión que incide a una temperatura superior a los 2.000°C sobre las piezas a soldar.

Esta colada de cobre fundido a alta temperatura se obtiene a partir de un proceso de reacción exotérmica que se genera dentro de un molde de grafito apto para el tipo de unión a ejecutar.

Principio de funcionamiento

El proceso de reacción exotérmica basa su principio de funcionamiento en el efecto reductor del aluminio.

Para el caso de conexiones de cobre, la reacción exotérmica se lleva a cabo entre óxido de cobre y aluminio.

La descripción de este proceso puede sintetizarse de la siguiente manera:

1. El óxido de cobre y el aluminio que integran junto a otros componentes cada carga de soldadura, actúan de forma tal que una vez iniciada la reacción, el aluminio se oxida a expensas del oxígeno del óxido de cobre, generando una alta temperatura que produce cobre en estado de fusión más óxido de aluminio, siendo este último eliminado en forma de escoria.
2. Durante el proceso, el óxido de aluminio no interfiere en la colada que conforma el cuerpo de la soldadura, por poseer un peso específico menor que el óxido de cobre.
3. Este tipo de soldadura, se realiza dentro de un molde de grafito fabricado de acuerdo al tipo de unión o conexión a realizar y con un diseño tal que permite que el cobre fundido ataque las piezas a ser soldadas, logrando por el propio shock térmico de corta duración una soldadura con unión molecular y mayor capacidad de transferencia de corriente que el propio conductor, debido a su mayor sección transversal.

Ventajas técnicas

De esta manera se obtienen conexiones eléctricas que presentan todas las ventajas de los conectores y uniones convencionales, pero eliminando los aspectos negativos, como son la concentración de esfuerzos térmicos por reducción de sección, la corrosión en superficies sobrepuestas y las fatigas mecánicas por exceso de torque o compresión.

Todos estos factores proveen una unión de baja o nula resistencia eléctrica de contacto con una elevada calidad electromecánica, duradera, sin necesidad de mantenimiento y/o verificaciones periódicas y fundamentalmente con una excelente performance técnico económica.

Partes de un molde

En la Fig. 4.18 podemos observar las distintas partes que componen un molde de grafito para la realización de soldaduras cuproaluminotérmica.

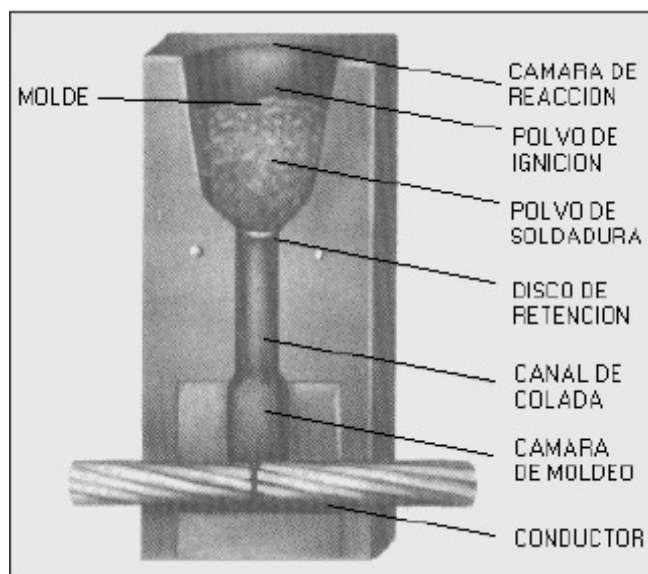
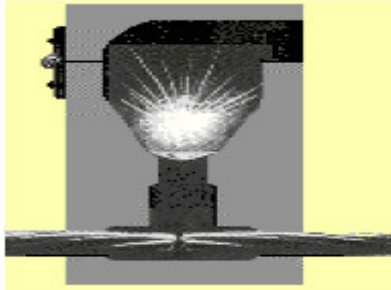


Fig. 4.18 Realización de una soldadura cuproaluminotérmica.

Por razones de claridad, no se representan ni la manija ni la tapa del molde.

Procesos de la soldadura

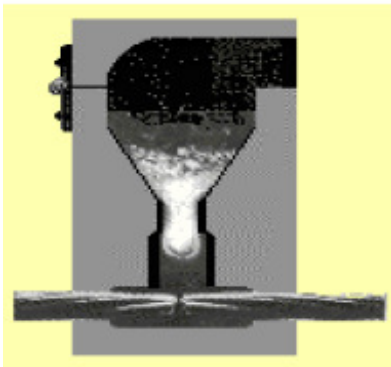


Al iniciar la soldadura por medio del encendido del ignitor, éste provoca el encendido de la mezcla de óxido de cobre y aluminio.

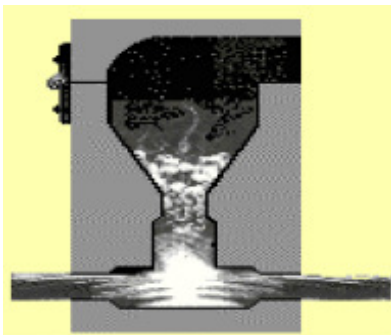
Ésta se convierte rápidamente en cobre y aluminio fundido a más de 2000°C .



Por efecto del mayor peso específico del cobre líquido, éste tiende a bajar hacia el fondo de la cavidad del molde derritiendo, por efecto de su temperatura, el disco metálico que contenía la mezcla en polvo.



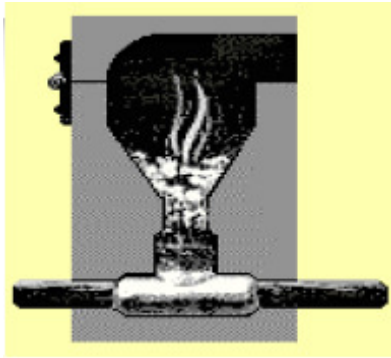
Una vez que derrite el disco metálico, se dirige a través del canal de colada hacia la cavidad de moldeo donde se encuentran los elementos a soldar.



En el mismo, funde casi instantáneamente las piezas, provocando una unión molecular.

El aluminio al haberse oxidado a expensas del óxido del cobre, se convierte en óxido de aluminio.

Se rellena la totalidad de la cavidad de moldeo con el cobre líquido (parte aportado por la soldadura y parte por los elementos a soldar).



De esta manera se obtiene una soldadura con unión molecular y mayor capacidad de transferencia de corriente que el propio conductor, debido a su mayor sección transversal.

El óxido de aluminio y cualquier otro material que se forma de escoria, se solidifica adoptando la forma del canal y eventualmente del crisol.

Esta escoria puede ser removida fácilmente al concluir la soldadura y una vez abierto el molde.

Precauciones finales

Una vez finalizada la soldadura y retirada del molde, debemos prestar la mayor atención al mantenimiento del mismo.

Debemos limpiarlo, retirando todo resto eventual de escoria que haya quedado en él, por medio de un pincel de cerdas suaves.

4.1 Materiales de relleno

Derramando una mezcla de sustancias químicas y de tierra cernida en el volumen alrededor del electrodo se obtendrá una reducción inmediata y significativa en su resistencia de puesta a tierra. Sin embargo, si los elementos químicos usados se eligen debido a que son solubles, continuarán diluyéndose progresivamente por agua de lluvia u otra causa y la resistividad del suelo entonces aumentará hasta eventualmente retornar a su valor original. Se necesita un mantenimiento regular para reaprovisionamientos de los elementos químicos diluidos. Además del costo de mantenimiento, debe considerarse el impacto en el ambiente local de las sustancias químicas incorporadas, lo que puede entrar en conflicto con la legislación de protección al ambiente. Esta razón descarta un grupo de materiales que antiguamente se empleaban como relleno. En particular materiales que no debieran ser usados como relleno son: arena, polvo de coque, ceniza, y otros materiales ácidos y/o corrosivos.

El material de relleno debe ser no – corrosivo, de un tamaño de partícula relativamente pequeño y si fuera posible que ayude a retener la humedad. Si el material previamente excavado es apropiado como relleno deberá ser cernido previamente y asegurar luego una buena comparación. El suelo deberá tener un índice de pH entre 6.0 (ácido) y 10.0 (alcalino). La arcilla dura no es un material de relleno conveniente ya que si es fuertemente compactada, puede llegar a ser casi impermeable al agua y podría permanecer seca.

En algunas circunstancias, se requiere emplear materiales de relleno especiales, debido a la deficiente conductividad eléctrica del terreno. En estos casos, se agregan deliberadamente algunos aditivos con la intención de reducir la resistividad del suelo en la vecindad del electrodo y de ese modo reducir su impedancia de puesta a tierra. El grado de mejoramiento depende principalmente del valor de resistividad original del terreno, de su estructura y del tamaño del sistema de electrodos.

Materiales especiales de relleno para producir este efecto son:

- Bentonita

Es una arcilla de color pardo de formación natural, levemente alcalina con un pH de 10.5. Puede absorber casi cinco veces su peso en agua, reteniéndola y de este modo expandirse hasta en treinta veces su volumen seco. Su nombre químico es montmorillonita sódica.

En terreno, puede absorber humedad del suelo circundante y ésta es la principal razón para usarla, ya que esta propiedad ayuda a estabilizar la impedancia del electrodo a lo largo del año. Tiene baja resistividad (aproximadamente 5 Ohm – metro) y no es corrosiva. Se usa más a menudo como material de relleno al enterrar barras profundas. Se compacta fácilmente y se adhiere fuertemente.

- Yeso

Ocasionalmente, el sulfato de calcio (yeso) se usa como material de relleno, ya sea solo o mezclado con Bentonita o con el suelo natural del área. Tiene baja solubilidad y baja resistividad (aproximadamente 5 –10 Ohm – metro en una solución saturada).

- Aporte de sales “gel”

Dos o más sales en solución acuosa acompañadas de catalizadores en la proporción adecuada, reaccionan entre sí formando un precipitado en forma de “gel” estable, con una elevada conductividad eléctrica (resistividad de aproximadamente 1 Ohm – metro), resistente al ambiente ácido del terreno, con buenas cualidades higroscópicas e insoluble al agua. Esta última cualidad le confiere al tratamiento con esos materiales sintéticos su permanencia en el tiempo.

Con estos gel se consiguen reducciones en la resistencia de puesta a tierra de electrodos que van del 25% al 80% del valor original sin tratamiento.

4.2 Caja de registro prefabricada

Se instalan para la fácil ubicación de la puesta a tierra, en lugares con esporádico tránsito peatonal (jardín); son de cemento moldeado aligerado (Fig. 4.19) en general no están hechas para resistir peso.

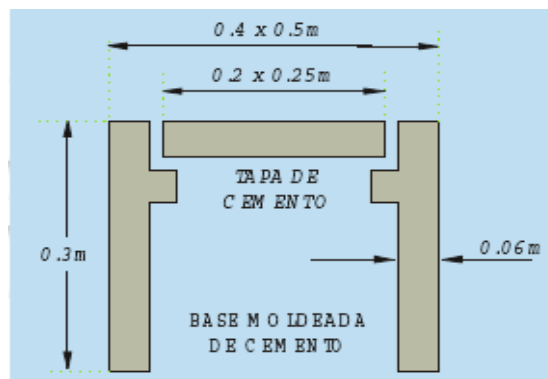


Fig. 4.19 Caja de registro prefabricada.

5. Labores de instalación y acabados

5.1 Mano de obra, herramientas y equipo

La ejecución en el tiempo previsto, de una instalación de puesta a tierra, depende de la dirección y la utilización de mano de obra familiarizada con el trabajo de campo y también de la disponibilidad oportuna de herramientas y accesorios de trabajo y de los equipos de taller que sean necesarios.

Dirección y mano de obra

La dirección del trabajo de campo además de conocer a cabalidad los circuitos e instalaciones eléctricas aéreas, subterráneas y de interior del local, debe estar capacitada para la lectura e interpretación de los planos de construcción (Fig. 4.20), en lo que se refiere a la ubicación de las canalizaciones y estructuras subterráneas.



Fig. 4.20 Lectura de planos eléctricos y de instalaciones.

Asimismo, deberá tomar precauciones en relación a roturas accidentales derrames o fugas y tener conocimientos de su reparación.

Adicionalmente, la mano de obra directa deberá ser confiada a peones entrenados en el trabajo de albañilería al nivel de ayudante; muchas veces las excavaciones demandan la rotura de losas tanto utilitarias como ornamentales, lo cual exige labores cuidadosas de reposición.

El trabajo en general, no conlleva peligros ni eléctricos ni físicos de otra índole por tratarse de una obra sencilla; no obstante, es recomendable dotar al personal, de indumentaria de seguridad y asegurarlo contra todo riesgo de accidentes.

Herramientas y equipos necesarios

- **La excavación:** incluye el manipuleo del material extraído y su selección (separar las piedras) requiere de (Fig. 4.21):

- Pico de punta y cola.
- Barreta de minero.
- Pala de mango largo.
- Pala de mango corto.
- Balde mediano de fierro con asa (12 litros).
- Balde chico de fierro con asa (4 litros).
- Soga de 0,019 m de 10 m de largo.
- Tablón de madera de 0,025 x 0,3 x 2,0 m.
- Tamiz para tierra fina.

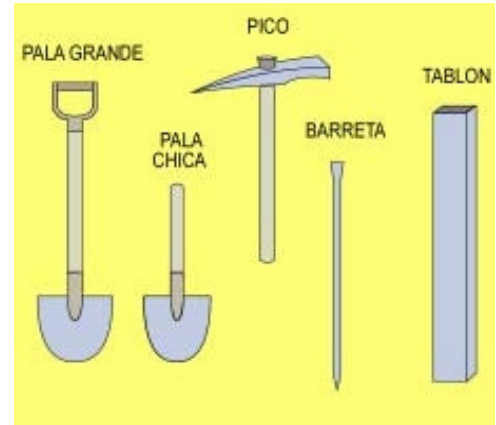


Fig. 4.21 Herramientas de excavación.

- **El tratamiento:** preparación de las dosis de solución salina y su aplicación en el momento indicado; se utiliza (Fig. 4.22):

- Balde chico de fierro con asa (4 litros).
- Listón de madera de 0,019 x 0,1 x 2,0 m.
- Manguera de 0,013 x 15 m.
- Cilindro de fierro estándar – (150 litros).



Fig. 4.22 Accesorios de instalación.

6. Ejecución de las excavaciones y preparación

El trabajo debe iniciarse con la ubicación precisa del punto o línea del suelo a ser removido a partir de la exclusión de la presencia de toda otra canalización o estructura subterránea tanto de los servicios del edificio como de los servicios externos que ingresan o pasan; la ejecución no obstante, será cuidadosa, dado que pueden hallarse instalaciones no consignadas en los planos.

Excavación y preparación del pozo

Para un electrodo de 2,5 m (L) y 0,013 m (d) normalmente se prevé un pozo con una profundidad de hasta 2,8 m y 1,0 m de diámetro (Fig.4.23), dimensiones que permiten el trabajo normal de dos peones en algo más de media jornada.

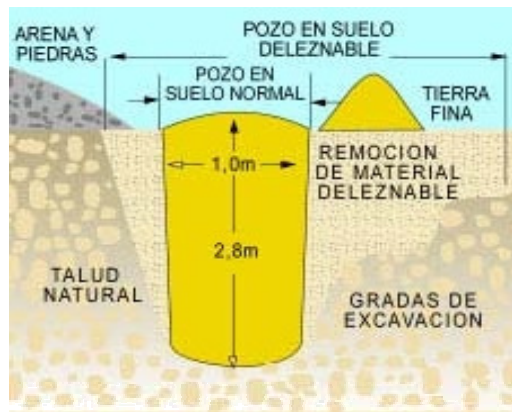


Fig. 4.23 Perfiles de excavación de pozos.

En suelos quebradizos, se amplía la boca del pozo con una o dos gradas laterales de 0,8 m de alto, para la fácil extracción del material. De ser necesario también se puede hacer de forma similar a la de las excavaciones de pozos artesianos¹.

La preparación del lecho profundo consiste en verter (Fig. 4.24) en el pozo una solución salina de 25 Kg de NaCl en 150 litros de agua y esperar a que sea absorbido para luego esparcir, 15 Kg de sal en grano en el fondo (Fig. 4.25)

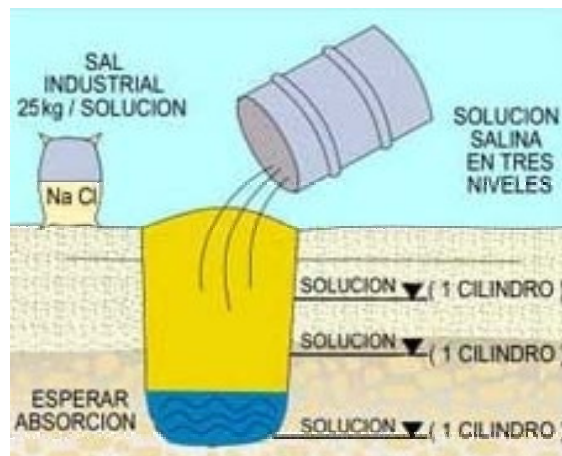


Fig. 4.24 Aplicación de la solución salina en pozo, en tres niveles.

¹**Pozo artesiano:** Pozo de gran profundidad, para que el agua contenida entre dos capas subterráneas impermeables encuentre salida y suba naturalmente a mayor o menor altura del suelo.

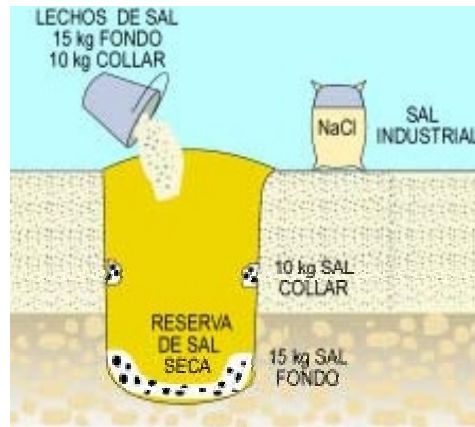


Fig. 4.25 Lechos de sal en el fondo y collar de pozo.

Excavación y preparación de la zanja

Las pletinas de 3,0m x 0,003m x 0,04m con el extremo que sobresale (0,5m) doblado para la conexión, se instalan en zanjas de 3,0m de largo y 0,85m de profundidad (Fig. 4.26) que pueden tener una boca de hasta 0,6m para una base de 0,5m. El trabajo toma media jornada a dos peones.



Fig. 4.26 Perfiles de excavación de zanjas.

Como el suelo es deleznable, la excavación se hace al talud natural, en ocasiones se habilitará empalizadas con travesaños. Cuando la cobertura húmeda de tierra fina natural no es muy gruesa, la profundidad de instalación puede disminuirse hasta (0,75m) para aprovechar dicho estrato.

La preparación del suelo consiste en verter en la zanja Fig. 4.27, dos dosis de solución salina cada una de 25 Kg de NaCl en 150 litros de agua y esperar su filtración para luego esparcir 25 Kg de sal en el fondo.

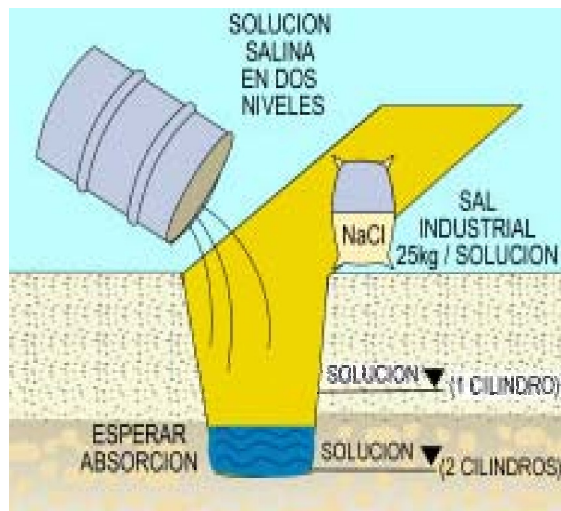


Fig. 4.27 Aplicación de la solución salina en zanja, en dos niveles.



Fig. 4.28 Lecho de sal en fondo de zanja.

En ambos casos, durante la excavación, la tierra fina será separada de los conglomerados gruesos que no son reutilizables para el relleno; asimismo, en caso de hallar tuberías, ductos o estructuras subterráneas, se procurará pasar lateralmente sin ocasionar daños, en caso de ser ductos eléctricos, en lo posible se deberá hacer un corrimiento de reubicación de las excavaciones.

6.1 Relleno y colocación del electrodo

El relleno se separa mezclando en seco la tierra fina con la Bentonita; la tierra fina de procedencia externa, puede ser seca y fósil de cualquier lugar excepto de terreno de cultivo, porque es corrosiva y también ataca al cobre, además de significar un uso depredatorio que anula un área de (5 m²) por cada pozo ejecutado.

Relleno de pozos y colocación del electrodo vertical

- Se esparce lentamente la mezcla tierra + bentonita con abundante agua de modo que se forme una argamasa.
- El electrodo simple o con auxiliares, se ubica al centro del pozo; si es simple se le puede dejar para clavarlo al final.
- A una altura de (1,2m) desde el fondo, se vierte una dosis de solución salina esperando su absorción antes de esparcir 10 Kg de sal en las paredes del pozo (collar de sal).
- Continuando el relleno, a una altura de (2,3m) desde el fondo se vierte una nueva dosis de solución salina y se espera su absorción antes de continuar con el relleno de acabado.

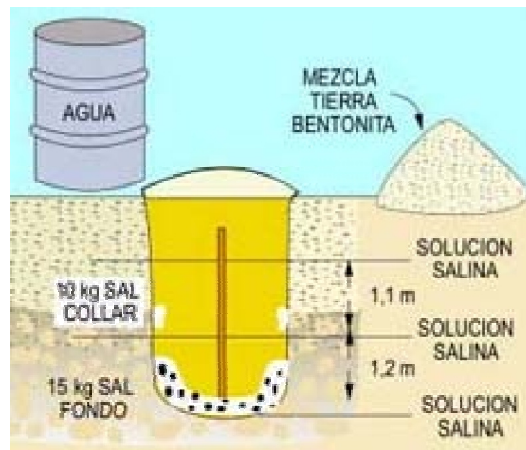


Fig. 4.29 Rellenado conductivo del pozo.

Rellenado de zanjas y colocación de electrodo horizontal

- Se esparce lentamente la mezcla tierra + bentonita con abundante agua de modo que se forme una argamasa.
- A una altura de (0,2m) desde el fondo, se coloca la pletina y se continúa el relleno.
- A una altura de (0,5m) desde el fondo se vierte una nueva dosis de solución salina y se espera su absorción antes de continuar con el relleno de acabado.

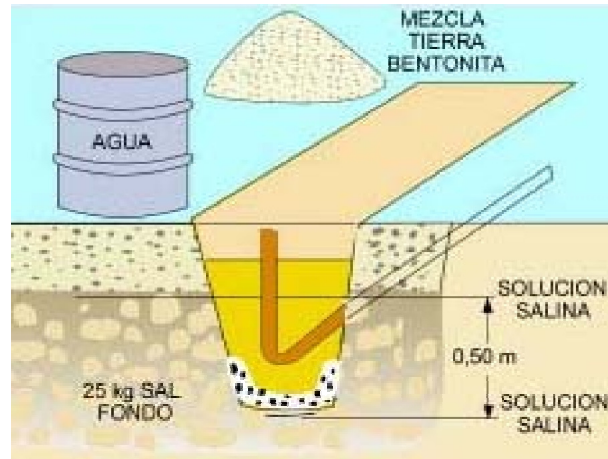


Fig. 4.30 Rellenado conductivo de la zanja.

En ambos casos la cobertura final se hace con la misma tierra del sitio para reproducir el aspecto externo anterior o preparar la base para la caja de registro a ser construida o bien colocada; se debe tener presente que al cabo de 24 horas, la superficie del área rellenada se hundirá (0,1m), lo cual obliga a prever la cobertura en forma que sobresalga al nivel natural del suelo.

6.2 Conexión al tablero eléctrico

Una vez finalizado el relleno se procede al pasado y tendido del conductor aislado de conexión que unirá el electrodo de puesta a tierra con el borne de tierra del tablero eléctrico por el recorrido más corto.

- La parte subterránea en tubería de PVC – pesada, va por una zanja angosta de (0,4 m) de profundidad hasta el ducto de montantes que van al tablero de distribución o hasta su llegada al zócalo de la pared.
- La parte externa, desde que emerge, también va protegida por tubería
- de PVC flexible hasta el punto en que atraviesa la pared, al interior su recorrido se protege en canaletas de plástico hasta que ingresa a un ducto de la instalación existente.

Conexión al electrodo vertical

Se pela el extremo del conductor aislado una longitud de (0,1m), haciendo tres dobleces paralelos antes de colocarlos junto al extremo limpio de la jabalina, para sujetarlos con el borne simple. (Fig. 4.31)

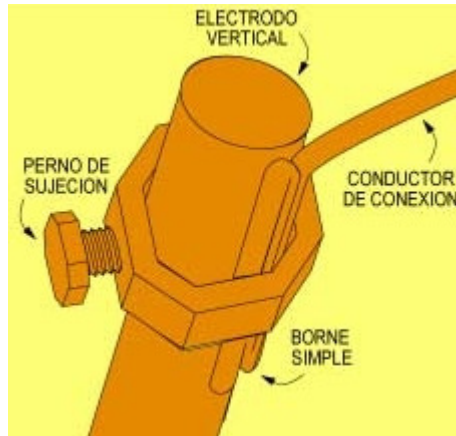


Fig. 4.31 Conexión al electrodo vertical.

Conexión al electrodo horizontal

Se pela el extremo del conductor aislado para hacer una oreja que será colocada entre la pletina y la cabeza del perno pasante, para luego hacer el ajuste con la tuerca. (Fig. 4.32)

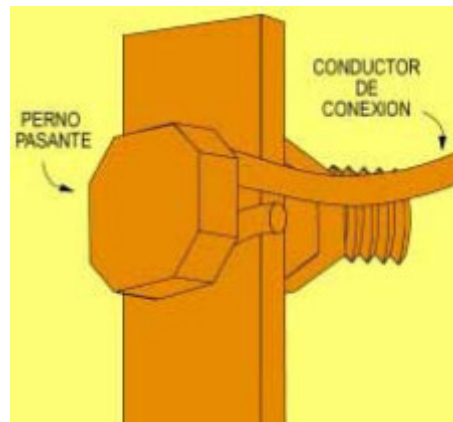


Fig. 4.32 Conexión al electrodo horizontal.

Conexión al borne de tierra del tablero eléctrico

Se hace con un terminal o pelando el extremo del conductor aislado que llega para formar una oreja que se colocará entre el perno y la pletina fija para luego ajustar. (Fig. 4.33)

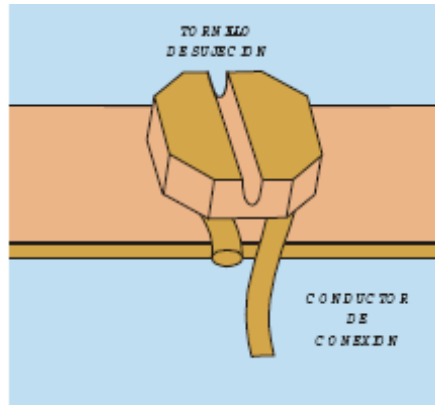


Fig. 4.33 Conexión al borne de tierra del tablero eléctrico.

Una vez hechas las conexiones en ambos extremos del conductor de conexión a tierra, se deberá medir la continuidad eléctrica ($R= 0 \text{ Ohm}$); y finalmente aplicar vaselina a la grapa y cubrirla

UNIDAD V

*Mantenimiento y mejoramiento de
sistemas de puesta a tierra*

Unidad V

“MANTENIMIENTO Y MEJORAMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA”

Introducción

Una vez realizada la medición de la resistencia de puesta a tierra, surge la necesidad de efectuar el acabado exterior del pozo de puesta a tierra, así como, su señalización respectiva; el criterio general es que toda puesta a tierra debe ser de fácil ubicación y acceso para el personal que efectúa el mantenimiento.

La puesta a tierra una vez instalado, presenta dos etapas de funcionamiento permanente y ocasional, es necesario inspeccionar todo ello cuando se requiere efectuar inspecciones, conservaciones y/o renovaciones al sistema de puesta a tierra.

Si logramos mantener la resistencia de puesta a tierra en su valor inicial, estamos asegurando el buen comportamiento del sistema de puesta a tierra, con ello dar seguridad a los equipos y personas que finalmente es el objetivo de la puesta a tierra. Para lograr esto, es necesario efectuar un programa de mantenimiento, y si fuera el caso debe desarrollarse el tratamiento del terreno, ya que un buen mantenimiento consistirá en conservar un contacto perfecto entre electrodo y terreno, mantener una unión perfecta en las conexiones y mantener la resistividad del terreno en un valor bajo.

Objetivos

A continuación se detallan los objetivos que se pretende alcanzar al culminar esta unidad:

- Identificar los procedimientos para efectuar el acabado exterior y la señalización de la puesta a tierra.
- Diferenciar el funcionamiento en estado permanente y en estado ocasional de una puesta a tierra.
- Reconocer los diferentes criterios para el mantenimiento del sistema de puesta a tierra.
- Diferenciar los tipos de tratamiento que se efectúan a un terreno con la finalidad de mejorar sus resistividad.

1. Ejecuciones y consideraciones previas

A continuación se detallan los procedimientos para el acabado exterior y señalización que deben tener una puesta a tierra, así como, precisar el comportamiento de la puesta a tierra en condiciones permanentes y ocasionales, y finalmente se dan sugerencias para la inspección, conservación y renovación de la puesta a tierra.

1.1 Acabado exterior y señalización

El acabado exterior procede una vez que se han realizado las medidas de resistencia de dispersión de la puesta a tierra desconectada del circuito de protección y cuando se ha probado la continuidad ($R = 0 \text{ Ohm}$) en dicho circuito que llega hasta el tablero eléctrico de distribución.

Acabado exterior de las puestas a tierra

Varía según esté la instalación de un suelo descubierto o bajo una losa con o sin enchape decorativo, u otro acabado fijo.

Para puestas a tierra, en suelos descubiertos, normalmente se dan tres modelos:

- Cerrado con caja de registro
- Abierto sin caja de registro (Figs. 5.1, 5.2)

Para la puesta a tierra en suelos cubiertos, sólo pueden haber dos modelos:

- Cerrado con caja de registro
- Ciego totalmente cubierto

Señalización de la puesta a tierra

Es necesario señalar el sitio en el que se halla la puesta a tierra, sobre todo si es de “Modelo ciego”, ello se hace mediante la inscripción en la pared o estructura más próxima, a (0,5 m) sobre la superficie del suelo, de los siguientes datos:

- Distancia en metros (encima)
- Símbolo de puesta a tierra (debajo)

La señal respectiva deberá dar frente a la puesta a tierra y sus dimensiones serán de 0,10 x 0,15 m en fondo color anaranjado y con letras color rojo. (Fig. 5.3)

En las puestas a tierra de “Modelo abierto” en previsión de accidentes, el extremo libre del electrodo se deberá cubrir (Fig. 5.1, 5.2) con una baldosa de cemento con el símbolo de puesta a tierra, pintado con los colores ya indicados.

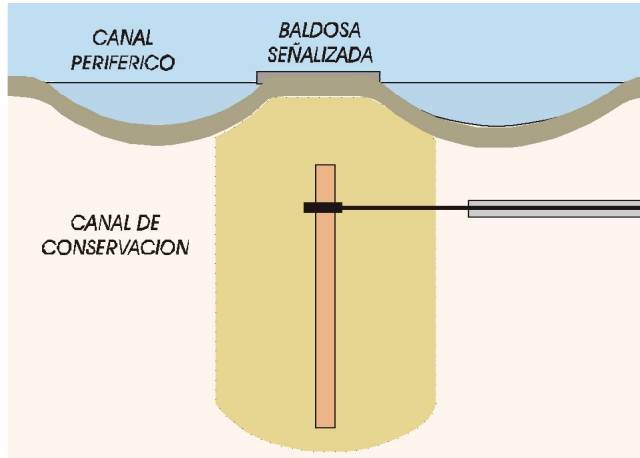


Fig. 5.1 Puesta a tierra abierta con canal periférico

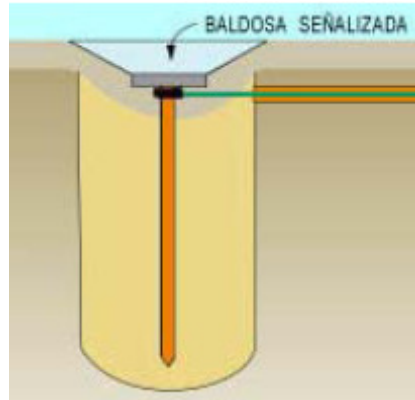


Fig. 5.2 Puesta a tierra abierta con hoyo central



Fig. 5.3 Señalización de la puesta a tierra

2. Funcionamiento de una puesta a tierra

Conduce permanentemente, en forma inofensiva, a través de su resistencia de dispersión, pequeñas corrientes de distinto origen; y ocasionalmente, durante muy cortos períodos previos al funcionamiento de la protección eléctrica, mayores corrientes generalmente asociadas a fallas del aislamiento o descargas atmosféricas.

Funcionamiento permanente

La dispersión (Fig. 5.4) de pequeñas corrientes de funcionamiento de aparatos, de fuga de aislamiento, de desbalance de cargas, de recorrido errático. Geomagnéticas e inducidas, impide la carga y electrización de las masas de los aparatos eléctricos y de los objetos metálicos próximos.

De esta manera se evitan toques eléctricos instantáneos y persistentes que indirectamente pueden ocasionar accidentes a las personas e incorrecto funcionamiento de los equipos electrónicos.

La evacuación de pequeñas corrientes en el suelo y bajo tales condiciones, la referencia de potencial cero en las masas de los aparatos eléctricos, no exigen bajas resistencias de puesta a tierra; excepto cuando las corrientes son mayores (debido a fallas y rayos).

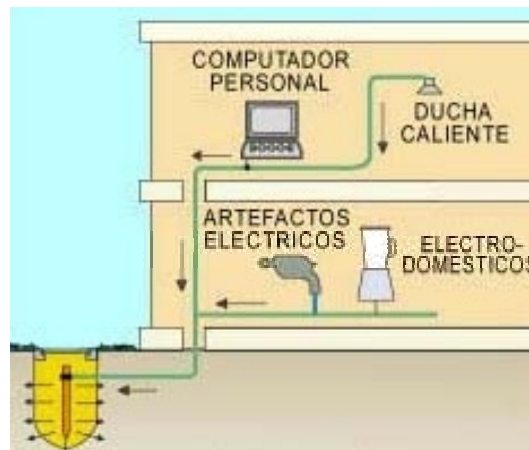


Fig. 5.4 Dispersión permanente de pequeñas corriente

Funcionamiento ocasional

Las grandes corrientes a tierra, provienen de las fallas del aislamiento de los aparatos y circuitos eléctricos (“Fallas francas” o “Fallas amortiguadas”) y, asimismo, de los impactos (“directos o indirectos”) de las descargas atmosféricas (Fig. 5.5); en todos estos casos hay peligro para las personas.

La conexión de todas las masas y estructuras metálicas a la puesta a tierra, proporciona seguridad, suponiendo el correcto funcionamiento de los fusibles o interruptores, para evitar que se queme la instalación eléctrica.

Para asegurar la protección a tierra, la resistencia de dispersión (R_t) será < 25 Ohm cuando el neutro de la red de suministro está aislado de tierra y < 2 Ohm cuando dicho neutro está conectado a tierra. En ambos casos, las normas estipulan un límite de < 25 Ohm; mientras que para descargas atmosféricas (R_i) deberá ser < 2 Ohm.

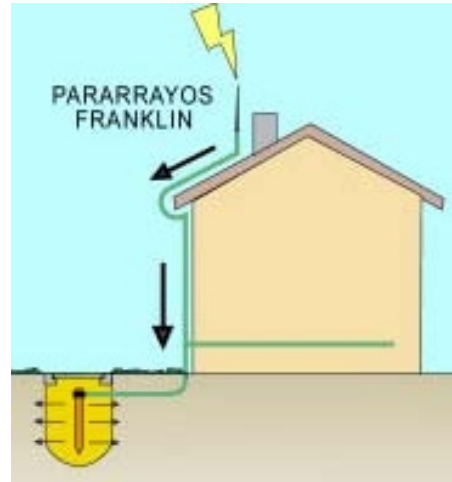


Fig. 5.5 Dispersión ocasional de grandes corrientes

3. Inspección, conservación y renovación

Las puestas a tierra por su ubicación y funcionamiento discreto, son olvidadas con el transcurso del tiempo, lo cual no favorece a la permanencia de sus características y prestaciones, que sólo merecen una esporádica atención de conservación.

3.1 Inspección de las puestas a tierra

Puestas a tierra domésticas

Consiste en retirar el borne o la grapa de presión (Fig. 5.6) para su limpieza con trapo y después con escobilla metálica y lija fina (120); luego, estando el electrodo libre, se mide la resistencia de dispersión, para comparar dicho parámetro con las medidas anteriores (Fig. 5.7) o con la requerida por la instalación.

Puestas a tierra comerciales

Esta labor es idéntica a la anterior, se hace con el consentimiento de todos los usuarios y en los casos de servicios que no admiten la desconexión de tierra (comunicaciones, transferencia de datos, procesamiento, control, etc.); antes de la inspección se deberá habilitar a una distancia mayor a (5,0 m) una puesta a tierra temporal alterna (Fig. 5.8) luego:

- Hacer un puente desde la puesta a tierra temporal hasta el extremo del conductor de conexión a la puesta a tierra permanente.
- Desconectar de la puesta a tierra permanente la extremidad con puente del conductor de conexión y proceder a la inspección.

- Finalizada la inspección, volver a conectar la extremidad con puente del conductor de conexión, a la puesta a tierra permanente.
- Levantar el puente desconectado en sus extremos y retirar la puesta a tierra temporal.

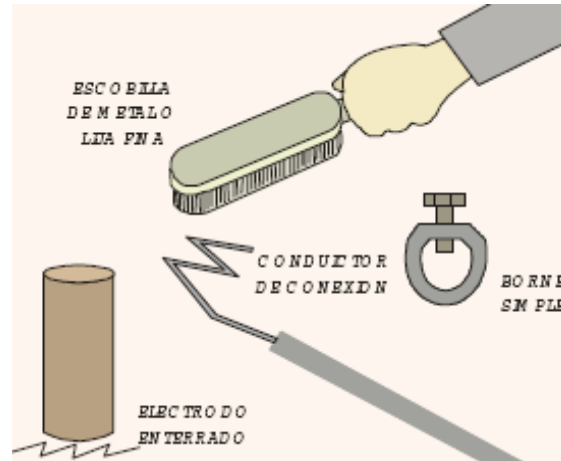


Fig. 5.6 Inspección – limpieza de conexiones

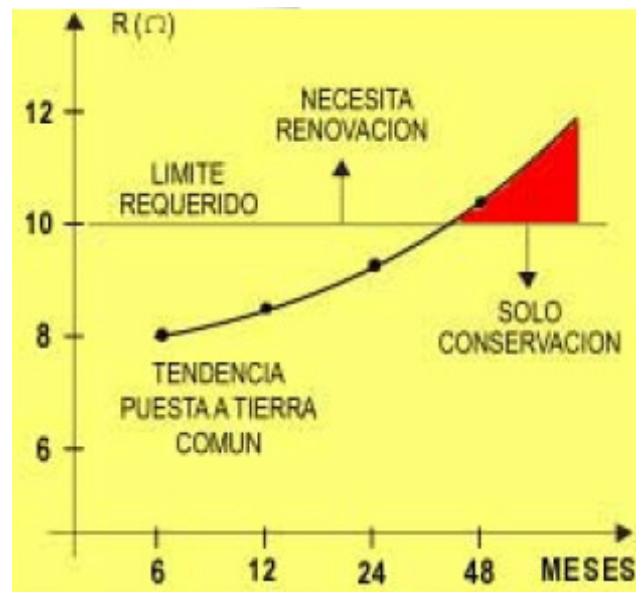


Fig. 5.7 Medidas de inspección anual

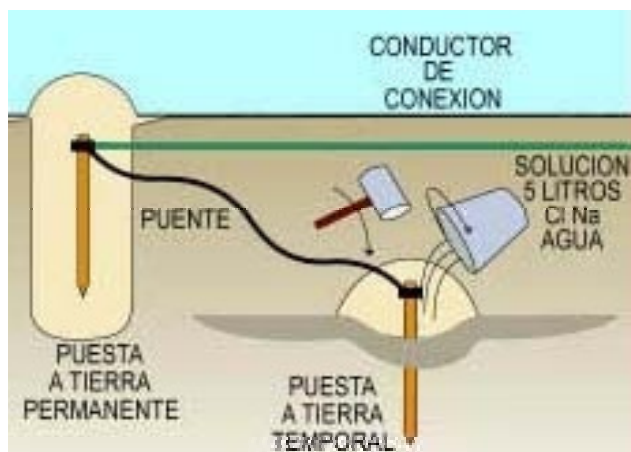


Fig. 5.8 Puesta a tierra temporal de conservación

3.2 Conservación de las puestas a tierra

Dado que son instalaciones subterráneas que se basan en la conductividad del suelo, la conservación óptima, se logra inundando (Fig. 5.9) con unos 30 litros de agua el interior de la caja de registro o el hoyo exterior, cada cuatro o seis meses.

Cuando son puestas a tierra instaladas con métodos diferentes, se procede según las respectivas indicaciones; en caso que la resistencia de dispersión no esté por debajo de 10 Ohm, se deberá prever la renovación de la puesta a tierra, esta vez aplicando los componentes del método propuesto. (5.10)

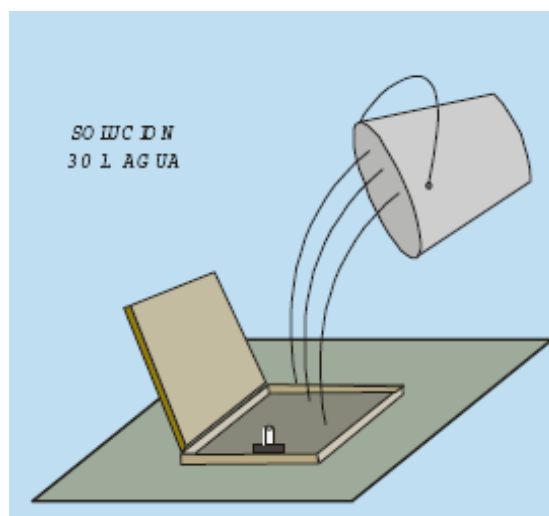


Fig. 5.9 Conservación cada (4) ó (6) meses

3.3 Renovación de la puesta a tierra

La utilización doméstica de computadoras y equipos electrónicos de alta fidelidad o precisión, requiere de resistencias de dispersión relativamente bajas, consecuentemente toda instalación que presente más de 10 Ohm podrá necesitar renovación.

En estos casos se utiliza la misma tierra del relleno del pozo, lijando completamente los electrodos y poniendo nuevos accesorios de conexión a presión; también se deberá probar la continuidad del conductor de conexión hasta el tablero eléctrico.

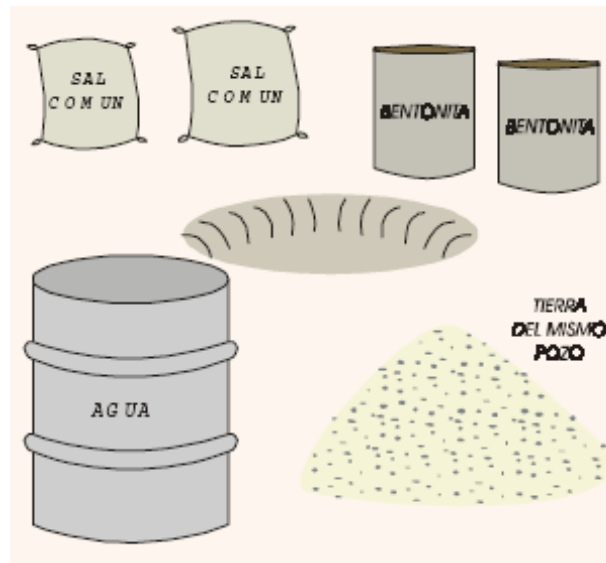


Fig. 5.10 Renovación de una puesta a tierra

4. Recomendaciones para el mantenimiento de puesta a tierra según el tipo de instalación

4.1 Generalidades

La frecuencia del mantenimiento y la práctica recomendada en cualquier instalación depende del tipo y tamaño de la instalación, su función y su nivel de tensión. Por ejemplo, se recomienda que en las instalaciones domésticas se efectúe una medición de resistencia de puesta a tierra cada cinco años y en las instalaciones industriales cada tres años. Los locales con acceso al público requieren inspecciones más frecuentes como son las puestas a tierra de equipos electrónicos, etc. y de los que requieren una inspección anual están los locales como teatros, cines y lavanderías.

4.2 Tipos de mantenimiento

Todos los tipos de instalaciones deben ser objeto de dos tipos de mantenimiento:

- Inspección a intervalos frecuentes de aquellos componentes que son accesibles o que pueden fácilmente hacerse accesibles.
- Examen, incluyendo una inspección rigurosa y posiblemente prueba.

4.2.1 Inspección del sistema de puesta a tierra

La inspección del sistema de puesta a tierra en una instalación normalmente ocurre asociada con la visita para otra labor de mantenimiento. Consiste de una inspección visual sólo de aquellas partes del sistema que pueden verse directamente, particularmente observando evidencia de desgaste, corrosión, vandalismo o robo.

El procedimiento en diferentes instalaciones es el siguiente:

Instalaciones domésticas y comerciales

La inspección normalmente toma lugar asociada con otro trabajo en el local, por ejemplo, mejoramiento del servicio, extensiones, etc. El contratista eléctrico debe inspeccionar a conciencia y recomendar cambios donde observe que una instalación no satisface las normas correspondientes. En particular, debe asegurar que la conexión entre los terminales de tierra del proveedor y del cliente es de dimensión suficiente para cumplir la reglamentación.

Subestaciones de distribución industriales o de la compañía eléctrica Requieren inspección regular, típicamente una vez al año, con inspección visual de todo arreglo visible de conductores del sistema de tierra. Si la red de bajo voltaje es aérea, el sistema de tierra de la red se revisa como parte de las normas regulares de revisión de línea.

Subestaciones principales de compañías eléctricas

Son monitoreadas por controles remotos e inspeccionados frecuentemente típicamente 6 a 8 veces al año. Obviamente algunos casos de deficiencias en el sistema de tierra, tales como el robo de conductores de cobre expuestos, no pueden detectarse por el monitoreo continuo y deberían ser descubiertos durante una de estas visitas.

4.2.2 Evaluación del sistema de puesta a tierra

La evaluación de un sistema de tierra normalmente es parte del examen del sistema eléctrico en su conjunto. Consiste de una muy rigurosa y detallada inspección del sistema de tierra global. En particular, el examinador revisará si el sistema satisface las normas de puesta a tierra vigentes. Además, el sistema debe probarse como se indica de acuerdo al tipo de instalación:

Las instalaciones domésticas y comerciales

El examen de estas instalaciones por parte de un contratista eléctrico se hace normalmente a solicitud del cliente. Se recomienda que este examen se realice con frecuencia no inferior a 5 años. Como parte del examen se requieren dos tipos de pruebas independientes:

- Prueba de impedancia del circuito de tierra. Se dispone de instrumentos de prueba comerciales para este propósito.
- Prueba de funcionamiento de todos los interruptores de corriente residual existentes en la instalación. Esta prueba debe ser independiente del botón de ensayo incorporado en el interruptor.

Fábricas

Debe mantenerse un registro detallado de cada examen. El examinador debe revisar que el sistema de tierra existente cumpla con la reglamentación vigente. Además, se requieren las siguientes pruebas para el sistema de tierra.

- Una prueba de impedancia del circuito de prueba.
- Una prueba de funcionamiento de todos los interruptores de corriente residual.
- Una prueba de conexión de todas las partes metálicas ajenas al sistema eléctrico, es decir; tableros metálicos, gabinetes de control, distribuidores automáticos, etc. Esta prueba se realiza usando un ohmímetro para medida de baja resistencia (micro-ohmímetro), entre el terminal de tierra del cliente y todas las partes metálicas respectivas.
- Medida de resistencia del electrodo de tierra, si la instalación tiene su propio electrodo de tierra independiente y comparar con su valor de diseño. Esto puede significar aislar el electrodo de tierra y puede por lo tanto, requerir que se desconecte la energía durante el periodo de prueba.

Instalaciones con protección contra descarga de rayos Se recomienda que el examen sea realice confrontando con una norma relativa al tema. Incluye una inspección muy rigurosa para asegurar que la instalación cumple con la reglamentación vigente, y la prueba de resistencia a tierra del electrodo. Esto significa previamente aislar el electrodo de los conductores de bajada del sistema de protección contra rayos. Existen instrumentos de medida de impedancia del tipo tenaza que no requieren desconectar el electrodo. El valor medido de resistencia a tierra del electrodo debe compararse con el valor de diseño o aquel obtenido durante la prueba anterior.

Subestaciones de distribución industriales o de la compañía eléctrica El examen se realiza menos frecuentemente, típicamente una vez cada 5 ó 6 años. Se recomienda una inspección muy rigurosa, removiendo cubiertas, etc. Donde sea apropiado. Particularmente, se requiere que el examinador revise que estén de acuerdo a norma las conexiones de todas las partes metálicas normalmente accesibles, estanques de transformadores, de interruptores, puertas de acero, rejas de acero, etc.

Las siguientes pruebas se realizan típicamente con el equipo normalmente en servicio (debe usarse un procedimiento especial para resguardarse de posibles voltajes excesivos que ocurran durante la prueba):

- Prueba de conexión entre el electrodo de tierra y partes metálicas normalmente accesibles.
- Recorrido del electrodo enterrado y examen de éste en algunos sitios para asegurar que no ha sufrido corrosión.
- Se mide la resistencia del electrodo del lado de alta tensión y se compara con valores previos o de diseño.
- Se revisa el valor de índice de acidez pH del suelo.
- Una prueba de grado de separación, para asegurarse que el electrodo de alta tensión y el electrodo de baja tensión están eléctricamente separados. Esta prueba no requiere si las condiciones de diseño permiten conectar ambos sistemas de electrodos.

5. Tratamiento del terreno

5.1 Tratamiento del terreno para mejorar la red de tierra

En esta parte se van a describir los tratamientos del terreno más usuales para mejorar las puestas a tierra de una instalación que puede ser un domicilio o edificio.

En el caso de terrenos rocosos o de alta resistividad deberá realizarse alrededor de los electrodos (picas o conductor enterrado) un relleno con tierra de cultivo de resistividad favorable para mejorar la calidad de contacto entre el electrodo y la tierra de relleno.

En algunos casos de sequía, terrenos desnudos, terrenos huecos, etc. Hacen que la resistencia de toma a tierra se eleve tomando valores peligrosos; en este caso es necesario realizar tratamiento del terreno.

5.1.1 Resistividad de un terreno

La resistividad de un terreno depende de su contenido de electrolitos, que a su vez dependerá de su naturaleza mineralógica y del contenido de humedad.

Cuando el terreno es mal conductor debe tratarse alrededor de los electrodos para disminuir artificialmente la resistividad del mismo afectando a su volumen del terreno. Esto puede lograrse realizando:

Tratamiento con sales. Tratamiento con geles.
Tratamiento por abonado electrolítico del terreno.

En la Fig. 5.11 podemos observar la disminución de resistividad al aumentar la concentración de la solución.

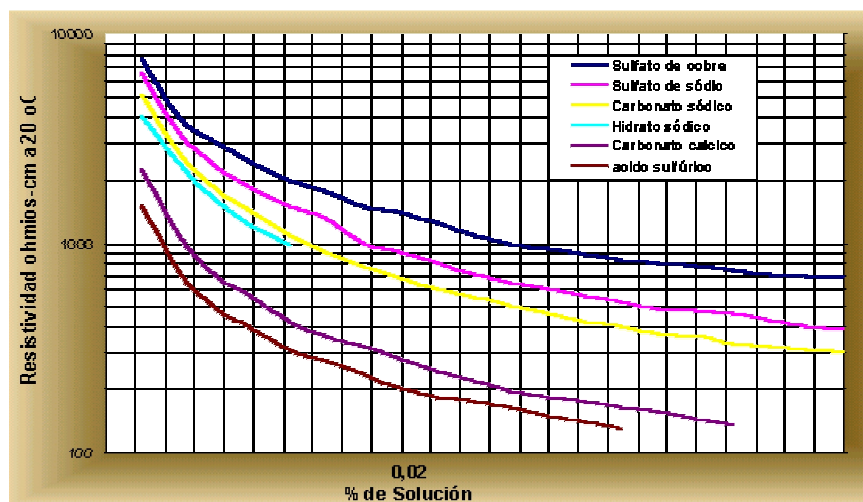


Fig. 5.11 Curvas de resistividad típicas de las soluciones más comunes.

5.1.2 Tratamiento con sales

Se entierra en una excavación poco profunda alrededor del electrodo (Placa, pica ó conductor enterrado) una sal (cloruro de sodio, carbonato de sosa, sulfito de cobre, sulfito de magnesio, etc.) Se riega la tierra alrededor de la toma y la lluvia al caer realiza la infiltración en su defecto humedecer con agua.

La Fig. 5.12 muestra el tratamiento realizado en el caso de un electrodo vertical. Para longitudes entre 2 y 3 m la cantidad de sal puede oscilar entre 25 y 45 Kg.

En lugares donde hay lluvias frecuentes debe tenerse presente el arrastre que efectúa estos, por lo que se recomienda efectuar el tratamiento cada dos años.

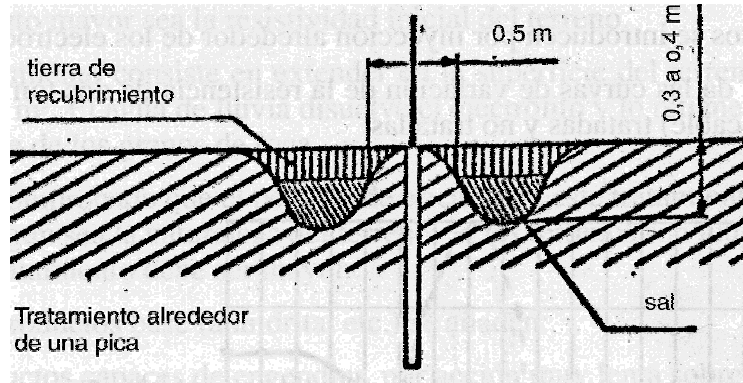


Fig. 5.12 Tratamiento de un terreno con sal

En la Fig. 5.13 está reflejada la variación de la resistencia de puesta a tierra de un electrodo vertical en función del tiempo para un electrodo tratado con sal y otro electrodo no tratado.

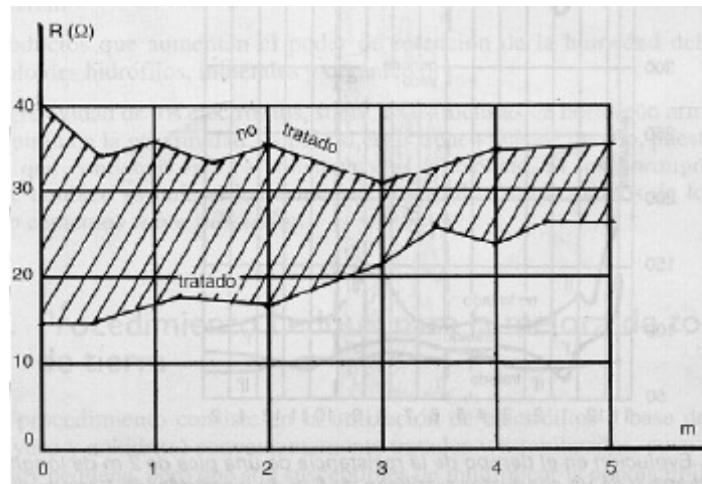


Fig. 5.13 Evolución en el tiempo de la resistencia de una pica (electrodo) tratada con sal.

5.1.3 Tratamiento con gel.

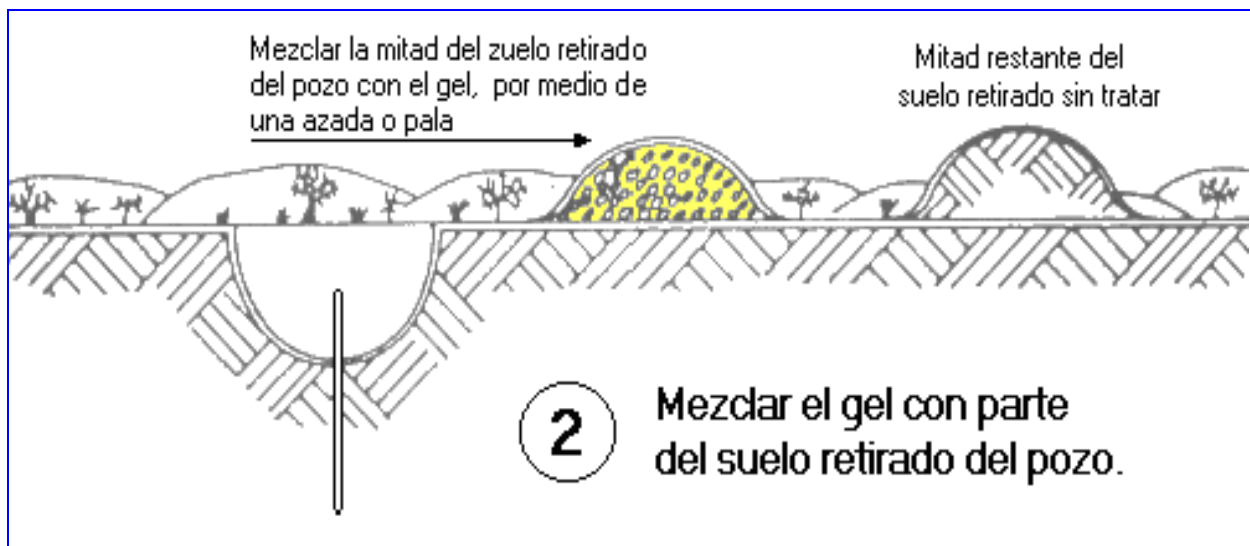
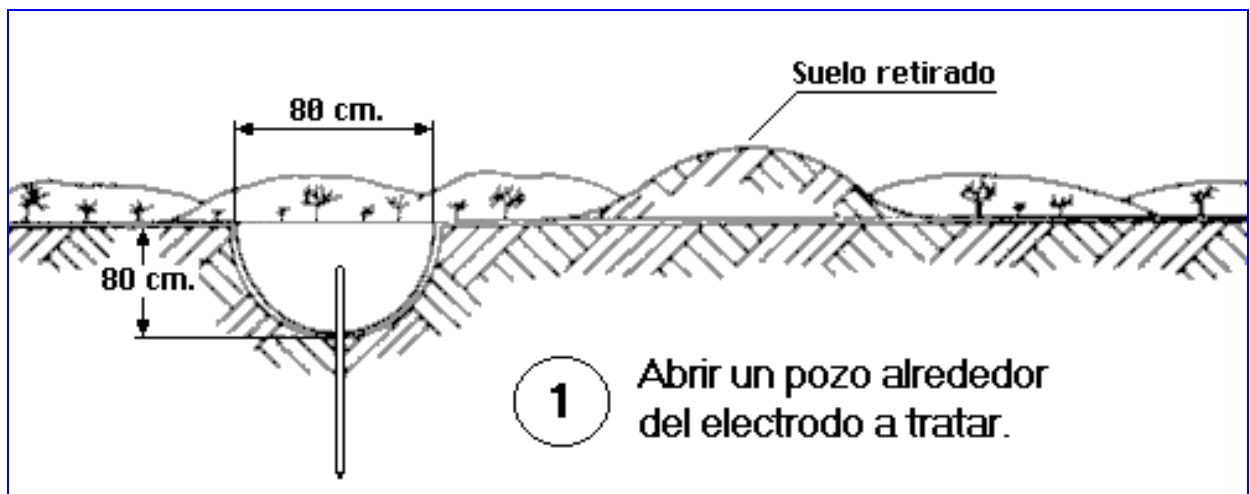
Consiste en tratar el terreno con dos soluciones simultáneamente cuya combinación forma un gel. Al realizarse el tratamiento se disuelve cada uno de los productos en la cantidad de agua requerida en los diferentes depósitos. Las soluciones se aplican a continuación, una después de la otra, por encima del terreno a tratar.

En este caso, el arrastre del producto por las aguas de lluvia es mucho más lento que en el caso de las sales y eficacia del tratamiento alcanza en zonas de poca lluvia de 10 a 12 años y en zonas lluviosas de 6 a 8 años.

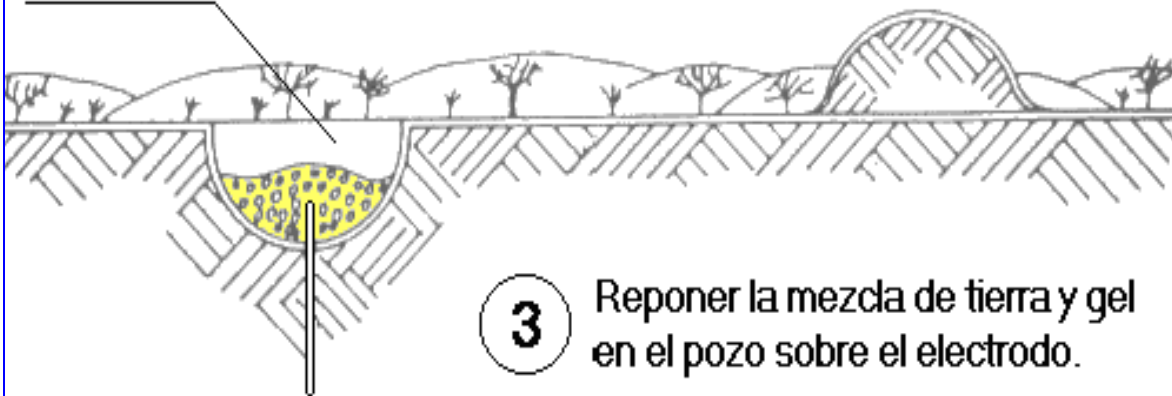
Los electrolitos se introducen por inyección alrededor de los electrodos.

Es importante resaltar, que este método no es muy recomendable dado que esta demostrado que el gel oxida el cobre. La figuras 5.14 a y 5.14 b, muestran el método con electrodos de hasta 3 metros y de mas de 3 metros respectivamente.

- c) Electrodo de hasta 3 metros, la ventaja de este método es: bajo costo, facilidad y rapidez.



Mezcla del suelo natural con el gel.



3

Reponer la mezcla de tierra y gel en el pozo sobre el electrodo.

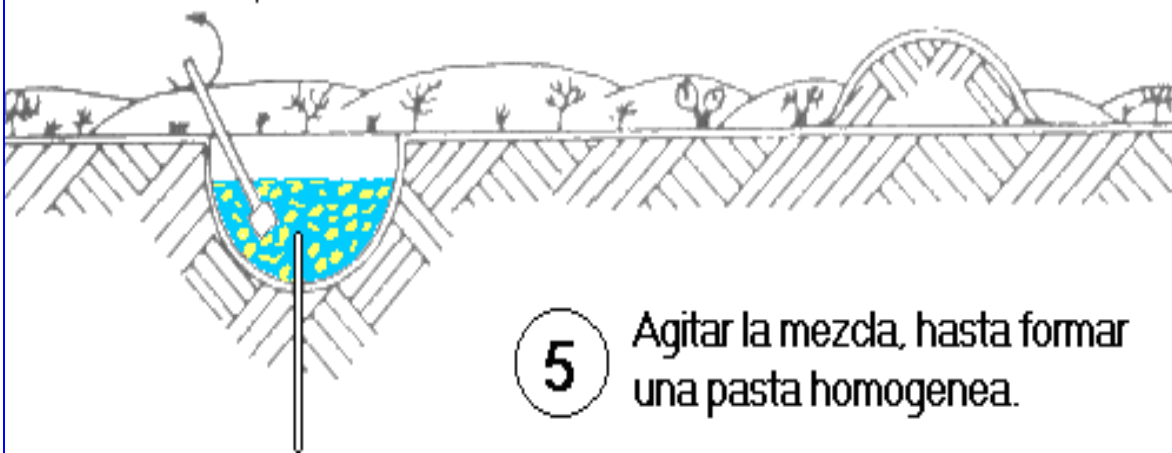
Aproximadamente 40 litros de agua



4

Agregar agua a la mezcla para iniciar el tratamiento.

Agitar la mezcla hasta formar una pasta.

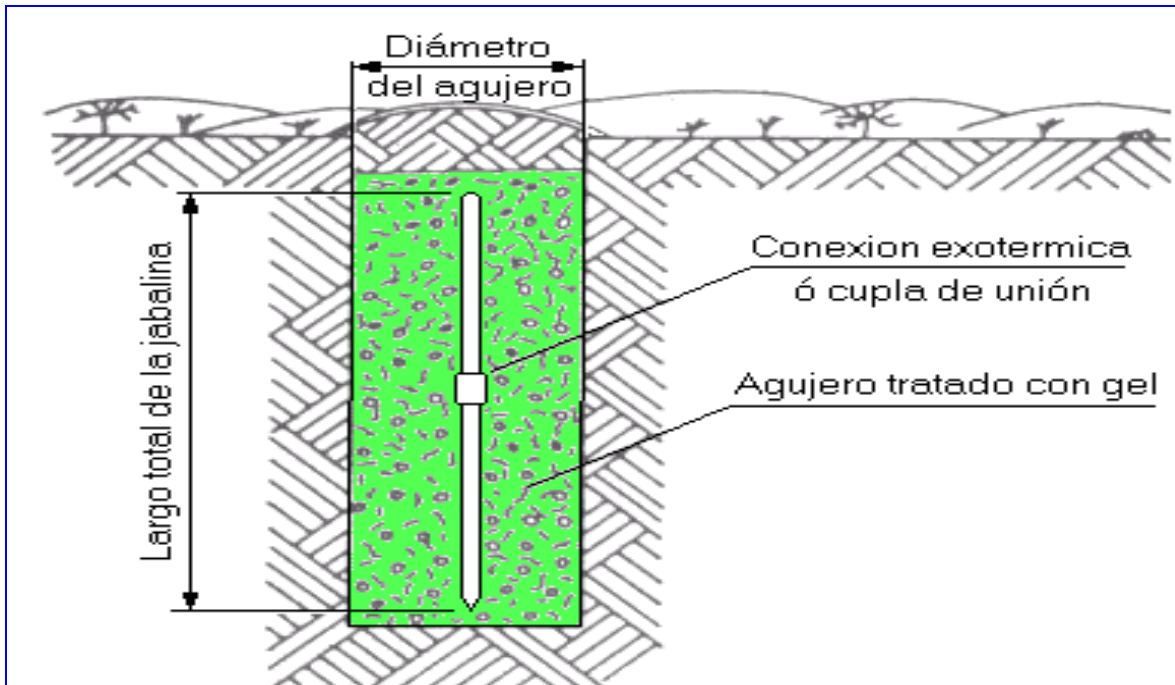


5

Agitar la mezcla, hasta formar una pasta homogénea.

d) Electrodo de más de 3 m.

En este caso conviene usar el siguiente método:



- 1) Realizar una perforación de una profundidad 0,50 m. Mayor que el largo total de los electrodos a instalar, con un diámetro de 0,20 m.
- 2) a) Si se emplea GEL, mezclar este con la mitad del terreno retirado de la perforación, agregar 20 litros de agua por cada dosis de gel utilizada. Luego de formar una mezcla homogénea, rellenar la perforación y proceder a hincar las jabalinas.

b) Si se emplea BENTONITA, mezclar esta en partes iguales con yeso y rellenar la perforación. Hincar las jabalinas, y a continuación humedecer la mezcla vertiendo agua en forma lenta, preferentemente sobre la jabalina.
- 3) La instalación ha finalizado.

Beneficios:

- 1) Ahorro en el consumo de energía eléctrica, al corregir la ineficiencia del neutro de su instalación y disminuir el factor de pérdidas.
- 2) Atenuación de picos, transitorios, y demás fluctuaciones de energía eléctrica que dañan y destruye sus aparatos electrónicos.
- 3) Mayor calidad en imagen y sonido para equipos de video como: televisión, dvd y video caseteras.
- 4) Sonido limpio, claro y definido para los equipos de sonido.
- 5) Mejor recepción de señales de radio a.m. f.m. y s.w.
- 6) Mayor eficiencia en el sistema de enfriamiento y congelación de los refrigeradores, el cual operará menos tiempo para dar el servicio que se le exige.
- 7) Mayor eficiencia en la potencia nominal para las lavadoras y secadoras de ropa.
- 8) Cancelación de interferencias de radiofrecuencia (rfi) y electromagnéticas (emi).
- 9) Se puede escuchar radio de a.m. sin ruidos molestos o interferencias.
- 10) Mayor calidad de vida, al disminuir peligrosos niveles de señales o ruido eléctrico y electromagnético que afectan la salud.
- 11) Menos calentamiento de motores, aparatos, equipos, accesorios y los cables de la instalación eléctrica.
- 12) Mayor eficiencia y vida útil del cableado de su instalación eléctrica.
- 13) Menor riesgo de explosión de tanques de gas, al cancelar peligrosos gradientes de potencial entre tubería de cobre, tanques, motor de bombeo de agua y calentador.
- 14) Seguridad y protección eléctrica para los seres vivos, contra descargas eléctricas y cortos circuitos.

GLOSARIO

Acometida: conductores y equipo necesario que conectan la red de distribución del alimentador con la instalación del usuario.

Aislamiento: interrupción de la continuidad eléctrica.

Ampacidad: capacidad de un conductor para trasportar corriente en forma segura.

Antena: dispositivo parar radiar o recibir energía electromagnética.

Arco eléctrico: descarga de electricidad a través de un medio conductor, gas.

Barra de neutro-tierra: barra colectora, o bus, donde se hace la conexión del conductor neutro con el conductor de tierra.

Blindaje: elementos metálicos para la protección de dispositivos contra los efectos de un campo.

Bus: conductor utilizado para establecer una conexión eléctrica común para varios dispositivos.

Cable: conjunto de conductores eléctricos (alambres) envueltos dentro de un material o recubrimiento aislante.

Circuito balanceado: circuito equilibrado.

Circuito equilibrado: circuito simétrico con respecto a tierra.

Conductancia: medida de la capacidad de un material para conducir corriente eléctrica. Su recíproco es la resistencia del material. Su unidad es el Siemens.

Conductividad eléctrica: poder conductivo de un material. Es la acción opuesta al material. Movimiento de una carga eléctrica de un punto a otro.

Conductor de tierra de equipo: llamado tierra de seguridad. El conductor usado para conectar partes que no transportan corriente: ductos, equipos o cubiertas al electrodo de tierra en el equipo de servicio o el devanado secundario de un sistema de alimentación derivado en forma separada.

Conductor de electrodo de tierra: el conductor utilizado para conectar el electrodo de tierra al conductor de tierra del equipo y al conductor conectado a tierra, o a ambos, en el equipo de servicio.

Conectado a tierra de forma efectiva: conexión intencional a tierra de baja impedancia y con suficiente capacidad para transportar corriente y prevenir la formación de voltaje que puede dañar a personas o equipos.

Corriente de tierra: corriente que circula en el conductor de tierra.

Disipador de sobrecarga: dispositivo para la protección del equipo, el cual está conectado a un circuito eléctrico que elimina el efecto de las ondas de sobrecarga.

Equipo: término general que incluye accesorios de montaje, aparatos y componentes que forman parte de una instalación eléctrica.

Equipo o tablero de servicio: de acuerdo con el código es el equipo formado por un interruptor, conmutador o fusible y sus accesorios, conectados a la carga de los conductores y que constituye el principal conductor del suministro eléctrico.

Impedancia: la oposición al paso de una corriente eléctrica. Se expresa en ohms y es una combinación de la resistencia R y de la reactancia X.

Ohm: unidad de resistencia eléctrica, equivalente a la resistencia en la cual un potencial de un Volt mantiene una corriente de un ampere. Nombre dado en honor de Geroge Simon Ohm (físico Alemán).

Pararrayos: dispositivos de protección para edificios o estructuras contra los efectos de las descargas atmosféricas (rayos) que pueden indicar sobre los puntos más altos de los mismos.

Polarización: variación de potencial de un suelo debido a un flujo de corriente. Estos potenciales de polarización, comúnmente se usan en el estudio de la protección catódica.

Resistividad eléctrica: es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que circula en él. Es la resistencia específica de un material. Numéricamente es la resistencia presentada por un cubo; su unidad es Ω -m o Ω -cm.

Sobrecarga: operación de un equipo por arriba de su capacidad normal o de un conductor por arriba de su ampacidad.

Sobrecorriente: cualquier corriente por arriba de la capacidad del equipo o de la ampacidad de un conductor. Puede ser resultado de una sobrecarga, cortocircuito o una falla de tierra.

Sobrevoltaje: un incremento en el voltaje rms de ca, a frecuencias de alimentación y duración mayores de dos segundos, a diferencia de subida o caída temporal de voltaje.

Suelo artificial: material fabricado que se utiliza para reducir la resistividad del sistema electrodo de tierra.

Tierra: potencial de referencia al que están referidas todas las señales y voltajes de un circuito o equipo electrónico.

Tierra de referencia de señal: llamada tierra de alta frecuencia, es la referencia cero para los centros de procesamiento de señales o cómputo.

Tierra física: conexión conductiva, ya sea intencional o accidental, entre el circuito o equipo eléctrico y la tierra, o cualquier cuerpo que haga las veces de la tierra.

Unión o junta eléctrica: conexión eléctrica de partes conductivas, diseñadas para mantener un potencial eléctrico común.

Voltaje a tierra: en circuitos conectados a tierra, el voltaje entre un conductor y el conductor conectado a tierra del circuito. En un circuito no conectado a tierra, el mayor voltaje entre un conductor y cualquier otro conductor del circuito.

Voltaje nominal: valor asignado a un circuito o sistema como conveniencia para designar su clase de voltaje, por ejemplo: 120/240 V, 480/277 V.

BIBLIOGRAFÍA:

- Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución.
Pablo Díaz.
McGRAW-HILL.
- IEEE Electrical Engineering Dictionary 2000.
- NFPA National Electric Code 2002 edition.
- NFPA National Electric Code 2005 edition.
- IEEE Colors Books Recommended Practices for Commercial and Industrial Power Systems.
[IEEE Std 142-1991, IEEE Green Book](#).
IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems
- IEEE Colors Books Recommended Practices for Commercial and Industrial Power Systems.
[IEEE Std 1100-1999, IEEE Emerald Book](#)
IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment
- National Electric Code Handbook 2005
Tenth Edition
International Electrical Code Series.
- <http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/instalacelectricas/42.htm>
- <http://www.medicionycontrol.com/p-tierra.htm>
- http://www.lobos.com.mx/pg_lobos/ser_edu/puesta/inicio.htm
- Sistemas de puesta a tierra 2001. M.I Alfredo Juárez Torres
- Norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-1999 de instalaciones eléctricas

(Art. 250)

- Norma oficial mexicana NOM-008-SCFI-1993
- Sistema general de unidades de medida.

Anexo 19. Planos de situación actual y propuesta de diseño.