



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA
Y
COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

Monografía para optar al Título de Ingeniero Eléctrico

Título:

**“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LOS DISEÑOS DE
SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA EDIFICIOS DE OFICINAS”**

Autores:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| Br. Marco Antonio Hernández Mendoza | N° 2015-0055S |
| Br. Pedro Pablo Su Hurtado | N° 2015-0070S |

Tutor:

Ing. Nelson David López Rivera.

Managua
Diciembre, 2022

Dedicatoria

Dedico este gran esfuerzo a mis amados padres, Pedro y Elba, gracias a ellos, a su educación, enseñanza y consejos brindados desde mi infancia, logré ser la persona que soy ahora.

A mis queridas hermanas, que son mi gran apoyo y me impulsan en momentos difíciles, llenándome de mucho optimismo para que se cumpliera mi meta de finalizar los estudios de Ingeniería Eléctrica.

Pedro Pablo Su Hurtado

Dedicatoria

A mi madre, Blanca Mendoza (q.e.p.d), a mi amada esposa, Linneth Gutiérrez y a mis dos hijos, Joshua y David, quienes siempre me han impulsado a desarrollar mis capacidades y conocimientos. Con su apoyo, comprensión y cariño, he logrado la meta propuesta. Con la ayuda de Dios, la culminación de mis estudios en la carrera de Ingeniería Eléctrica, es otra victoria más que hemos alcanzado juntos.

Marco Antonio Hernández Mendoza

Agradecimiento

Damos gracias a Dios por guiarnos, iluminarnos y brindarnos siempre la ayuda y el apoyo incondicional, en el transcurso de nuestra vida.

A los Docentes, que contribuyeron al desarrollo profesional durante nuestra carrera universitaria.

Al Tutor Ing. Nelson López, por habernos apoyado en la Tesis compartiendo sus conocimientos y experiencias.

Marco Antonio Hernández Mendoza.

Pedro Pablo Su Hurtado.

Resumen

Los Sistemas de Puesta a Tierra, son parte esencial dentro de las instalaciones eléctricas ya que proveen seguridad y protección para las personas, los equipos y la propia instalación en general cuando ocurran fallas o descargas eléctricas. Es importante que todo Sistema Eléctrico tenga instalado un Sistema de Puesta a Tierra, SPT.

Realizamos una propuesta de Metodología para diseñar el Sistema de Puesta a Tierra para uso de instalaciones de Edificios de Oficinas.

Esta Metodología será utilizada como una herramienta de trabajo, un instructivo que detallará los criterios técnicos que cumplan con las normativas vigentes tanto nacionales como internacionales.

Con el fin de lograr un diseño que cumpla con las normas y procedimientos establecidos en el CIEN, en el NEC y recomendaciones de la IEEE, fue necesario aplicar los conocimientos adquiridos, que promueven buenas prácticas y sirvan como guía para realizar un correcto Diseño de Sistema Puesta a Tierra. Al finalizar nuestro trabajo, realizamos una aplicación de la Metodología para realizar un Diseño de SPT, en el área seleccionada, que en nuestro caso son las instalaciones del edificio correspondiente a las Oficinas de la Empresa Comfort Xpress.

Con la metodología se facilitará el diseño, mediciones y cálculos, para conocer las configuraciones y las pruebas, de los Sistemas de Puesta a Tierra.

Por lo tanto, los SPT deben ser diseñados y ejecutados por personal altamente calificado y estos especialistas estarán en la obligación de capacitar al personal de mantenimiento, utilizando los equipos de protección para mantener la seguridad del ámbito de trabajo.

Índice de Contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introducción | 1 |
| 2 | Antecedentes | 2 |
| 3 | Justificación | 3 |
| 4 | Objetivos | 4 |
| 4.1 | Objetivo General | 4 |
| 4.2 | Objetivos Específicos | 4 |
| 5 | Marco Teórico..... | 5 |
| | Capítulo I | 5 |
| 5.1 | Generalidades de Instalaciones Eléctricas de los Sistemas de Puesta a Tierra.5 | |
| | Capitulo II..... | 8 |
| 5.2 | Definiciones y Abreviaturas | 8 |
| 5.2.1 | Definiciones | 8 |
| 5.2.2 | Abreviaturas | 13 |
| | Capitulo III..... | 14 |
| 5.3 | Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra en las Instalaciones Eléctricas..... | 14 |
| | Capitulo IV | 15 |
| 5.4 | Tipos de Suelos..... | 15 |
| 5.4.1 | Suelos Arenosos | 15 |
| 5.4.2 | Suelos Pantanosos | 16 |
| 5.4.3 | Suelos Calizos | 16 |
| 5.4.4 | Estratigrafía de los Suelos | 17 |
| 5.4.5 | Granulometría de los Suelos | 17 |
| 5.4.6 | Suelos Salinos | 18 |
| 5.4.7 | Elementos para Medición de los Suelos..... | 18 |
| 5.4.8 | Tipos de Rangos de pH del Suelo | 20 |
| | Capítulo V | 21 |
| 5.5 | Resistencia y Resistividad de la Tierra | 21 |
| 5.5.1 | Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra | 21 |
| 5.5.2 | Resistividad de la Tierra..... | 21 |
| 5.5.3 | Medición de la Resistividad del Suelo | 23 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.5.4 | Perfil de Resistividad..... | 30 |
| | Capítulo VI | 31 |
| 5.6 | Conductores Eléctricos de los Sistemas de Puesta a Tierra..... | 31 |
| 5.6.1 | Selección de Conductores a través del Cálculo | 34 |
| | Capitulo VII | 36 |
| 5.7 | Conexiones en Sistemas de Puesta a Tierra..... | 36 |
| 5.7.1 | Conexión Exotérmica | 37 |
| 5.7.2 | Conexiones Mecánicas | 38 |
| 5.7.3 | Interconexión de Puestas a Tierra..... | 40 |
| 5.7.4 | Configuraciones Prohibidas | 41 |
| | Capitulo VIII | 42 |
| 5.8 | Paneles Eléctricos e Instalación de Puesta a Tierra | 42 |
| | Capítulo IX | 43 |
| 5.9 | Dispositivo de Protección contra Sobretensiones Transitorias (DPS) | 43 |
| 5.9.1 | Origen Externo Transitorio | 43 |
| 5.9.2 | Origen Interno de los Transitorios | 43 |
| 5.9.3 | DPS Tipo 1..... | 44 |
| 5.9.4 | DPS Tipo 2..... | 44 |
| 5.9.5 | DPS Tipo 3..... | 44 |
| 5.9.6 | Apartarrayos | 44 |
| | Capítulo X | 47 |
| 5.10 | Definición de Transformador y Clasificación..... | 47 |
| 5.10.1 | Normativas para Instalación de Varilla en Sistemas Puesta a Tierra aplicados en Transformadores | 47 |
| 5.10.2 | Sistema de Puesta a Tierra aplicado en Transformadores | 50 |
| | Capítulo XI | 52 |
| 5.11 | Sistema de Puesta a Tierra de Protección Atmosférica | 52 |
| | Capítulo XII | 53 |
| 5.12 | Sistema de Puesta a Tierra en un Equipo Electrónico | 53 |
| | Capítulo XIII | 55 |
| 5.13 | Clasificación y Características de los Electrodo..... | 55 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.13.1 | Clasificación de los Electroodos de Puesta a Tierra..... | 55 |
| 5.13.2 | Tipos de electrodos o varillas para Sistemas de Puesta a Tierra | 56 |
| 5.13.3 | Tipos de Acoplamiento para Electroodos de Puesta a Tierra | 60 |
| 5.13.4 | Distribución de Corriente por un Electrodo..... | 60 |
| 5.13.5 | Distribución de Corriente en el Terreno..... | 60 |
| 5.13.6 | Distancia entre Electroodos | 61 |
| 5.13.7 | Efecto de Apantallamiento | 62 |
| | Capítulo XIV..... | 62 |
| 5.14 | Configuración de Electroodos en los Sistemas de Puesta a Tierra..... | 62 |
| 5.14.1 | Tipos de Configuraciones de Electroodos | 63 |
| 5.14.2 | Cálculo de la Resistencia de un Electrodo | 66 |
| 5.14.3 | Comprobación de un menor valor de Resistencia SPT al aumentar la longitud de una varilla..... | 66 |
| 5.14.4 | Disminución de la Resistencia por longitud de separación entre Electroodos | 68 |
| 5.14.5 | Materiales Mejoradores de Suelo, bajo Normativas Vigentes..... | 80 |
| 5.14.6 | Materiales Mejoradores de Suelo, no están Bajo Normas | 82 |
| | Capítulo XV..... | 82 |
| 5.15 | Metodología para los Diseños de Sistemas de Puesta a Tierra para Edificios de Oficinas..... | 82 |
| 5.15.1 | Pasos para la Aplicación de la Metodología..... | 82 |
| 5.15.2 | Aplicación de la Metodología al Edificio de Oficinas Comfort Xpress | 83 |
| 6 | Conclusiones y Recomendaciones | 91 |
| 6.1 | Conclusiones..... | 91 |
| 6.2 | Recomendaciones..... | 91 |
| 7 | Bibliografía | 92 |
| 7.1 | Referencias Bibliográficas | 92 |
| 7.2 | Referencias Webgrafía..... | 94 |
| 8 | Anexos | 96 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura No. 1 Tensión de Paso y Tensión de Toque | 7 |
| Figura No. 2 Suelo Arenoso | 16 |
| Figura No. 3 Tipo de Suelo Pantanoso | 16 |
| Figura No. 4 Tipo de Suelo Calizo..... | 17 |
| Figura No. 5 Estratigrafía de los Suelos | 17 |
| Figura No. 6 Granulometría de los Suelos | 18 |
| Figura No. 7 Suelo Salino | 18 |
| Figura No. 8 Higrometría de los Suelos..... | 19 |
| Figura No. 9 Medición de Temperatura del Suelo | 19 |
| Figura No. 10 Compacidad del Suelo..... | 20 |
| Figura No. 11 Resistividad de un Cubo de Terreno de 1m de Arista | 22 |
| Figura No. 12 Componentes del Electrodo de Puesta a Tierra..... | 23 |
| Figura No. 13 Tipos de Telurómetros y Medición Convencional..... | 24 |
| Figura No. 14 Método de Medición de los Tres Puntos con Telurómetro | 25 |
| Figura No. 15 Método de los Cuatro Puntos o Método de Wenner | 26 |
| Figura No. 16 Método de Medición con Pinza Telurómetro | 28 |
| Figura No. 17 Método de Medición de los Tres Puntos con Voltímetro y Amperímetro | 29 |
| Figura No. 18 Método de Medición de SPT con Voltímetro, Amperímetro y Bujía | 30 |
| Figura No. 19 Conductores de Puesta a Tierra | 31 |
| Figura No. 20 Selección de la Sección Transversal de los Conductores de Puesta a Tierra | 33 |
| Figura No. 21 Selección de la Sección del Conductor de Puesta a Tierra de acuerdo a la Capacidad del Dispositivo de Protección..... | 33 |
| Figura No. 22 Tipos Soldadura Exotérmica..... | 37 |
| Figura No. 23 Soldadura Exotérmica | 38 |
| Figura No. 24 Tipos Comunes de Conexión Mecánica..... | 39 |
| Figura No. 25 Barra Equipotencial | 40 |
| Figura No. 26 Sistema Puesta a Tierra Dedicadas e Interconectada Norma. IEC61000-5-2..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura No. 27 Un solo SPT para todas las Necesidades y SPT Separadas e Independientes | 41 |
| Figura No. 28 Instalación del SPT en Paneles Eléctricos..... | 42 |
| Figura No. 29 Diferentes tipos y marcas de Supresores de Pico (DPS) | 43 |
| Figura No. 30 Indica la categoría y zonas de instalación de los DPS | 44 |
| Figura No. 31 Descargador de Sobretensión (Apartarrayos)..... | 45 |
| Figura No. 32 Transformadores Tipo Seco y Sumergido en Aceite | 47 |
| Figura No. 33 Valor Mínimo de la Distancia entre dos Varillas de SPT | 48 |
| Figura No. 34 Instalación de Varilla del SPT en el Transformador y el Primer Desconectador..... | 48 |
| Figura No. 35 Sistema Puesta a Tierra en disposición de Anillo Cerrado..... | 49 |
| Figura No. 36 SPT en Disposición Lineal con tres Varillas y su Espaciamiento ... | 49 |
| Figura No. 37 Arreglos Prácticos de Conductores de Sistema Puesta a Tierra | 53 |
| Figura No. 38 Generador de Energía con y sin Capo..... | 54 |
| Figura No. 39 Sistema Derivado e Independiente | 54 |
| Figura No. 40 Sistema no Derivado Independiente | 55 |
| Figura No. 41 Tipos de Electrodo s | 56 |
| Figura No. 42 Electrodo de Acero recubierto en Cobre | 57 |
| Figura No. 43 Electrodo de Acero Galvanizado Inmersión en Caliente | 58 |
| Figura No. 44 Electrodo s de Acero Inoxidable | 58 |
| Figura No. 45 Conexión Conductora Corriente Continua | 58 |
| Figura No. 46 Tipo de Acoplamiento Rehilete | 59 |
| Figura No. 47 Electrodo Amesa Tipo Chem Rod..... | 59 |
| Figura No. 48 Distribución de Corriente por Electrodo | 60 |
| Figura No. 49 Distribución de Corriente en el Terreno | 61 |
| Figura No. 50 Distribución de Electrodo s | 61 |
| Figura No. 51 Electrodo s distancia menor de dos veces su Longitud..... | 62 |
| Figura No. 52 Efecto de Apantallamiento | 62 |
| Figura No. 53 Configuraciones de Electrodo s | 63 |
| Figura No. 54 Electrodo en Línea Recta | 64 |
| Figura No. 55 Electrodo s en Triángulos | 64 |

| | |
|--|----|
| Figura No. 56 Electrodo en Anillo | 64 |
| Figura No. 57 Electrodo de Cimentación..... | 65 |
| Figura No. 58 SPT Horizontal en disposición Radial | 65 |
| Figura No. 59 Aplicación de productos GEM-ERICO | 81 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla No. 1 Máxima Tensión de Contacto Admisible IEC e IEEE | 8 |
| Tabla No. 2 Longitud de Separación y Profundidad de Enterramiento de Picas de Prueba | 27 |
| Tabla No. 3 Valores establecidos para la selección de Apartarrayos | 46 |
| Tabla No. 4 Corrosividad de los Suelos | 57 |
| Tabla No. 5 Interacción entre Materiales | 59 |
| Tabla No. 6 Normas Nacionales e Internacionales Vigentes | 96 |
| Tabla No. 7 Constante de materiales IEEE-80 | 96 |
| Tabla No. 8 Valores Típicos (Df), IEEE-80 | 96 |
| Tabla No. 9 Propiedades de los Conductores | 97 |
| Tabla No. 10 Corrosividad de los Suelos | 97 |
| Tabla No. 11 Evaluación de Agresividad de los Suelos..... | 98 |
| Tabla No. 12 Valores Máximos de Resistencia de Puesta a Tierra | 98 |
| Tabla No. 13 Valores de Resistividad de los Suelos | 99 |
| Tabla No. 14 Valores de Resistividad de los Suelos | 99 |
| Tabla No. 15 Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra para Sistemas de C.A. 250-66 NEC | 100 |
| Tabla No. 16 Sección Transversal Mínima de los Conductores de P.T para Canalizaciones y Equipos. Artículo 250-122 NEC | 100 |
| Tabla No. 17 Código de Colores de Aislamiento de Conductores Eléctricos..... | 101 |
| Tabla No. 18 Electrodo de Acero | 101 |
| Tabla No. 19 Electrodo Acero Inoxidable | 101 |
| Tabla No. 20 Fórmulas para Calcular la Resistencia a Tierra..... | 102 |
| Tabla No. 21 Informe Diseño del SPT (Tres Electrodos en Línea) | 103 |
| Tabla No. 22 Informe Diseño del SPT (Un Electrodo Vertical) | 104 |

Índice de Graficas

| | |
|--|----|
| Grafica No. 1 Perfil de Resistividad | 30 |
| Grafica No. 2 Decremento de la Resistencia de un Electrodo de Puesta a Tierra con la Profundidad | 66 |
| Grafica No. 3 Porcentaje de reducción de Resistencia por número de Electroodos instalados..... | 71 |

1 Introducción

En la actualidad, con los avances tecnológicos, todos los seres humanos estamos involucrados en el uso de la energía eléctrica, en nuestros hogares, centros de estudio o de trabajo. Lo que indica que en los Sistemas Eléctricos de edificios para uso de Oficinas es imprescindible la instalación de un SPT que garantice la protección eficaz de las personas, instalaciones eléctricas, equipos eléctricos y bienes en general. La puesta a tierra es la unión intencional de elementos metálicos, mediante conductores y electrodos.

Los profesionales en electricidad, están obligados al uso y cumplimiento de lo establecido en las leyes y normas, nacionales e internacionales, establecidas en los siguientes artículos:

GACETA de Nicaragua: Capítulo III, art. 14 – 5, 6 . Agosto del 2014

Art. 250 del CIEN (Código de Instalaciones Electricas de Nicaragua). Oficial.

Art. 250 del NEC (Código Nacional Eléctrico). Supletorio.

IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) 61000 – 2 – 5.

IEEE 142, IEEE 80 (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

El tema de los Sistemas de Puesta a Tierra es la sección de mayor importancia de la normativa eléctrica, pero es la parte que ha sido más descuidada y mal interpretada en el campo de ejecución de los sistemas eléctricos, provocando controversias en el gremio de electricidad y en varias ocasiones por desconocimiento y la no aplicación de la normativa eléctrica. Se han presentado muchas pérdidas económicas y vidas humanas.

Para evitar las pérdidas humanas y económicas, se debe crear un buen conductor en la tierra, que garantice la seguridad de las personas y que sea capaz de:

- Limitar las sobretensiones transitorias.
- Disipar las corrientes producto de la caída de un rayo.
- Drenar cargas estáticas.
- Estabilizar el voltaje en condiciones normales de operación.
- Permitir que circule la corriente de falla a tierra en una red equipotencial y que las protecciones contra sobrecorrientes puedan operar correctamente.

2 Antecedentes

Eventos en el desarrollo de los Sistemas de Puesta a Tierra:

1883 Se comprueba que la tierra conduce electricidad por telegrafía de hilo. Científico Alemán Carl August Steinheil

1913 Se da el origen de protección para los Sistemas Eléctricos. El *NEC (Código Nacional Eléctrico)* obligó a que los Sistemas Eléctricos con una tensión mayor a 150 V, medidos de Fase a Tierra fueran, Puestos a Tierra. A partir de ahí, el concepto de la palabra inglesa “Grounding” se tradujo al español como “Puesta a Tierra” y la palabra “Grounded”, como Puesto a Tierra”. Ambos conceptos difieren, sin embargo, determinan la función que tienen en un Sistema Eléctrico, para brindar mayor protección tanto a las personas como a equipos eléctricos.

1918 Se desarrollo el método de los tres electrodos para la medición de resistencia de SPT. Científico C.S Peter.

En los años 40 del siglo XX, la energía se generaba en Nicaragua de forma privada, a través de pequeñas Plantas Hidroeléctricas y Termoeléctricas que servían al sector industrial.

Actualmente la tecnología de estado sólido, basada en electrónica moderna sigue evolucionando y se hace más sensible a los ruidos eléctricos y a la contaminación electromagnética, lo que hace necesario la elaboración de un Sistema de Puesta a Tierra libre de ruidos y compatibilidad electromagnética en todos los equipos y sistemas eléctricos.

En un SPT general pueden existir otros subsistemas, como son:

Puesta a Tierra para la protección de descargas atmosféricas eléctricas, Puesta a Tierra del equipo o tierra de seguridad; Tierra de Alta Frecuencia, que no se rige por las mismas reglas de la Tierra de Baja Frecuencia; Puesta a Tierra para la protección frente a las interferencias electromagnéticas (EMI por sus siglas en inglés), Frente a interferencia (RFI, por sus siglas en inglés) y frente a descargas electrostáticas (ESD, por sus siglas en inglés), y Puesta a Tierra para instrumentación y controles.

3 Justificación

En el Diseño de los Sistemas Puesta a Tierra, es necesaria la aplicación de las siguientes Normas que rigen las protecciones a nivel nacional e internacional, establecidas:

Artículo 250 del CIEN (Instalaciones Eléctricas de Nicaragua).

Artículo 250 del NEC (Código Nacional Eléctrico).

Este documento explicará uno de los métodos utilizados para calcular un Sistema de Puesta a Tierra, en un edificio de oficinas, donde se llevarán a cabo los pasos para lograr el Diseño de un Sistema de Puesta a Tierra que cumpla con las normas de instalaciones vigentes.

Es fundamental la existencia de un Sistema Puesta a Tierra con sus características adecuadas, que garantice tanto la seguridad de las personas como de bienes.

La finalidad de nuestra Propuesta de Metodología, es dejar un instructivo detallado, con los criterios técnicos, que faciliten a profesionales en electricidad y estudiantes de ingeniería, el correcto Diseño de Sistemas de Puesta a Tierra en una instalación eléctrica para uso de Oficinas, aplicando las normas nacionales y las normas internacionales, facilitando el diseño, el cálculo, la medición, la construcción, el mantenimiento y las pruebas del Sistema de Puesta a Tierra en las Instalaciones Eléctricas.

Esto con la finalidad de crear una guía práctica que facilite el estudio con los criterios técnicos adecuados.

En la edificación de las Oficinas de Comfort Xpress, se demostrará la importancia que tienen las instalaciones eléctricas, al brindar la información necesaria y requerida para un Sistema de Puesta a Tierra.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

- Proponer una Metodología para Diseñar los Sistemas de Puesta a Tierra, aplicado a Edificios para uso de Oficinas, que brinden protección a las personas, instalaciones eléctricas y equipos respectivos o bienes en general.

4.2 Objetivos Específicos

- Establecer las generalidades y definir los SPT, para conocer las partes de las instalaciones eléctricas donde se requiera su aplicación.
- Determinar la clasificación y las características eléctricas de los tipos de suelos, para conocer sus valores óhmicos y considerar tratamientos a aplicar.
- Conocer sobre las configuraciones de los Sistemas de Puesta a Tierra, para seleccionar el sistema correspondiente de acuerdo a las características del edificio.
- Elaborar una aplicación práctica y realizar el Diseño del Sistema de Puesta a Tierra en un edificio para uso de oficinas, en la empresa de transporte Comfort Xpress.

5 Marco Teórico

Capítulo I

5.1 Generalidades de Instalaciones Eléctricas de los Sistemas de Puesta a Tierra.

¿Qué es la Puesta a Tierra?

Una instalación de Puesta a Tierra está constituida por uno o varios electrodos enterrados. Un electrodo de Puesta a Tierra es un conductor o conjunto de conductores enterrados, que establecen una conexión con la tierra.

Los conductores no aislados colocados en contacto con la tierra para la conexión al electrodo se consideran parte de este, por ejemplo: El conductor que hace la unión entre el sistema de electrodo de tierra y la tierra física, se denomina electrodo de Puesta a Tierra.

El propósito del Diseño de Sistema Puesta a Tierra es proteger a las personas, equipos e instalaciones, para disminuir las tensiones eléctricas que pueden influenciar entre objetos metálicos y drenar las corrientes de falla.

El Sistema Puesta a Tierra comprende en la interconexión de conductores, varillas de cobre y otros elementos metálicos que pueden ser tomados como electrodos.

La función de Puesta a Tierra en una instalación eléctrica es la de forzar la derivación hacia el terreno de la intensidad de corriente de cualquier naturaleza que se pueda originar, tal es el caso de corrientes de defecto o descargas atmosféricas. Los accidentes eléctricos pueden reducirse o eliminarse, igualando los potenciales de cualquier elemento metálico no conductor de corriente eléctrica con la tierra, desde el punto de vista eléctrico se puede limitar la tensión inducida o de falla.

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobretensiones en las subestaciones y edificios es la de disponer de una red de tierras adecuadas, a la cual se conectarán los neutros, los apartarrayos, los cables de guarda, las

estructuras metálicas, los tanques, los aparatos y todas aquellas partes metálicas que deban estar a potencial de tierra.

En él **Artículo 250 – 1** del **CIEN**, se encuentran los requisitos generales para la instalación del Sistema de Puesta a Tierra:

➤ Puesta a Tierra de los Sistemas Eléctricos.

Estos se deben conectar a tierra, de manera que limiten la tensión impuesta por descargas atmosféricas, sobretensiones en la línea o contacto no intencional con esta, durante la operación normal.

➤ Puesta a Tierra del Equipo Eléctrico.

Los materiales conductores, que normalmente no transportan corrientes o que forman parte de dicho equipo, deben estar conectados a tierra, con el fin de limitar la tensión.

En la actualidad, se tiene mayor cuidado en el Diseño de las Redes de Puesta a Tierra, ya que en el uso generalizado de los sistemas de cómputo y comunicaciones no se permiten elevaciones de potencial.

Como normativa, toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección de Puesta a Tierra, diseñada de manera que, en ningún punto accesible de la misma, las personas que permanezcan en el área, corran riesgo a una tensión peligrosa por cualquier defecto o falla que se presente en el sistema.

La tensión de toque y tensión de paso son dos parámetros que se definen para el diseño de los sistemas de puesta a tierra y están relacionadas con la seguridad de las personas.

Tensión Tolerables

Los sistemas de puesta a tierra pueden ajustarse para eliminar los potenciales de contacto peligrosos mediante la supresión de las corrientes de cortocircuito a tierra, esto no suele exigirse a los sistemas con neutro aterrizados a tierra con corrientes

de falla menor a 1000 A. Para corrientes de falla a tierra por encima de los 1000A, se deben instalar sistemas de puesta a tierra de grandes dimensiones para cumplir con los requisitos de potenciales de paso y de contacto. Se estima que al circular una corriente de 10 mA a 25 mA por el cuerpo humano, se presenta dolor muscular, al circular 100 mA por el cuerpo humano, causa fibrilación muscular.

Tensión de Toque

Es la diferencia de potencial entre un punto del elemento conductor, situado al alcance de la mano de una persona y un punto en el suelo situado a 1 m de la base de elemento.

Tensión de Paso

Es la diferencia de potencial existente entre los pies de una persona, separados a 1 m cuando se encuentran sobre líneas de potencial diferentes.

Máxima tensión de contacto admisible para un ser humano

$$\text{IEEE - 80} \quad E_{\text{contacto}} = \frac{116 \text{ mA}}{\sqrt{0.5\text{s}}} = 164\text{v}$$

$$\text{IEC 60479} \quad E_{\text{contacto}} = \frac{30\text{mA}}{\sqrt{0.5\text{s}}} = 42.43\text{v} < 50\text{v}$$

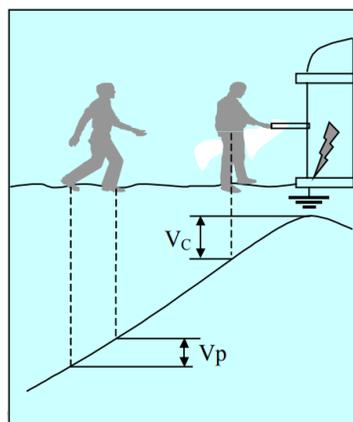


Figura No. 1 Tensión de Paso y Tensión de Toque

| Tiempo de despeje de la falla | Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEC para 95% de la población. (Público en general) | Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEEE para personas de 50 kg (Ocupacional) |
|-------------------------------|--|---|
| Mayor a dos segundos | 50 voltios | 82 voltios |
| Un segundo | 55 voltios | 116 voltios |
| 700 milisegundos | 70 voltios | 138 voltios |
| 500 milisegundos | 80 voltios | 164 voltios |
| 400 milisegundos | 130 voltios | 183 voltios |
| 300 milisegundos | 200 voltios | 211 voltios |
| 200 milisegundos | 270 voltios | 259 voltios |
| 150 milisegundos | 300 voltios | 299 voltios |
| 100 milisegundos | 320 voltios | 366 voltios |
| 50 milisegundos | 345 voltios | 518 voltios |

Tabla No. 1 Máxima Tensión de Contacto Admisible IEC e IEEE

Capítulo II

5.2 Definiciones y Abreviaturas

5.2.1 Definiciones

- **Alta Tensión:** Corresponde a tensiones por encima de 33000 V.
- **Baja Tensión:** Corresponde a tensiones por encima de 50 V y hasta 1000 V.
- **CIEN:** Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua.
- **Conductor:** Elemento destinado en su condición de operación normal, a la conducción de corriente para cerrar un circuito, y por tanto sometido a una tensión cuando está en servicio.
- **Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra:** (Grounding Electrode Conductor). Conductor que es intencionalmente conectado a una Puesta a Tierra, sólidamente para distribuir la tierra a diferentes sitios de una instalación.
- **Corriente de Defecto:** Corriente que circula debido a un defecto de aislamiento.
- **Corriente de Falla:** La Corriente de Falla a tierra, también conocida como Corriente de Fuga, siempre retornará a la fuente que la origina, ya sea a través del conductor de tierra o por cualquier otro medio que le ofrezca menor resistencia, incluyendo claro está, un ser humano.

- **Corrosión:** Deterioro de un material, a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Generalmente, puede entenderse como la tendencia que tienen los materiales al buscar su forma de mayor estabilidad o de menor energía interna.
- **Cortocircuito:** Fenómeno Eléctrico ocasionado por una unión accidental o intencional de muy baja resistencia entre dos o más puntos de diferente potencial de un mismo circuito.
- **Descarga Atmosférica:** Esta se presenta cuando se forman grandes concentraciones de carga eléctrica en las capas de la atmósfera inmediatamente inferiores a la estratósfera.
- **Descargas Electrostáticas:** La Descarga Electrostática (conocida por las siglas en inglés **ESD**, que significan **electrostatic discharge**) es un fenómeno electrostático que hace que circule una corriente eléctrica repentina y momentáneamente entre dos objetos de distinto potencial eléctrico; como la que circula por un pararrayos tras ser alcanzado por un rayo.
- **Diferencia de Potencial:** La Tensión Eléctrica o Diferencia de Potencial (también denominada Voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Si dos puntos que tienen una diferencia de potencial se unen mediante un conductor se producirá un flujo de electrones.
- **Electrodo de Puesta a Tierra:** Conductor o grupo de conductores enterrados que permiten establecer una conexión eléctrica con el suelo o terreno. Puede ser una varilla, un tubo, una placa o un cable, resistentes a la humedad y a la acción química.
- **Electromagnetismo:** Es la rama de la física que estudia y unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría y describe la interacción de partículas cargadas con campos eléctricos y magnéticos.
- **Equipotencialidad:** Principio que debe ser aplicado ampliamente en Sistemas de Puesta a Tierra. Indica que todos los puntos deben estar aproximadamente al mismo potencial.

- **Falla:** Degradación de componentes. Alteración intencional o fortuita de la capacidad de un sistema.
- **Fase a Tierra:** Designación de un conductor o grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va estar energizado durante el servicio normal.
- **Fuente de Energía:** Todo equipo o sistema que suministre energía eléctrica.
- **IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional, también conocida por su sigla en inglés IEC, es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.
- **IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la normalización y el desarrollo en áreas técnicas.
- **Instalación Eléctrica:** Conjunto de aparatos y circuitos eléctricos y circuitos asociados, previstos para un fin particular: Generación, transmisión, transformación, rectificación, conversión, distribución o utilización de la energía eléctrica.
- **Media Tensión:** Es el término que se usa para referirse a instalaciones eléctricas con tensión nominal de entre 1 *kV* y 36 *kV*.
- **Neutro Flotante:** Se le llama así al neutro de una instalación que no se conecta a tierra. Dependiendo de las condiciones de operación puede existir una diferencia de potencial entre este neutro y tierra.
- **Neutro Conectado Sólidamente a Tierra:** Este tipo de conexiones se utiliza generalmente en instalaciones de baja tensión para proteger a las personas contra el peligro de electrocución. En el caso que se presente una falla de aislamiento entre un conductor energizado y una parte metálica.
- **Potencial Eléctrico:** Es la diferencia de carga eléctrica entre un punto y alguna superficie equipotencial, que generalmente es la superficie del suelo, la cual es seleccionada arbitrariamente como de potencial cero o tierra remota. Un punto, el cual tiene un potencial más alto que el cero, se llama Potencial Positivo y en caso contrario, Potencial Negativo.

- **Protección Catódica:** Es una técnica para controlar la corrosión galvánica de una superficie de metal convirtiéndola en el cátodo de una celda electroquímica.
- **Protecciones Eléctricas:** Son los dispositivos eléctricos que brindan seguridad en sistemas de potencia que son utilizados para evitar la destrucción de equipos o instalaciones, a causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse sin control en forma encadenada.
- **Puesta Tierra:** Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.
- **Puesta a Tierra:** (Grounded) Aplica a todo equipo o parte de una instalación eléctrica (neutro, centro de estrella de transformadores o generadores, carcazas, incluso una fase para sistemas en delta, entre otros), que posee una conexión intencional o accidental con un elemento considerado como Puesta a Tierra.
- **Resistencia del Suelo:** Se define como aquella que se opone al paso de la corriente eléctrica.
- **Resistencia Mutua de Electroodos:** Fenómeno resistivo que aparece entre electrodos de Puesta a Tierra o puntos próximos en el suelo, mediante el cual, la corriente que se dispersa a través de uno de ellos, modifica el potencial del otro. Su unidad es el (OHM).
- **Resistividad del Terreno:** Es la propiedad que posee cualquier material, de oponerse a que la corriente eléctrica viaje a través de ella. Numéricamente, es la resistencia ofrecida por un cubo de $1m \times 1m \times 1m$, medida entre dos caras opuestas. Se da en ohmio ($\Omega.m$). Es conocida como resistividad aparente.

- **Sistema Puesta a Tierra:** Conjunto de elementos conductores de un Sistema Eléctrico específico, sin dispositivos de interrupción, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la Puesta a Tierra y la Red Equipotencial.
- **Sobretensiones Internas:** Son sobretensiones que presentan fallas en la red eléctrica. Estas pueden ser producidas por diferentes factores y pueden mostrarse en diversos lugares de la misma red. La falla más común en los Sistemas de Potencia es el cortocircuito monofásico, es decir, una falla entre fase y tierra.
- **Subestación Eléctrica:** Es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador.
- **Suelo:** Sistema natural, resultado de procesos físicos, químicos y biológicos, con componentes minerales y sólidos inertes que le dan estabilidad, en conjunto con líquidos y gases que definen su comportamiento eléctrico.
- **Telurómetro:** Equipo diseñado para medición de resistividad y resistencia de Sistemas de Puesta a Tierra. Sus principales características son: Frecuencia, alarma, detección de corrientes espurias, escala y margen de error.
- **Tierra:** Conexión conductora intencionada o accidental entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.
- **Tierra Remota:** Es el lugar o la zona de mínima resistencia, más próxima del suelo subyacente a una instalación eléctrica o a una Puesta a Tierra. Se asume que su potencial es cero. También es denominada Tierra de Referencia.
- **Valor Resistivo:** El valor resistivo se mide en ohm (Ω).
- **Varilla de Acero recubierto con cobre:** La varilla está constituida por un núcleo de acero y un recubrimiento de cobre aplicado mediante un proceso electrolítico, garantizando así una unión a nivel molecular que asegura el buen desempeño de la misma, durante su vida útil.

5.2.2 Abreviaturas

- AWG:** American Wire Gauge (Calibre de Alambre Estados Unidos)
- BPT:** Barrajes Principales.
- BST:** Barrajes Secundarios.
- CIEN:** Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua.
- CP:** Protección Catódica.
- DPS:** Dispositivo de Protección contra Sobretensiones Eléctricas.
- ESD:** Electrostatic Discharge. (Descarga Electrostática).
- IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional. (Comisión Internacional de Electrotecnia)
- IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos Asociación.
- KCMIL:** Mil Circular Mil.
- KV:** kilovoltios.
- MT:** Media Tensión.
- NEC:** National Electrical Code. (Código Eléctrico Nacional)
- NFPA:** National Fire Protection Association. (Asociación Nacional de Protección contra Incendios)
- NOM:** Normas Oficiales Mexicanas.
- OHM:** Unidad de Resistencia Eléctrica.
- SAI:** Sistema de Alimentación Ininterrumpida.
- SPT:** Sistema Puesta a Tierra.
- TVSS:** Supresores de Sobretensiones Transitorias.
- UPS:** Sistema Ininterrumpible de Energía.
- VAC:** Voltaje de Corriente Alterna.

Capítulo III

5.3 Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra en las Instalaciones Eléctricas

➤ **Puesta a Tierra para Sistemas Eléctricos:**

Los Sistemas Eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas. Este tipo de conexión se denominará Tierra de Servicio.

Se conectarán a tierra los elementos de la instalación necesarios como: Los neutros de los transformadores, (que se precisan en redes con neutro a tierra de forma directa o a través de resistencias o bobinas), otros equipos que lo requieran y los circuitos de baja tensión de transformadores de medida, los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de los Sistemas de Puesta a Tierra, los limitadores, descargadores, auto válvulas, pararrayos.

➤ **Puesta a Tierra de los Equipos Eléctricos:**

La función de este tipo de Puesta a Tierra es eliminar los potenciales de toque, que pueden poner en riesgo, tanto a aparatos eléctricos como a los usuarios, de forma que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos utilizados para conectar a tierra todos los elementos de la instalación, que en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra, a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos.

➤ **Puesta a Tierra a Señales Electrónicas:**

Utilizadas para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero o a tierra.

➤ **Puesta a Tierra Protección Electrónica:**

Se utilizan para proteger a los semiconductores en casos de sobrevoltajes en dispositivos electrónicos. Los Sistemas de Puesta a Tierra de los equipos electrónicos y de control, constan de una serie de electrodos instalados remotamente al edificio.

➤ **Puesta a Tierra Protección Atmosférica:**

Utilizados para drenar a la tierra las corrientes que se producen por descargas atmosféricas, como rayos, sin que eso conlleve el daño de materiales o seres vivos.

➤ **Puesta a Tierra de Protección Electrostática:**

Sirve para neutralizar las cargas electroestáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero. Cada sistema de tierra debe cerrar únicamente el Circuito Eléctrico que le corresponde.

Capítulo IV

5.4 Tipos de Suelos

El suelo se puede clasificar según su textura: fina o gruesa, y por su estructura: Floculada, agregada o dispersa, lo que define su porosidad que permite una mayor o menor circulación del agua.

Los suelos tienen diversas formas y características particulares, siendo las siguientes:

- Suelos Arcillosos: Retienen muy bien la humedad y disipan el calor.
- Suelos Pedregosos: No retienen el agua, son formados con rocas de diversos tamaños.
- Suelos Mixtos: Poseen características entre los arenosos y arcillosos mezclados. Un parámetro importante en el diseño de un Sistema de Puesta a Tierra es valorar la resistividad del terreno, definida como la capacidad del suelo para conducir corriente ante un campo eléctrico aplicado.

Los factores que influyen en la Resistividad del Terreno son muchos. Estos pueden ser arenosos, pantanosos y calizos.

5.4.1 Suelos Arenosos

Están compuestos por minúsculas partículas de piedra de 0.05 a 2 milímetros de diámetro y no retienen la humedad.

Características de los Suelos Arenosos

Este es el tipo más ligero de todos los suelos debido a su textura leve y de granos. Es propenso a la erosión por el agua y el viento, si no existen plantas en él, es debido a su gran contenido de arena es el más poroso de todos los tipos de suelo. Frecuentemente, presenta necesidad de agua por la velocidad con que se seca.



Figura No. 2 Suelo Arenoso

5.4.2 Suelos Pantanosos

Son suelos que se forman en zonas generalmente cubiertas por agua.

Características de los Suelos Pantanosos

Se caracterizan por ser suelos que rodean los lagos, pantanos o los inundados por marismas. Este tipo de suelo tiene muy poca riqueza mineral y un nivel de acidez muy elevado. El color de este tipo de suelo es negro.



Figura No. 3 Tipo de Suelo Pantanoso

5.4.3 Suelos Calizos

Son aquellos con un alto contenido de carbonato de calcio. Son suelos minerales cuya formación ha estado condicionada por el clima.

Clasificación de los Suelos Calizos

Se clasifican como calcisoles y se caracterizan por la acumulación secundaria de carbonatos y alto contenido de limo. La presencia de elevados niveles de carbonato de calcio determina un **pH** básico.



Figura No. 4 Tipo de Suelo Calizo

5.4.4 Estratigrafía de los Suelos

La Estratigrafía es la rama de la Geología que estudia e identifica las rocas estratificadas, tanto vertical como horizontalmente.

En la Estratigrafía se describen las diferentes capas no homogéneas de los suelos.

La primera capa es muy afectada por el clima. ¿Qué quiere decir eso?

No todo terreno es un terreno homogéneo.



Figura No. 5 Estratigrafía de los Suelos

5.4.5 Granulometría de los Suelos

La Granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca.

Los especialistas en suelos plantean, que a mayor tamaño de granos, mayor Resistividad, debido a los espacios de aire que quedan sin cubrir en el terreno. Al haber un menor contacto entre los granos de tierra resulta una menor continuidad eléctrica, esto quiere decir que se presenta un aumento significativo de la resistencia del suelo.



Figura No. 6 Granulometría de los Suelos

5.4.6 Suelos Salinos

La Salinidad en los suelos es la contaminación por Sales Solubles.

Las sales más comunes son: Iones de cloro, sulfato, nitrato, bicarbonato, cationes de sodio, calcio, potasio y magnesio.



Figura No. 7 Suelo Salino

Aunque los factores indicados anteriormente son datos muy olvidados, deben valorarse a la hora de diseñar Sistemas de Puesta a Tierra. Es conveniente tener un suelo salino, pero con bajo nivel de ácidos. La salinidad del terreno es importantísima, por ser un elemento que favorece a la conducción electrolítica de la corriente alterna.

Es recomendable conocer los valores de Potencia de Hidrógeno (**pH**) en el suelo, donde se pretende instalar el Sistema de Puesta a Tierra, esto evitará que se expongan los electrodos y conductores a una corrosión excesiva. Una vez obtenida la información, se puede seleccionar el tipo de material de los electrodos y conductores a utilizar.

5.4.7 Elementos para Medición de los Suelos

5.4.7.1 Higrometría

El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y nivel freático. Como ejemplo, la resistividad

del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso del suelo. La resistividad es poco afectada cuando el contenido de humedad es superior a aproximadamente 22%, como indica *IEEE* – 142.



Figura No. 8 Higrometría de los Suelos

5.4.7.2 Temperatura del Suelo

La Temperatura es una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Este factor influye sobre la velocidad del movimiento de los iones. Una temperatura elevada (cerca de los 100°C) provoca evaporación, disminuye la humedad del suelo y aumenta la resistividad, por otro lado, es un hecho que a valores de temperaturas menores a 0°C también se presenta un aumento de la resistividad del suelo.



Figura No. 9 Medición de Temperatura del Suelo

5.4.7.3 Compacidad

La Compacidad establece una relación entre el volumen total del cuerpo y el volumen del sólido. Varía según el tamaño y forma de los elementos granulares y su grado de compactación, por lo tanto, podemos decir que es la cantidad de materia sin huecos o sin poros. Siendo la reducción de los espacios de aire, a través de la compactación del terreno. Una adecuada compactación del suelo garantiza obtener un valor bajo de resistencia del sistema.



Figura No. 10 Compacidad del Suelo

5.4.8 Tipos de Rangos de pH del Suelo

Normalmente, cuando un suelo es de baja resistividad puede ser muy corrosivo. Se debe evaluar los parámetros críticos y se logra conocer la agresividad de los suelos de una forma más detallada. El agua es una sustancia neutra a 25° C y el **pH** de la neutralidad es 7, pero a otras temperaturas, la neutralidad se presenta a valores del **pH** diferente de 7. Por debajo del valor anterior es ácido y por arriba es alcalino. El **pH** de los dos mejoradores de suelo (GEM) que utilizaremos es neutro 7, esto quiere decir que no permitirá la corrosión del sistema, debido a los componentes del cemento Portland.

En el caso del cobre, su capa protectora de óxido es dura y no necesita renovarse, porque resiste el ataque corrosivo de las sales comunes del suelo. De ese modo, la corrosión denominada electrogenética o galvánica puede ocurrir formando celdas:

- **Galvánicas:** En presencia de metales no similares en un mismo electrólito.
- **Electrolíticas:** En un mismo metal inmerso en diferentes electrólitos.
- **De concentración:** En un mismo metal inmerso en diferentes concentraciones de un mismo electrólito.

Capítulo V

5.5 Resistencia y Resistividad de la Tierra

El valor de la Resistencia del sistema depende de la Resistividad del terreno, de las características físicas del electrodo, como también de la longitud y área de los conductores. Esta se mide en Ω .

La Resistividad de la Tierra es mayor que los tres componentes mencionados, que forman la resistencia de una conexión a tierra. Esta se mide en $\Omega.m$.

El valor de la resistividad del suelo se maneja generalmente de **0 a 500 $\Omega.m$** .

5.5.1 Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra

En cumplimiento a lo establecido en el Reglamento Internacional de Instalaciones Eléctricas, expresamos lo siguiente:

- Puesta a Tierra para Sistemas Eléctricos en baja tensión debe de ser $< 25 \Omega$.
- Puesta a Tierra para Sistemas Electrónicos sensibles debe de ser $< 5 \Omega$.
- Puesta a Tierra de protección atmosférica debe de ser $< 10 \Omega$.

Puesto que la principal función de las Puestas a Tierra es garantizar la seguridad de las personas, en todo diseño se fijará una resistencia objetivo.

El **Artículo 250 – 84** del *CIEN* y el **Artículo 250 – 56** del *NEC*, nos indica que un Sistema Puesta a Tierra, debe tener una resistencia de contacto del electrodo con el suelo menor o igual a 25Ω .

5.5.2 Resistividad de la Tierra

La Resistividad es un parámetro básico para medir la propiedad conductiva de los materiales.

La Resistividad del Suelo o terreno representa la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, o de un estrato de suelo; se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo; su magnitud se expresa en ($\Omega.m$)

La Resistividad Aparente (ρ_a) es la que se obtiene a través de una medición directa en el suelo natural, ($\Omega.m$)

El sondeo eléctrico, promedia los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que estos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" o "Resistividad del Terreno".

En la **NOM – 022 – STPS – 1999** se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado. De acuerdo con la **NOM – 008 – SCFI – 1993** , su representación dimensional debe estar expresada en $\Omega m - m$, cuya acepción es utilizada internacionalmente.

El factor más importante de la Resistencia a Tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es menester conocerla para calcular y diseñar el Sistema Puesta a Tierra.

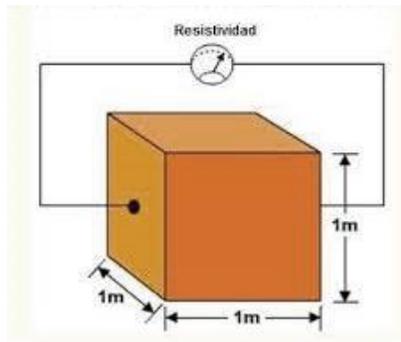


Figura No. 11 Resistividad de un Cubo de Terreno de 1m de Arista

Composición de la Corteza Terrestre

Es útil conocer las características de la corteza terrestre o Litósfera, ya que todas las puestas a tierra se hacen en su parte superior denominada Pedosfera.

Radiación de Corriente en un Electrodo

Un electrodo de Puesta a Tierra que sea enterrado con una resistividad uniforme, radiará corriente en todas las direcciones. Alrededor de un electrodo se tienen líneas de tierra, todas son iguales en espesor.

Las líneas más cercanas al electrodo de Puesta a Tierra naturalmente tienen una superficie más pequeña y así presentan la resistencia más alta. Las líneas de tierra siguientes son más grandes en área y presentan menor resistencia.

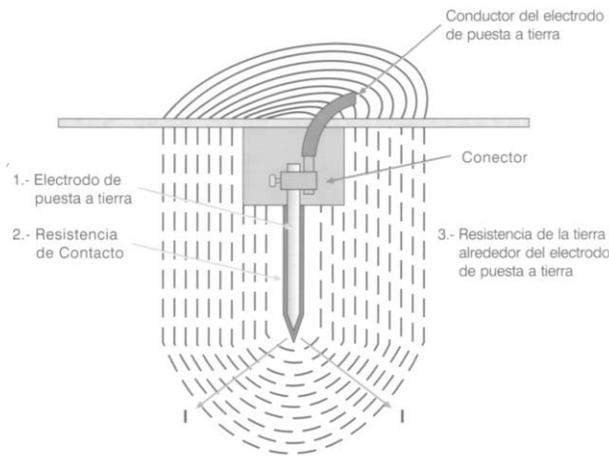


Figura No. 12 Componentes del Electrodo de Puesta a Tierra

5.5.3 Medición de la Resistividad del Suelo

La Resistividad del terreno se mide, fundamentalmente, con el objetivo de encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos, también para hallar los puntos óptimos y así localizar la red de tierras de una subestación, sistema electrónico, planta generadora o transmisora de radiofrecuencia. Asimismo, puede ser empleada para indicar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

Lo establecido en las normativas vigente para la protección de los sistemas eléctricos, es que la Resistencia de Puesta a Tierra y la Resistividad del Suelo sean medidos con un instrumento de medición llamado Telurómetro. Existen otros métodos que no están bajo normativa, estos también serán descritos en este apartado:

- Medición con el Conocimiento Científico (Método de Wenner con Telurómetro de tres y cuatro picas) y método de medición con Pinza Telurómetro (sin picas). Método recomendado.
- Medición Convencional realizado con fuente de 24 *VD*, multímetro, amperímetro con lectura digital y picas. Para solventar cuando no se tenga a mano un Telurómetro. Método recomendado.
- Medición aplicando el Conocimiento Empírico, realizada con fuente de 120 *VAC*, bujía 100 W – 120 *VAC* con filamento de tungsteno, multímetro, amperímetro y pica auxiliar. Método de medición empírico no recomendado,

representa peligro si no se tiene cuidado en la manipulación del sistema eléctrico.

Los telurómetros, multímetros y amperímetros, del tipo digital y analógico deben ser certificados, varían en tamaño, precisión y precio. Para esta finalidad se recomienda usar del tipo digital y que se puedan calibrar, para brindar confianza al cliente.



Figura No. 13 Tipos de Telurómetros y Medición Convencional

5.5.3.1 Métodos de Medición de Resistividad

Métodos de Medición Bajo Normativa

IEEE – 81

NMX – J – 549

IEEE Std 1100 – 1999.

Estas normativas presentan las prácticas recomendadas de diseño, instalación y mantenimiento para la alimentación eléctrica y la conexión a tierra, incluido el control de ruido relacionado con la alimentación y la señal de equipos de procesamiento electrónico sensibles utilizados en aplicaciones comerciales e industriales.

Se presentan los métodos de medición utilizando Telurómetros con picas o sin picas, recomendados por las normas antes descritas:

Método de los Tres Puntos (WENNER)

Este método proporciona información útil sobre la naturaleza del suelo adyacente al electrodo (cinco a diez veces la longitud del electrodo), la distancia entre picas del Telurómetro depende del tipo de configuración de SPT a medir.

En la medición se debe valorar las siguientes consideraciones para el espacio de separación entre el sistema en prueba y la pica de corriente CP del Telurómetro:

- Si el SPT es de una varilla se multiplica la longitud de la varilla por 5 o 6 veces.

- Si el SPT es de dos o tres varillas en línea recta se multiplica la longitud de la varilla por 5 o 6 veces.
- Si el SPT es Triangular se multiplica la altura del triángulo por 5 o 6 veces.
- Si el SPT es en Malla se multiplica la Diagonal de la malla por 5 o 6 veces.

Para realizar la medición de resistividad del suelo se recomienda clavar la pica de corriente del Telurómetro a una distancia “D”, donde D es la distancia entre el electrodo en prueba y la pica de corriente >15m y la pica de potencial se clava a una distancia igual al 62% de “D”.

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_r} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{b} \right) - 1 \right] = \longrightarrow \rho = \frac{2 \cdot R \cdot \pi \cdot L_r}{\left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{b} \right) - 1 \right]} = 17.88 \Omega \cdot m$$

$R = Resistencia \text{ en } (7.22 \Omega)$

$\rho = Resistividad \text{ en } (\Omega \cdot m)$

$\ln = Logaritmo \text{ natural}$

$\pi = 3.1416$

$L_r = Longitud \text{ de varilla de prueba es } (2.4 \text{ m})$

$b = radio \text{ de la varilla es } (0.008 \text{ m})$

Para obtener la distancia donde se pondrá la pica PP (62%) se hace lo siguiente:

El valor de longitud 25 m que comprende la distancia entre las picas CP”D” es multiplicado por el 62%.

Ejemplo en la primera medición:

$$PP = 25 \text{ m} \times 0.62 = 15.5 \text{ m}$$

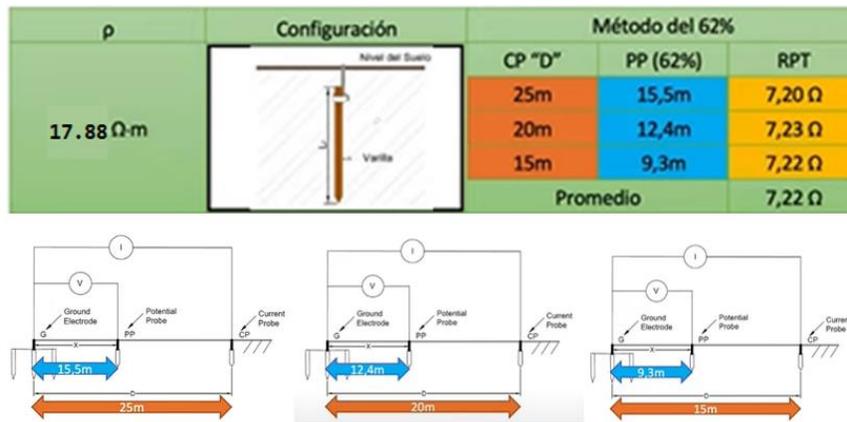


Figura No. 14 Método de Medición de los Tres Puntos con Telurómetro

Método de Medición de Resistividad de los Cuatro Puntos (WENNER)

En la *Norma IEEE 81 – 1983* se describen en detalle una serie de técnicas o métodos de medición de Resistividad del Suelo, dentro de las cuales, el método de los cuatro electrodos (Wenner) es el método más usado. El número de lecturas debe ser mayor donde se presenten fuertes variaciones de resistividad, tanto verticales como horizontales.

La normativa *NMX – J – 549* recomienda usar el método de los cuatro electrodos (dos picas de corriente y dos de potencial) o método de Wenner, el cual ha demostrado ser simple y efectivo, puesto que no necesita de electrodos de prueba (E) para la medición. La primera figura muestra la medición realizada con el Telurómetro, la segunda figura en radial muestra cómo hacer las mediciones de resistividad en áreas de terreno pequeño y la tercera figura en rectangular muestra como hacer las mediciones de resistividad en terrenos grandes.

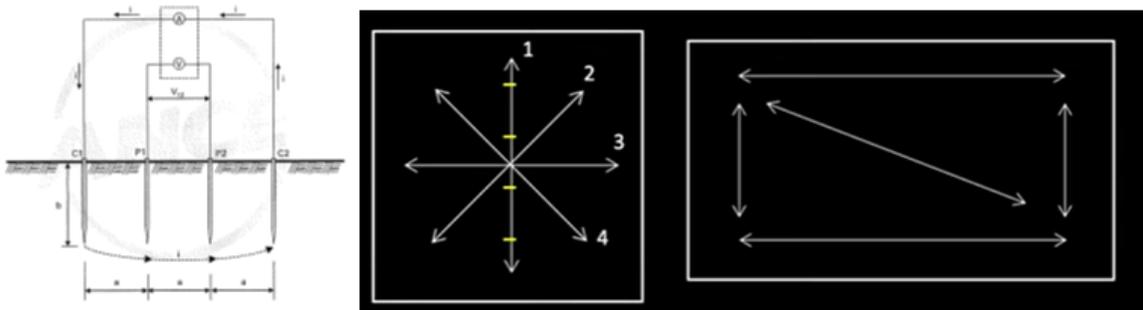


Figura No. 15 Método de los Cuatro Puntos o Método de Wenner

El valor máximo recomendado para la profundidad de los electrodos de prueba auxiliares (Picas) es del 10% de la distancia (**a**).

Para condiciones prácticas en las que se mantienen la desigualdad $b < a/20$ (la distancia entre electrodos auxiliares es mucho mayor que la profundidad de enterramiento). Esta normativa permite el uso de la ecuación simplificada:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$$

Se sugiere promediar cuatro mediciones y de esta forma tener un solo valor a una distancia entre electrodos, como se muestra en la siguiente tabla y ecuación:

| Longitud de separación entre Picas de Prueba | Profundidad de enterramiento de Picas de Prueba |
|--|---|
| 1 m | 30 cm |
| 2 m | 30 cm |
| 4 m | 30 cm |
| 6 m | 30 cm |

Tabla No. 2 Longitud de Separación y Profundidad de Enterramiento de Picas de Prueba

$$\rho_a = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4}{n} \qquad \rho_a = \frac{178.1 + 260.9 + 431.4 + 568.0}{4} = 359.6 \Omega \cdot m$$

ρ_a = Resistividad aparente en ($\Omega \cdot m$)

ρ_1 = Resistividad de la Primer Medición

ρ_2 = Resistividad de la Segunda Medición

ρ_3 = Resistividad de la Tercera Medición

ρ_4 = Resistividad de la Cuarta Medición

n = Número de mediciones

Telurómetro sugerido por la normativa NMX-J-549 ANCE 2005

El equipo calibrado para la medición de resistencia de tierra debe tener las características siguientes:

- Intervalo de frecuencia de **100 Hz a 200 Hz** o mayor.
- Posibilidad de proveer alta y baja corriente con valores de **9 mA a 250 mA**.

Método de medición con Pinza Telurómetro

El instrumento es conocido como medidor de la resistencia de lazo o de bucle.

Este tipo de pinza está compuesta de dos devanados, un devanado que induce voltaje a la varilla en prueba y un devanado que mide la corriente que es provocada por la tensión inducida en el electrodo. La pinza se debe colocar directamente en

el electrodo que se desea medir, no se recomienda hacer la medición en el cable de interconexión del electrodo con el sistema eléctrico.

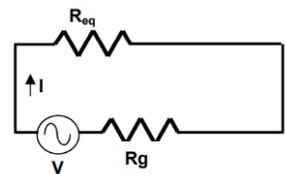
Se puede usar en sistemas de distribución o transmisión, en estos casos el neutro completa el retorno. Cuanto más retorno, menor es la contribución de elementos extraños a la lectura, por ende, se consigue una mayor precisión en la medición. Si los retornos del sistema son pocos, se presentará una alta resistencia, este método de medición no se puede usar en lugares aislados donde no hay rutas de retorno, no es aplicable en comprobación de nuevas instalaciones donde no esta energizado el sistema eléctrico.

Ejemplo de Cálculo

Sistema de Distribución con Tierras Múltiples Típico

Si R_g , y $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ son aproximadamente iguales, y n es grande (200, por ejemplo), luego R_{eq} será mucho menor que R_g y puede posiblemente aproximarse a cero.

Si R_g , y $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ son todos de 10Ω respectivamente y $n = 200 \Omega$, luego R_{eq} por cálculo es igual a:



$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{10\Omega}} = 0.05 \Omega$$

$$R_g = R_{eq} + R_{tierras\ multiples} = 0.05 \Omega + 10 \Omega = 10.05 \Omega$$

La resistencia total medida y calculada es = 10.05Ω

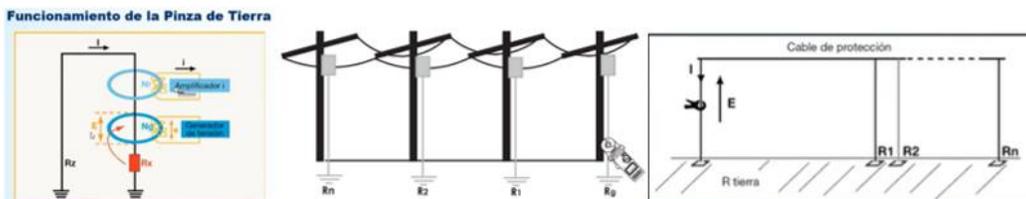


Figura No. 16 Método de Medición con Pinza Telurómetro

Método de Medición Convencional con Multímetro y Amperímetro

Se presentan el método de medición convencional, este método de medición debe realizarse de la misma manera que se hace con el Telurómetro con tres picas. Este método se realiza con una fuente de 24 VDC, voltímetro y amperímetro. Se valora mediante la ley de Ohm. La ley de Ohm se usa para determinar la relación entre tensión, corriente y resistencia en un circuito eléctrico.

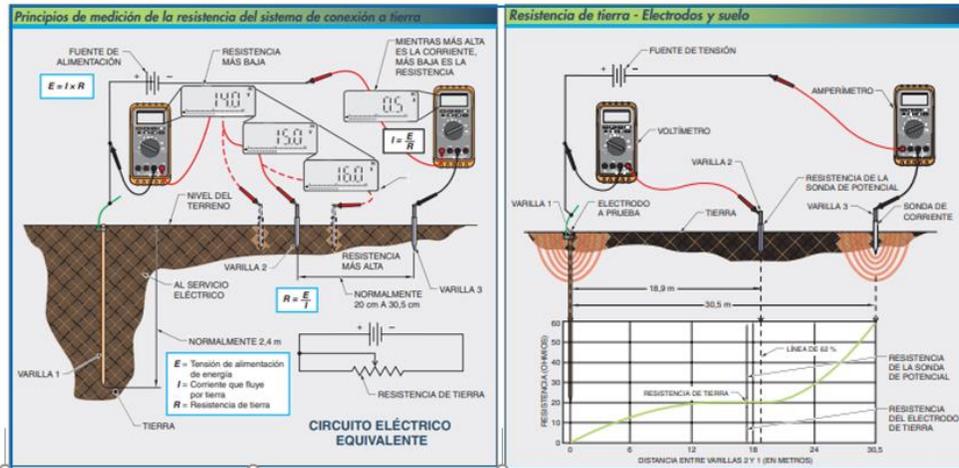


Figura No. 17 Método de Medición de los Tres Puntos con Voltímetro y Amperímetro

Método de Medición Empírico

El método de medición de un sistema de puesta a tierra con fuente de voltaje 120VAC se realiza con una bujía de filamento de tungsteno de 100 W – 120 VAC, multímetro, amperímetro y una pica auxiliar instalada a una distancia de separación de 20 m. Con respecto al electrodo en prueba. Se analiza mediante la ley de Ohm.

Procedimiento Empírico

Se conecta la línea viva de la fuente en un interruptor termomagnético de 1 x 15A en el circuito de prueba para garantizar la seguridad del técnico, se instala en serie una bujía incandescente de 120VAC – 100W con el amperímetro y el electrodo en prueba. El voltaje se mide entre el electrodo en prueba y la pica auxiliar. La resistencia medida del SPT en este caso es de 81.58Ω.

Datos.

Distancia entre el Electrodo en prueba y la pica auxiliar = 20 m

Resistencia de bujia de filamento de Tungsteno = 34.6 Ω

Amperaje medido en el sistema = 0.38 A

Voltaje medido en el sistema = 31 V

$$R = \frac{V}{I} \quad R = \frac{31 V}{0.38 A} = 81.58 \Omega$$

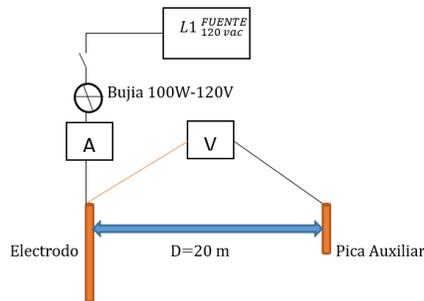


Figura No. 18 Método de Medición de SPT con Voltímetro, Amperímetro y Bujía

5.5.4 Perfil de Resistividad

Para obtener el Perfil de Resistividad en un punto dado se utiliza el Método de Wenner con espaciamientos entre electrodos de prueba cada vez mayores. Por lo general, para cada espaciamiento se toman dos lecturas de resistividad en direcciones perpendiculares entre sí.

La gráfica resultante de trazar el promedio de las mediciones de Resistividad (R) contra distancia entre electrodos (a) se denomina perfil de resistividad aparente del terreno. Esta es una gráfica del tipo ascendente, representa una capa superficial arcillosa y húmeda en la parte inferior izquierda y una capa inferior rocosa en la parte superior derecha.



Grafica No. 1 Perfil de Resistividad

Capítulo VI

5.6 Conductores Eléctricos de los Sistemas de Puesta a Tierra

Definición

El conductor de uso eléctrico se define como el material de baja resistencia y alta conductividad, es aquel que tiene la capacidad de conducir corriente eléctrica a través de él, de acuerdo a su ampacidad.

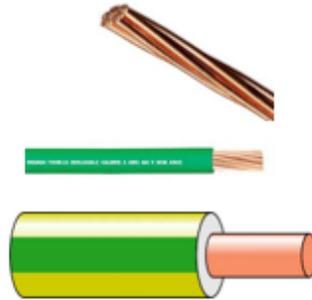


Figura No. 19 Conductores de Puesta a Tierra

Consideraciones de los Conductores Eléctricos

El tamaño del conductor realmente seleccionado para los SPT es generalmente más grande que el basado en la fusión debido a factores tales como:

- El conductor debe tener la resistencia necesaria para soportar cualquier abuso mecánico y corrosión esperada durante la vida de diseño de la instalación de SPT.
- El conductor deberá tener una conductividad suficientemente alta para evitar cualquier caída de voltaje peligrosa posible durante una falla, para la vida de la instalación del SPT.
- Se debe limitar la temperatura del conductor.
- Un factor de seguridad se debe aplicar al SPT como con otros componentes eléctricos.

Tipos de Material de los Conductores Eléctricos

Cobre

El conductor de cobre se usa en los SPT por su alta conductividad, tienen la ventaja de ser resistentes a la mayor parte de la corrosión subterránea por ser un material

catódico con respecto a la mayoría de los otros metales que pueden ser enterrados en las proximidades.

Acero

Conductor de Acero recubierto con cobre y acero chapado en cobre son materiales comunes utilizados para los SPT, especialmente donde el robo es un problema.

Aluminio

El conductor de aluminio rara vez ha sido utilizado en los SPT por su desventaja, este material se corroe rápidamente al enterrarse en el suelo, el aluminio es anódico a otros metales en la presencia de un electrolito, el aluminio se sacrificará para proteger el otro metal.

Conductor de Puesta a Tierra (*Grounding conductor*): Es utilizado para conectar el conductor Puesto a Tierra de una instalación eléctrica al electrodo o electrodos del Sistema Puesta a Tierra que garantizan su continuidad.

Las Tabla **250 – 94 del CIEN** indica la selección del calibre mínimo de los conductores de interconexión de SPT de acuerdo a la sección transversal del conductor alimentador del sistema eléctrico.

La tabla **250 – 95 del CIEN** indica la selección de conductores de protección para equipos, su selección se basa en la capacidad del interruptor termomagnético principal de cada equipo. En la práctica no siempre se cumple con en el uso de ambas tablas.

El Artículo 250 – 24 C) del CIEN

Nos indica que la sección transversal del conductor eléctrico que se une con un electrodo o varios electrodos de Puesta a Tierra, no debe ser inferior de lo especificado en la **Tabla 250 – 95**.

En el campo de trabajo de sistemas eléctricos en Nicaragua, los ingenieros acostumbran emplear como mínimo el conductor de cobre sin aislamiento calibre **2AWG** de siete hilos para realizar la unión de múltiples electrodos enterrados

en el suelo y que forman parte de un SPT, con el fin de mejorar la rigidez mecánica y disminuir la rapidez de la corrosión en el conductor. A continuación, presentamos dos ejemplos para la selección de conductores eléctricos a través de tablas:

Tabla 250 – 94. Para el uso de esta tabla se presenta el siguiente ejemplo de un sistema monofásico trifilar de una acometida donde el calibre de las fases es número **2 AWG** de cobre.

El calibre correspondiente del conductor de Puesta a Tierra es número **8 AWG** de cobre.

Las tablas muestran de una forma organizada la información compleja en los artículos que la requieran.

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

| Sección transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo | | Sección transversal (calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra | |
|--|------------------|---|-------------|
| Cobre | | Cobre | |
| mm ² | AWG o kcmil | mm ² | AWG o kcmil |
| 33,62 o menor | 2 o menor | 8,36 | 8 |

Figura No. 20 Selección de la Sección Transversal de los Conductores de Puesta a Tierra

Tabla 250 – 95. Para el uso de esta tabla se presenta el siguiente ejemplo de un sistema trifásico donde el interruptor principal es de **200A**.

El calibre correspondiente del conductor de Puesta a Tierra para el equipo es número **6 AWG** de cobre.

Grounded conductor

200

Grounding electrode conductor

PVC

6 AWG

All conductors not shown

Table 250.122 Minimum Size Equipment Grounding Conductors for Grounding Raceway and Equipment

| Rating or Setting of Automatic Overcurrent Device in Circuit Ahead of Equipment | Size in AWG or kcmil | |
|---|----------------------|----------------------------------|
| | Copper | Aluminum or Copper-Clad Aluminum |
| 15 amps | 14 | 12 |
| 20 amps | 12 | 10 |
| 60 amps | 10 | 8 |
| 100 amps | 8 | 6 |
| 200 amps | 6 | 4 |
| 300 amps | 4 | 2 |
| 400 amps | 3 | 1 |

Figura No. 21 Selección de la Sección del Conductor de Puesta a Tierra de acuerdo a la Capacidad del Dispositivo de Protección

Nota:

La selección del conductor del SPT que va enterrado se hace a través del cálculo basado en la fusión y criterio técnico, se evalúa con la tabla **Tabla 250 – 95** .

Código de colores de aislamiento de conductores permitidos en SPT.

En canalización:

- Línea Puesta a Tierra con aislante color verde.
- Línea Puesta a Tierra con aislante color verde con amarillo.

Enterrados directamente en el suelo:

- Línea Puesta a Tierra sin aislante.

5.6.1 Selección de Conductores a través del Cálculo

Métodos de selección del conductor a través del cálculo. Antes de realizar el cálculo de selección de conductores referido por **IEEE. 80** se debe hacer el cálculo de la máxima corriente de falla asimétrica (I_F). Esta se realiza multiplicando el factor de decremento (D_f) por la mayor corriente de la falla a tierra (I_f) mediante datos de Tabla 8 referida por **IEEE. 80** y la siguiente ecuación:

$$I_F = I_f \times D_f \quad 1000 \text{ A} \times 1.026 = \boxed{1,026 \text{ A}}$$

Abreviaturas:

- I_F Es la máxima corriente de falla asimétrica
- I_f Es la mayor corriente de falla a tierra = 1000 A
- D_f Es el factor de decremento de 1.026 indicado en $X/R = 10$
- $X/R = 10$ Es la relación de la reactancia a la resistencia con tiempo de falla
- $t_f = 0.5 \text{ s}$ tiempo utilizado para grandes subestaciones.

Para la implementación del Sistema de Puesta a Tierra se cuenta con conductor de cobre comercial, recocido suave, con conductividad del material de 100% y una temperatura de fusión de **1083 °C** según tabla 7 referida por **IEEE. 80** , a una temperatura ambiente (T_a) de **40 °C**.

El valor de la corriente obtenida en el cálculo de la máxima corriente de falla asimétrica (I_F) se utiliza para la determinación del mínimo diámetro de los conductores de Puesta a Tierra.

Existen otras fórmulas un poco más complejas que la que utilizaremos en nuestro ejemplo. Para este fin se valoró la fórmula simplificada para la selección del área del conductor en A_{Kcmil} , utilizando Tabla 9 propiedad de los conductores del *NEC*, Tabla 7 y Tabla 8 referidas por *IEEE. 80*.

$$A_{Kcmil} = I \times K_f \times \sqrt{t_c} \qquad 1,026 \times 7.0 \times \sqrt{3s} = \boxed{12,439.59A_{Kcmil}}$$

Abreviaturas:

- A_{Kcmil} Es el área del conductor en $kcmil$
- I Es la máxima corriente de falla asimétrica I_F en kA
- K_f Es el valor de la constante de diversos materiales
- $t_c = t_f$ Es la duración de la corriente de falla en S

Si por motivos de comprobación se requiere convertir el valor de A_{Kcmil} en A_{mm^2} solamente se debe dividir el valor del resultado del cálculo de A_{Kcmil} entre la constante **1,974** referida por *IEEE. 80*.

Ejemplo:

$$A_{mm^2} = \frac{A_{Kcmil}}{1,974} \qquad \frac{12,439.59}{1,974} = \boxed{6.30 \text{ mm}^2}$$

El valor de la sección transversal del conductor más proximo al indicado en la tabla 9: Propiedad de los conductores es el del conductor **8.367 mm^2** .

Ahora se procede a tomar el valor correspondiente de A_{Kcmil} en **Tabla 9**: Propiedad de los conductores, tomada del *NEC*. El valor de $12,439.59A_{Kcmil}$ se aproxima a un conductor $16,510A_{Kcmil}$ calibre **#8 AWG**. Basado en este cálculo, el conductor de

cobre calibre #8AWG podría ser usado para el SPT, pero no es recomendable enterrar ese calibre de conductor, debido a los requisitos de resistencia y robustez mecánica, establecido para los conductores de un SPT referido en la norma **NTC 2050** y **IEEE – 80**.

Un conductor de mayor sección transversal que el #8 AWG, como es el calibre #2 AWG elegido en esta metodología, generalmente es el conductor de sección transversal mínimo preferido para disipar las temperaturas ocasionadas por la corriente de falla.

Habiendo seleccionado el conductor de cobre calibre #2 AWG de $66,360 A_{Kcmil}$ podemos comprobar el valor de la corriente (I_F) que puede soportar este conductor en una duración de falla de $(t_c) = 3s$ referido en **IEEE – 80** para pequeñas subestaciones. El valor del resultado en el siguiente cálculo muestra que el conductor calibre #2 AWG que será utilizado en el Sistema de Puesta a Tierra soporta una corriente máxima de falla de $(I_F) = 5.47kA$. Este valor es superior a la corriente de falla $(I_F) = 1.026 kA$ que fue calculada anteriormente con un tiempo de duración de la falla de $(t_c) = 0.50s$, referido en **IEEE – 80**. La Norma Española **UNE 20460 – 5 – 54: 1990** indica que para el cálculo de selección del conductor de SPT en baja tensión, se debe usar un tiempo $(t_c) = 5s$. Esto significa que el valor de 3_s esta dentro del rango de lo establecido por **UNE**.

$$I_F = \frac{A_{Kcmil}}{(k_f \times \sqrt{t_c})} = \frac{66,360}{(7.0 \times \sqrt{3s})} = 5.47kA$$

Capitulo VII

5.7 Conexiones en Sistemas de Puesta a Tierra

El Artículo 250 – 113 del CIEN, brinda el siguiente lineamiento: Las conexiones son quizás los componentes más repetitivos en un Sistema Puesta a Tierra y normalmente no reciben mantenimiento ni son inspeccionadas; por tanto, deben hacerse, de tal manera, que no sufran daños en su función. Los conductores de Puesta a Tierra y los puentes de unión deben estar conectados por medio de soldadura exotérmica, de conectores mecánicos, conectores de presión,

abrazaderas u otros medios aprobados. No deben utilizarse dispositivos de conexión ni accesorios que dependan de soldaduras con estaño.

5.7.1 Conexión Exotérmica

ARTÍCULO 250 – 113 del CIEN

La soldadura exotérmica cuproaluminotérmica o soldadura de termita es quizás el sistema más fiable, pues evita discontinuidades por ser una unión a nivel molecular y presentar un alto punto de fusión. Consiste en una reacción química en la que se reduce óxido de cobre mediante aluminio en polvo, así al combinarse el aluminio con el oxígeno, se forma alúmina y se precipita cobre metálico en forma líquida debido al calor de la reacción. Se le llama exotérmica por el desprendimiento de calor. Se requieren 425°C para la pólvora y 800°C para la soldadura.

La siguiente figura, muestra los tipos más comunes de conexión con soldadura exotérmica.

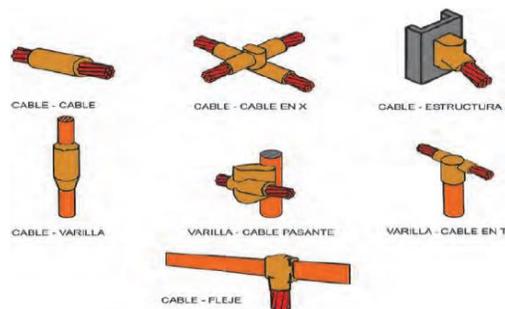


Figura No. 22 Tipos Soldadura Exotérmica

Preparación de Conductores de Cobre

- Retirar una parte del encauchetado en cables aislados (aproximadamente 3 cm).
- Limpiar y secar al máximo las partes que van a soldarse, con cepillo y tela limpia.
- Si hay presencia de grasa, retirar completamente con un solvente.
- Si las condiciones ambientales son de elevada humedad relativa, secar el molde con un soplete, antes de la primera conexión.

Preparación de Conductores de Acero

- Limpiar y secar las superficies al máximo.
- Retirar toda presencia de óxido, limpiando hasta que el metal adquiera brillo.
- Remover el óxido de superficies galvanizadas.
- Retirar toda pintura de la zona a soldar.

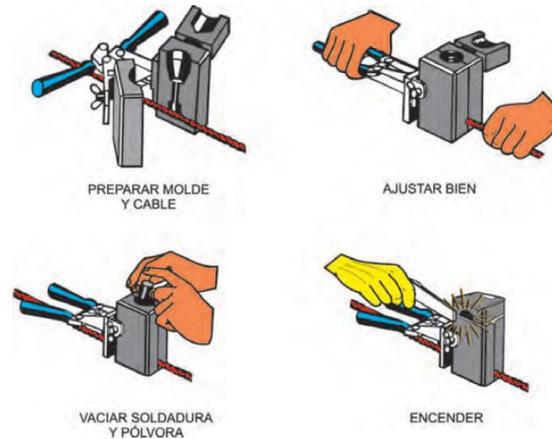


Figura No. 23 Soldadura Exotérmica

5.7.2 Conexiones Mecánicas

ARTÍCULO 250 – 113 del CIEN

Los Conectores Mecánicos son elementos que sirven para realizar unión eléctrica en un SPT, mediante un conductor cableado de acero-cobre o cobre y una varilla de Puesta a Tierra de cobre o acero cobre, nombre genérico (copperweld).

Al elaborar las conexiones de los SPT en la parte de enterramiento de estos, se debe tener el cuidado de no afectar los conectores por electrólisis y/o corrosión galvánica cuando se instale bajo las condiciones reales de servicio y esté expuesta a la humedad.

Este tipo de conector debe de ser certificado y debe garantizar una conexión eléctrica y mecánica en electrodos y conductores, la unión mecánica debe de ser rígida al aplicarse en los SPT.

Algunos de los conectores que actualmente están certificados, usan tecnología de compresión elástica. No sobra advertir que en el mercado se consiguen muchos

que no están certificados y qué prácticas como el empalme manual no son técnicamente adecuadas.

Las siguientes figuras muestran los tipos más comunes de conexión mecánica:

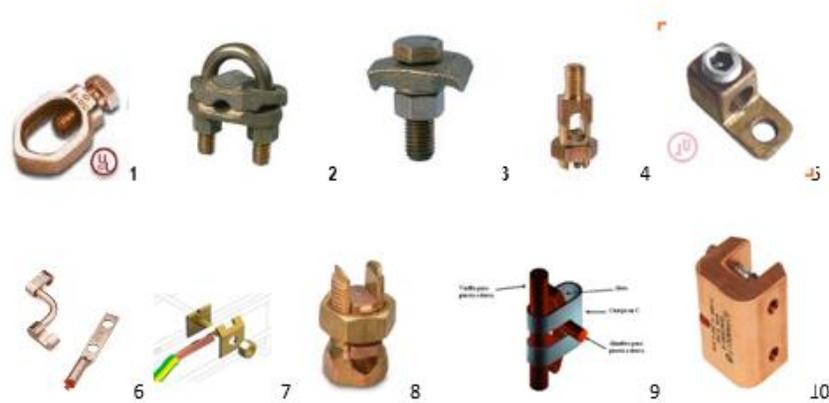


Figura No. 24 Tipos Comunes de Conexión Mecánica

1. Conector para electrodo Copperweld.
2. Abrazadera para varilla o tubos puesta a tierra.
3. Soporte de conexión a tierra en superficies planas.
4. Conector para poste de servicio.
5. Conector terminal tipo zapata con un ojillo.
6. Conectores de compresión.
7. Conector para rejilla.
8. Conector de perno dividido SKU.
9. Conector tipo cuña para unión de varillas y conductores.
10. Abrazadera universal de conexión a tierra para vigas.

Barrajes Equipotenciales

Un Barraje es una platina de acero o cobre electrolítico pretaladrada, con dimensiones y separación de pernos y huecos. Es de forma rectangular, sus dimensiones mínimas son: $A = 5 \text{ mm}$, $H = 50 \text{ mm}$, $L = 150 \text{ mm}$, se instala con sus soportes y aisladores sujetos con pernos.

Según su ubicación, se clasifican en Barrajes Principales (BPT) y Barrajes Secundarios (BST).

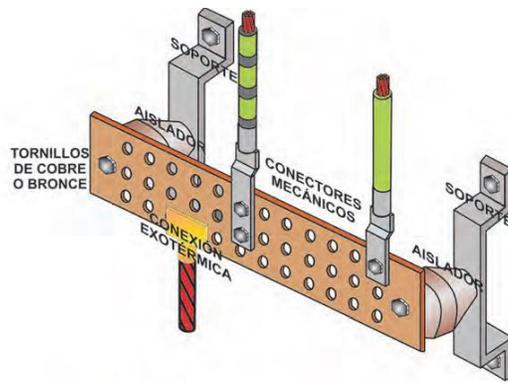


Figura No. 25 Barra Equipotencial

5.7.3 Interconexión de Puestas a Tierra

La Interconexión entre Sistema de Puesta a Tierra proporciona una ruta de la corriente de falla de conexión a tierra eficaz para garantizar que el sistema eléctrico esté a resguardo de descargas o incendios eléctricos potenciales.

La configuración de Sistemas de Puesta a Tierra Dedicadas e Interconectadas es óptima, porque reduce las diferencias de potencial entre partes de la misma instalación, baja la resistencia global. Es de mínimo costo y es la más simple. Es más fácil de prever su comportamiento eléctrico, requiere mínimo análisis de acoplamientos y aislamientos, distribuye mejor las corrientes de falla y sobre todo es más segura y confiable.

Las instalaciones de Sistemas de Puesta a Tierra que no son interconectadas al haber más de dos sistemas están prohibidas por presentar un grave peligro para las personas y bienes en general.

Las siguientes figuras muestran los tipos de conexión de SPT prohibidos y los que son aceptados por la *Norma IEC61000 – 5 – 2*.

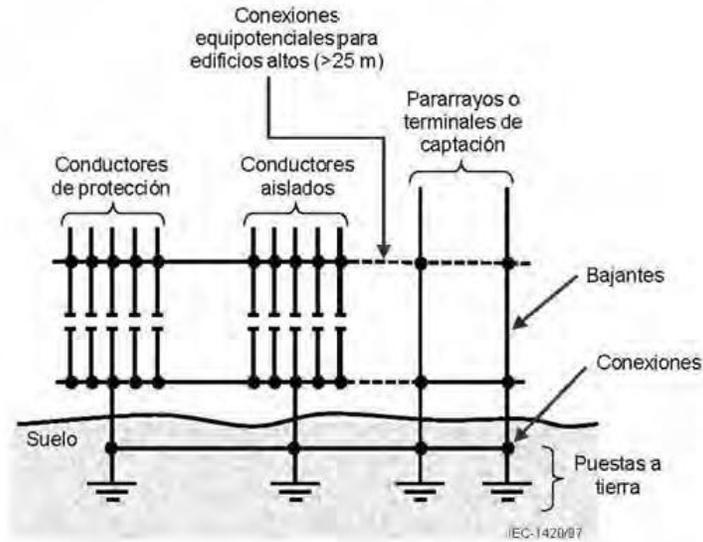


Figura No. 26 Sistema Puesta a Tierra Dedicadas e Interconectada Norma. IEC61000-5-2

5.7.4 Configuraciones Prohibidas

Igualmente, para un mismo edificio quedan expresamente prohibidos los Sistemas de Puesta a Tierra que aparecen en las siguientes Figuras, según criterio adoptado de la *IEC61000 – 5 – 2, Artículo 250 – 86 del CIEN*.

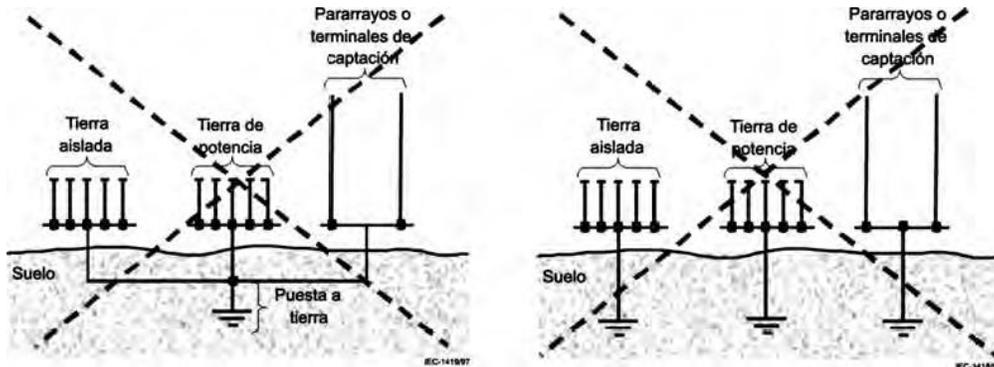


Figura No. 27 Un solo SPT para todas las Necesidades y SPT Separadas e Independientes

Capítulo VIII

5.8 Paneles Eléctricos e Instalación de Puesta a Tierra

Los Paneles Eléctricos Principales son el corazón del Sistema Eléctrico residencial, comercial e industrial y son conocidos por las siguientes definiciones: Centro de Cargas, Caja de Disyuntores Principal, Panel de Servicio Principal o Tableros de Distribución.

Subpaneles Eléctricos

Son conocidos como tableros terminales. Estos alimentan exclusivamente a los circuitos derivados, distribuyen energía a un área específica y son valorados como una carga del panel principal. Se agregan a un sistema eléctrico por cuatro razones comunes: espacio, comodidad, eficiencia y seguridad.

Los Paneles y sub paneles se utilizan para distribuir la electricidad de manera segura en todas las instalaciones eléctricas, Residencial, Comercial e Industrial. Es donde se instalan las protecciones (Breakers) de los circuitos eléctricos. El calibre mínimo del conductor de protección es el #8 AWG.

Las siguientes imágenes ilustran cómo debe hacerse la instalación de las líneas de protección en los paneles y subpaneles eléctricos de acuerdo a lo establecido en los siguientes artículos de normativas vigentes:

CIEN 250-23

NEC 250-28

NEC 250-32 (B) (1)

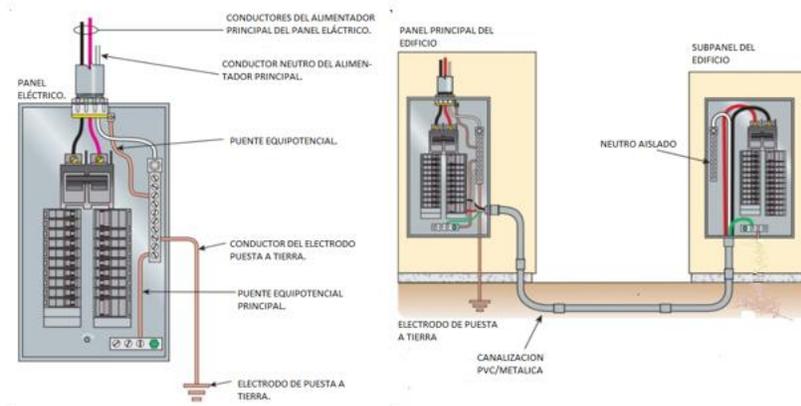


Figura No. 28 Instalación del SPT en Paneles Eléctricos

Capítulo IX

5.9 Dispositivo de Protección contra Sobretensiones Transitorias (DPS)

Para las Protecciones en los Sistemas Eléctricos y la calidad de la energía.

Ahora se hace necesario la instalación de los DPS como un suplemento de los SPT y deben instalarse de acuerdo a recomendaciones de los fabricantes.

El Artículo 285 – 1 del NEC, cubre los requisitos generales de instalación y conexión para los SPD (sobretensión pararrayos y supresores de sobretensiones transitorias TVSS) instalados permanentemente en los sistemas de cableado de las instalaciones 1 kV o menos.



Figura No. 29 Diferentes tipos y marcas de Supresores de Pico (DPS)

Modo de Operación de los DPS

- En modo común, entre fase y neutro o tierra.
- En modo diferencial, entre fase y neutro.

5.9.1 Origen Externo Transitorio

El 30% de las Sobretensiones Transitorias son de origen externos, debido a los siguientes fenómenos:

- Rayo.
- Maniobras en la Red de Suministro Eléctrico.
- Otros Consumidores.
- Forma de Onda Combinada:

5.9.2 Origen Interno de los Transitorios

El 70% de los transitorios son generados internamente en el sistema eléctrico por la corriente de arranque de equipos de aire acondicionado, computadoras,

fotocopiadoras, luminarias y motores. La corriente de pico no sólo daña los equipos eléctricos, también disminuye su tiempo de funcionamiento.

Artículo 285-23 (A), (B) del NEC indica los tipos de DPS instalados por zona.

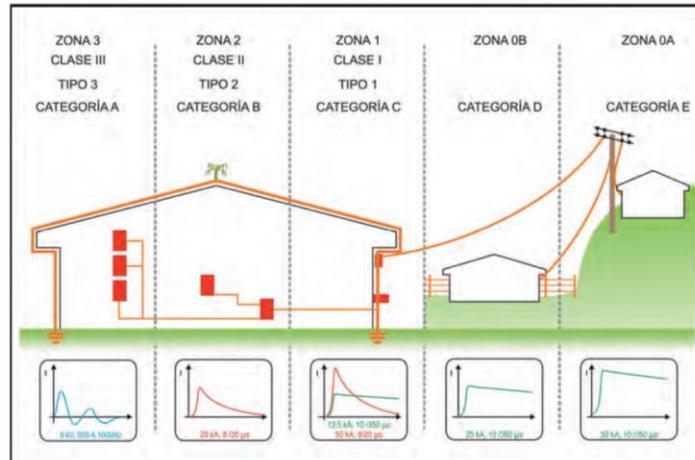


Figura No. 30 Indica la categoría y zonas de instalación de los DPS

5.9.3 DPS Tipo 1

Se recomienda en el caso específico de edificios industriales y del sector de servicios, protegidos por un sistema de protección contra rayos.

Se caracteriza por una onda de corriente de **10/ 350μs**.

5.9.4 DPS Tipo 2

Es el sistema de protección principal para todas las instalaciones eléctricas de baja tensión, instalado en cada cuadro eléctrico.

Se caracteriza por una onda de corriente de **8/20μs**.

5.9.5 DPS Tipo 3

Estos DPS tienen una baja capacidad de descarga, por lo tanto, deben instalarse obligatoriamente como un complemento del DPS tipo 2 y cerca de cargas sensibles.

Se caracteriza por una combinación de ondas de voltaje **1.2/50μs y 8/20μs**.

5.9.6 Apartarrayos

Artículo 280-1 del NEC

El Apartarrayos es un dispositivo protector para limitar el voltaje en el equipo mediante la descarga o la derivación de la corriente de sobrevoltajes. Evita que el

flujo continuo siga corriente a tierra y es capaz de repetir estas funciones según lo especificado por la norma ANSI C62.11.

El conductor de protección en Apartarrayos referido por Norma ENEL, es el de cobre desnudo, semiduro o sólido calibres # 4 AWG o 6 AWG.

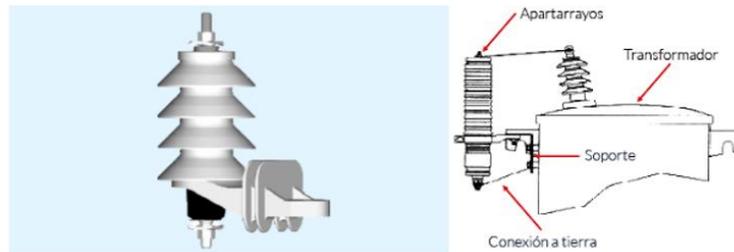


Figura No. 31 Descargador de Sobretensión (Apartarrayos)

Se fabrican diferentes tipos de Apartarrayos, basados en el principio general de operación, por ejemplo: Los más empleados son los conocidos como “Apartarrayos Tipo Autovalvular” y “Apartarrayos de Resistencia Variable”.

El **Apartarrayos Tipo Autovalvular** consiste en varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables, cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Se emplea en los sistemas que operan a grandes tensiones, ya que representa una gran seguridad de operación.

El **Apartarrayos de Resistencia Variable** funda su principio de operación en el principio general, es decir, con dos explosores y se conecta en serie a una resistencia variable. Se emplea en tensiones medianas y tiene mucha aceptación en el sistema de distribución.

Existen tablas suministradas por los fabricantes para la selección de los Apartarrayos, pero haremos referencia de un fragmento de la tabla de la *Norma ENEL 2014* de Nicaragua. Es importante saber de dónde salen esos valores de tabla para la selección de Apartarrayos.

| Código ENEL | Clasificación Voltaje en kV |
|-------------|-----------------------------|
| 555300-0019 | 10 kV |
| 555300-0035 | 18 kV |

Tabla No. 3 Valores establecidos para la selección de Apartarrayos

Selección de Apartarrayos a través de Cálculos

El valor nominal de un Apartarrayos (disipador de sobretensiones) no debe ser inferior al 125% del valor del nominal, lo explicaremos a través de cálculos.

Los siguientes ejemplos son para dos tipos de redes de Voltaje en media tensión 13.2 – 7.6kV y 24.9 – 14.4kV según Norma ENEL 2014.

Explicamos la selección de apartarrayos en el orden de los voltajes de red trifásica 13.2 kV y 24.9kV. En ambos casos se aplica la ecuación de voltaje de fase $V_F = V_{LL} / \sqrt{3}$ y después se multiplica el resultado del voltaje de fase por el factor de seguridad de 125%.

Cálculo para red trifásica de 13.2kV.

$$V_F = \frac{13.2kV}{\sqrt{3}} = 7.62kV$$

Ahora multiplicamos este valor por el factor de seguridad de 125%

$$7.62kV \times 1.25 = 9.53kV \approx \boxed{10kV}$$

Cálculo para red trifásica de 24.9kV.

$$V_F = \frac{24.9kV}{\sqrt{3}} = 14.4kV$$

Ahora multiplicamos este valor por el factor de seguridad de 125%

$$14.4kV \times 1.25 = \boxed{18kV}$$

Capítulo X

5.10 Definición de Transformador y Clasificación

El **Transformador** es una máquina estática (sin partes móviles) que permite elevar o disminuir el voltaje a través de un campo magnético, manteniendo una misma potencia. Se clasifican en: tipo seco y sumergidos en aceite. Su funcionamiento se basa en el principio de inducción electromagnética.



Figura No. 32 Transformadores Tipo Seco y Sumergido en Aceite

Los arreglos prácticos de SPT más utilizados en el campo de instalaciones eléctricas para aterrizar el neutro y la carcasa de los Transformadores dependen del espacio disponible y de las características eléctricas del suelo. Estos arreglos pueden ser de una o más varillas de Puesta a Tierra de acero galvanizado unidos entre sí con conductores de uso eléctrico, mecanismos o soldadura exotérmica.

5.10.1 Normativas para Instalación de Varilla en Sistemas Puesta a Tierra aplicados en Transformadores

En el Código del *CIEN en el Artículo 250 – 84 y el Artículo 250 – 56 del NEC* indican que un único electrodo que consista en una varilla y del que no se obtenga una resistencia a tierra menor de 25Ω , debe de incrementarse en él, el sistema mediante una o más varillas adicionales de cualquiera de los tipos de materiales autorizados por las normativas de instalaciones eléctricas.

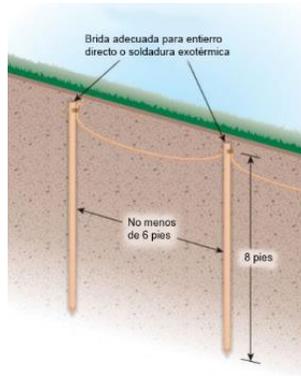


Figura No. 33 Valor Mínimo de la Distancia entre dos Varillas de SPT

Norma ENEL indica que el primer electrodo de un SPT debe tener una separación entre el poste de $24'' \approx 0.60 \text{ m}$ y que el electrodo debe de estar enterrado a una longitud de $12'' \approx 0.30 \text{ m}$ de la superficie del suelo.

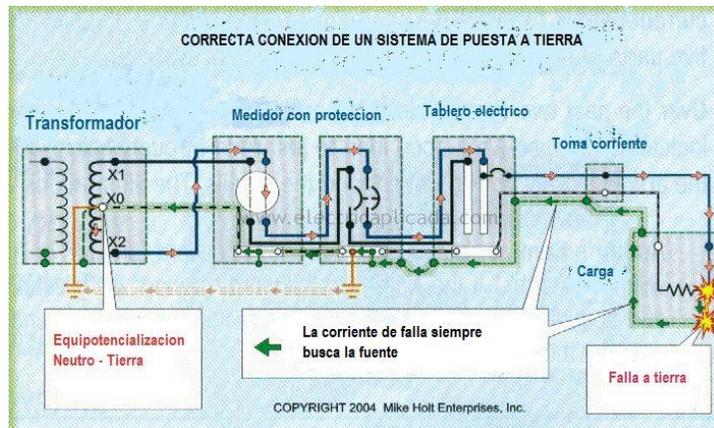


Figura No. 34 Instalación de Varilla del SPT en el Transformador y el Primer Desconectador

Norma proyecto Tipo DN-DS indica que el primer electrodo del SPT debe tener una separación entre el poste de 1 m y debe de estar enterrado a una longitud de 0.50 m de la superficie del suelo e indica que puede instalarse un SPT en anillo cerrado utilizando 04 varillas, conductores de uso eléctrico, conectores mecánicos y soldadura exotérmica.

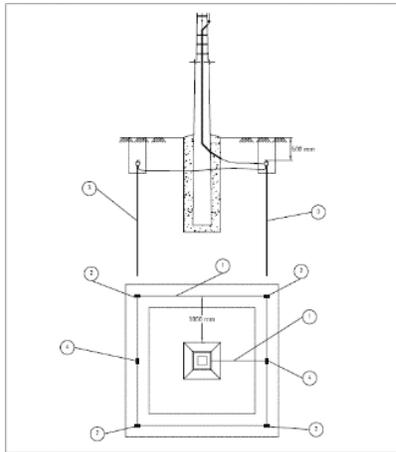


Figura No. 35 Sistema Puesta a Tierra en disposición de Anillo Cerrado

Norma Mexicana NMX – J – 549 indica que la primera varilla del SPT debe de instalarse a una distancia de 1 m (entre el límite de la estructura) y que esta varilla debe de estar enterrada a una longitud de **0.60 m** de la superficie del suelo.

Esta norma indica que la separación entre varillas debe hacerse a 2 veces la longitud de una de las varillas a instalar para obtener una mayor eficiencia.

El valor de resistencia a tierra que se recomienda utilizar es $\leq 10 \Omega$.

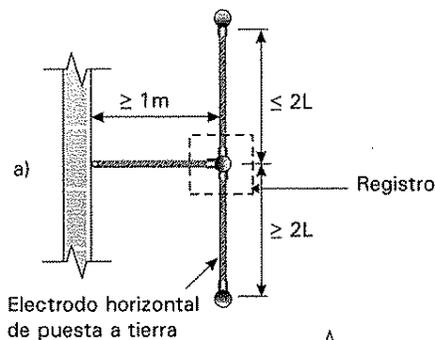


Figura No. 36 SPT en Disposición Lineal con tres Varillas y su Espaciamiento

Todas las normativas antes mencionadas indican que las dimensiones mínimas de las varillas de un SPT son de **5/8 in x 8ft** con una longitud de **2.4 m**. Estas varillas deben de enterrarse a una profundidad de **3 m**.

El calibre mínimo de conductores de cobre desnudo o acero galvanizado para el sistema de protección de transformadores es el **#2 AWG** y el espaciamiento mínimo entre varillas debe de ser de **1.8m**.

5.10.2 Sistema de Puesta a Tierra aplicado en Transformadores

Artículo 250-20 (A), (1)

Para la instalación de un Sistema de Puesta a Tierra en transformadores se requiere que el valor de la resistencia sea $\leq 10 \Omega$, Para los siguientes ejemplos de cálculo se valoró una resistividad del terreno de $50 \Omega \cdot m$. Al instalarse el SPT compuesto de una varilla se obtiene una resistencia de Puesta a Tierra de $20.19 \Omega \cdot m$, que es mayor que la resistencia del sistema. En este caso, se debe modificar el cálculo del sistema en disposición de dos varillas en Línea recta para obtener un valor de resistencia menor que 10Ω .

Cálculo de RPT con una Varilla.

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot Lr} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 \cdot x \cdot Lr}{b} \right) - 1 \right] = 20.19 \Omega$$

Datos:

Longitud de la Varilla = 2.4 m

Radio de la Varilla = 0.008 m

Resistividad del Terreno = $50 \Omega \cdot m$

Resistencia de la Puesta a Tierra = ?

R = Resistencia de contacto de la varilla.

ρ = Resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.

2 = Constante

π = PI

Lr = Longitud del electrodo en metros.

Ln = Logaritmo natural.

b = radio del electrodo en metros

Ω = Ohm

Cálculo de RPT con 2 (dos) Varillas en Disposición Lineal

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot d}{a'} \right) + 4 \cdot K_1 - K_2 \right] = 14.21 \Omega$$

$$R_2 = \frac{\rho}{4\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{8K_1 L_r}{d} (\sqrt{2} - 1)^2 \right] = 11.14 \Omega$$

$$R_m = R_1 - \frac{\rho}{\pi d} \left[\ln \left(\frac{L_r}{\sqrt{h \cdot 2 \cdot a}} \right) - 1 \right] = 6.44 \Omega$$

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 R_m} = \boxed{9.37 \Omega}$$

Datos:

$$\rho = 50 \Omega \cdot m$$

$$L_r = 2.4 m$$

$$d = 6.0 m$$

$$h = 0.30 m$$

$$b = 0.008 m$$

$$K_1 = 1.15$$

$$K_2 = 4.78$$

$$a = 0.003710 \quad \text{Conductor \#2AWG}$$

$$a' = 0.047180504448$$

Abreviaturas:

ρ = Rho, Resistividad del Terreno en ($\Omega \cdot m$)

L_r = Longitud de Varilla en (m)

R_1 = Resistencia del Conductor en (Ω)

R_2 = Resistencia de la Varilla en (Ω)

R_m = Resistencia mutua entre conductores y Varillas en (Ω)

R_g = Resistencia total del sistema de puesta a tierra en (Ω)

d = Distancia de separación entre dos varillas, $d > L_r$ en (m)

h = Profundidad de enterramiento del conductor en (m)

a = Radio del conductor en (m)

a' = Es (a) para el conductor en la superficie de la tierra

$a' = Es \sqrt{a \cdot 2 \cdot h}$ para conductores enterrados a una profundidad "h" en (m).

Capítulo XI

5.11 Sistema de Puesta a Tierra de Protección Atmosférica

Los siguientes artículos definen los niveles de protección contra rayos:

NMX-J-549 Cap. 5

IEC 62305-1

Las descargas atmosféricas (relámpagos y rayos) se definen como intensas descargas eléctricas que ocurren en la atmósfera. Este fenómeno es una consecuencia de la acumulación de cargas eléctricas opuestas entre las nubes, el suelo o el aire. El relámpago es el paso de carga eléctrica, positiva o negativa, de una región de una nube a otra. El rayo es el tránsito de nube a tierra o viceversa. Un rayo a cierta distancia (1 km a la redonda) del punto de caída también es valorado considerable.

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

- Antenas de captación (varillas para rayos) ubicadas sobre el techo y otras partes elevadas.
- Un sistema de electrodos para Puesta a Tierra.
- Un sistema de conductores que se conectan al sistema de electrodos (varillas de Puesta a Tierra).

En sitios donde existan terrenos de mayor resistencia, se utilizan dos o más varillas de Puesta a Tierra, espaciadas a una distancia no menor a 2 veces la longitud de la varilla 4.8 m(16 ft) y enterradas verticalmente a una profundidad no menor de 3 m(10ft) por debajo de la superficie del suelo.

El calibre mínimo del conductor desnudo (sin aislamiento) de unión entre electrodos de Puesta a Tierra es el #2 AWG, utilizado en la práctica. Aunque se incremente el costo de diseño, se recomienda utilizar conductor desnudo calibre #2/0 AWG de siete hilos referido por *IEEE – 80* para realizar la unión de múltiples electrodos enterrados en el suelo y que forman parte de un SPT, con el fin de mejorar la rigidez

mecánica, disminuir la rapidez de la corrosión en el conductor y prolongar su vida útil.

El valor de la resistencia del SPT debe ser \leq a 10Ω .

Se muestran tres arreglos prácticos para SPT que pueden utilizarse. Estos dependen del espacio disponible y de las características eléctricas del suelo.

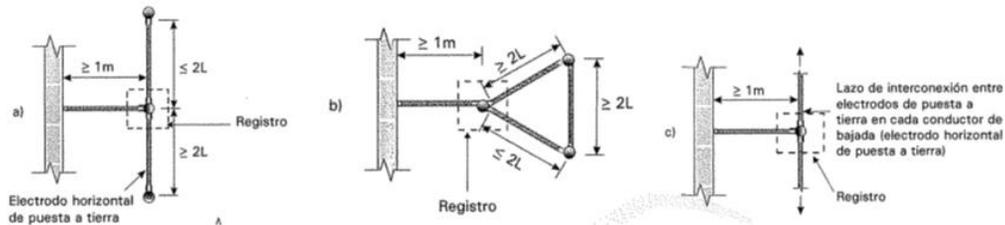


Figura No. 37 Arreglos Prácticos de Conductores de Sistema Puesta a Tierra

Nuestro sistema de protección no será equipado con Sistema de Puesta a Tierra para sistemas de pararrayo. La norma mexicana **NOM – 022 STPS 2015** especifica en el punto 8.1 que es obligatorio la instalación de sistemas de protección con pararrayos, solamente en los centros de trabajo o áreas que se clasifiquen como riesgo de incendio alto.

Capítulo XII

5.12 Sistema de Puesta a Tierra en un Equipo Electrónico

Un Equipo Electrónico es un elemento capaz de suministrar energía eléctrica de tensión y frecuencia utilizado en las instalaciones mediante la conversión de una energía procedente de un combustible derivado del petróleo, generalmente gasóleo (Diésel). La conversión primero es de energía térmica a energía mecánica y de esta a eléctrica. Estos equipos también son conocidos como Plantas de Emergencia Eléctrica, se utilizan para el respaldo de los sistemas eléctricos.

En referencia a las Fuentes de Potencia el **Arto. 517 – 35 a) y b) – CIEN**. Indica que los Sistemas Eléctricos esenciales deberán tener como mínimo dos fuentes de potencia independientes, la energía comercial y la de respaldo.



Figura No. 38 Generador de Energía con y sin Capo

Lo expresado en el **CIEN Artículo 250 – 26** Puesta a Tierra de sistemas de corriente alterna derivados separadamente: Indica que se debe instalar un Sistema de Puesta a Tierra adicional del Sistema Puesta a Tierra que aterriza el neutro del panel eléctrico para aterrizar la parte metálica y punto estrella del generador cuando el conductor del neutro del generador y el conductor del neutro del panel de servicio no estén eléctricamente conectados entre sí, se hace con la finalidad de proteger el equipo de la sobretensión impuesta por rayo.

NEC 250-35 (A)

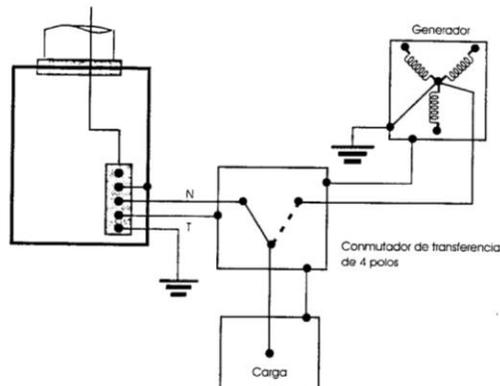


Figura No. 39 Sistema Derivado e Independiente

Cuando el conductor del neutro del generador y el conductor neutro del panel eléctrico de servicio se encuentran físicamente conectados entre sí, no es necesario instalar un Sistema de Puesta a Tierra a adicional para aterrizar la parte metálica y punto estrella del generador de energía. En este caso, se considera un sistema no derivado independiente.

NEC 250-35 (B)

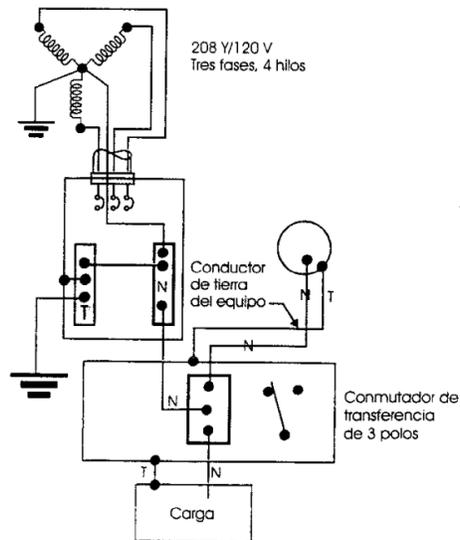


Figura No. 40 Sistema no Derivado Independiente

Capítulo XIII

5.13 Clasificación y Características de los Electrodo

El electrodo de Puesta a Tierra es un objeto conductor a través del cual se establece una conexión directa a tierra. Un electrodo de Puesta a Tierra puede ser cualquier cuerpo metálico conductor, en contacto con la tierra que cumplan con las dimensiones mínimas establecidas por las normativas de instalación eléctrica.

Se pueden diseñar Puestas a Tierra con varillas, mallas, tubos, placas o cintas metálicas. Las varillas, también llamadas barras, picas, jabalinas o estacas, son las más utilizadas. En un Sistema de Puesta a Tierra, el electrodo de tierra provee la conexión física para disipar la corriente a tierra.

5.13.1 Clasificación de los Electrodo de Puesta a Tierra

La Norma de **IEEE – 142**, refiere que existen dos tipos básicos de electrodo: Los naturales y los artificiales.

En referencia a los tipos de electrodo, los **Artículos 250 – 81 de: a) al d) y el 250 – 83 b), c)** del Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua (**CIEN**) podemos encontrar los tipos de Electrodo que están permitidos usar y los tipos de electrodo que no están permitidos usar.

Asimismo, en el **Artículo 250 – 83 c) del CIEN**, se indica los tipos de materiales que no deben ser utilizados, como electrodo del Sistema Puesta a Tierra:

- a) **Un sistema de tubería metálica subterránea de gas.**
- b) **Electrodos de Aluminio.**

Los siguientes incisos del **Artículo 250 – 83 c) del CIEN**, describen las dimensiones y longitudes que deben tener los diferentes tipos de electrodos (electrodos de tubos y barras), no serán menores de *2.4 m de longitud*, el diámetro de tubo debe ser $> 19\text{ mm}$, el de varilla de cobre 12.7 mm , el de varilla de acero revestido o acero inoxidable deben tener al menos un diámetro de 16 mm .

- c) **Electrodos de Placa.**

La superficie útil de contacto con la tierra no debe ser menor de 0.20 m^2 , espesores mínimos de Cu 1.5 mm , de ferrosos 6 mm .

5.13.2 Tipos de electrodos o varillas para Sistemas de Puesta a Tierra

En este apartado mencionaremos algunos de los elementos tradicionales que componen los sistemas de puesta a tierra.

La mayoría de electrodos para SPT referidos por normativa internacional no se encuentran en el mercado de Nicaragua, los más comunes son los siguientes:

- Hierro Pintado.
- Acero recubierto en Cobre.

Los materiales de electrodos indicados por el reglamento de instalaciones eléctricas internacionales son el de cobre electrolítico puro, Acero recubierto en Cobre, Acero Galvanizado y Acero Inoxidable. Utilizar electrodo de hierro pintado en SPT equivale a un fraude, este tipo de electrodo no brinda seguridad a las personas e instalaciones eléctricas.



Figura No. 41 Tipos de Electrodos

El material de los Electrodo debe seleccionarse de acuerdo a la corrosividad de los suelos según su resistividad, de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

| Resistividad de Suelos Naturales | Corrosividad |
|----------------------------------|---------------|
| 0-5 Ω .m | Severa |
| 5-10 Ω .m | Alta |
| 10-30 Ω .m | Significativa |
| 30-100 Ω .m | Moderada |
| 100-250 Ω .m | Leve |
| Más de 2500 Ω .m | Baja |

Tabla No. 4 Corrosividad de los Suelos

El Electrodo de Acero recubierto en Cobre:

Para el material de recubrimiento aplica lo mismo que para el cobre, por lo fino del recubrimiento que es tan sólo de **24.5 μ** de espesor. Un descuido en su instalación implica un riesgo en la aceleración de corrosión en el núcleo del electrodo.

Este tipo de electrodo se ve afectado en suelos salinos y húmedos. Se corroe en unión directa con elementos que no son bimetálicos.

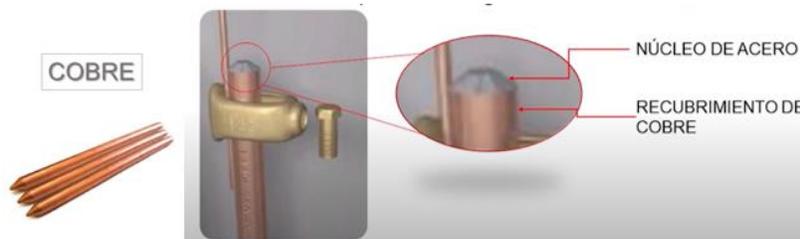


Figura No. 42 Electrodo de Acero recubierto en Cobre

El Electrodo de Acero Galvanizado por inmersión en Caliente:

Es adecuado para empotrar en hormigón o concreto y pueden conectarse a las estructuras o armaduras metálicas sin presentar par galvánico.

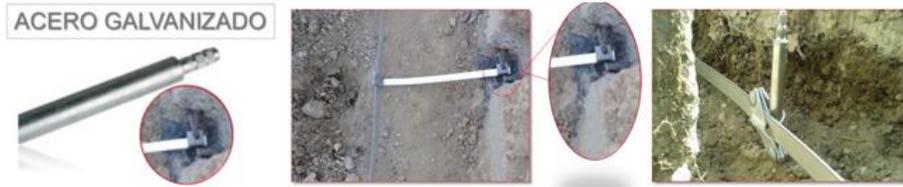


Figura No. 43 Electrodo de Acero Galvanizado Inmersión en Caliente

Electrodos de Acero Inoxidable:

Son inertes y resistentes a la corrosión. Es una buena solución para todo tipo de suelo.



Figura No. 44 Electrodo de Acero Inoxidable

Las Celdas provocan que cada metal genere un potencial al existir una conexión metálica entre ánodo y cátodo.

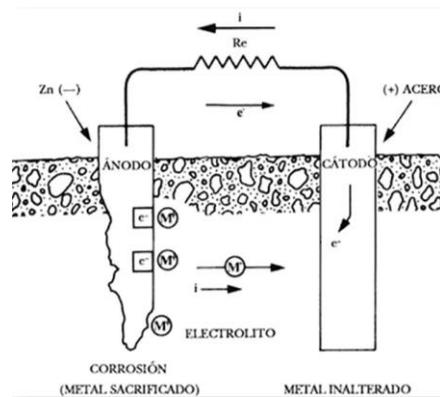


Figura No. 45 Conexión Conductora Corriente Continua

La siguiente tabla indica cómo podemos conectar los diferentes materiales de electrodos sin ocasionar par galvánico.

| | Acero Galvanizado | Aluminio | Cobre | Acero Inoxidable |
|------------------|-------------------|----------|-------|------------------|
| Acero Desnudo | si | si | no | si |
| Aluminio | si | si | no | si |
| Cobre | no | no | si | si |
| Acero Inoxidable | si | si | si | si |

Tabla No. 5 Interacción entre Materiales

Electrodos no Convencionales

En el comercio existen otros tipos de electrodos diferentes a los del tipo varilla. Que cumplen con la Norma **NMX – J – 549**. Entre estos están el tipo RHEILETE, recomendado cuando es soldado y por su área de contacto con el suelo. El CHEM ROD, no recomendado por que puede contaminar el manto acuífero. Ambos se usan en terrenos con alta resistividad.

Tipo RHEILETE

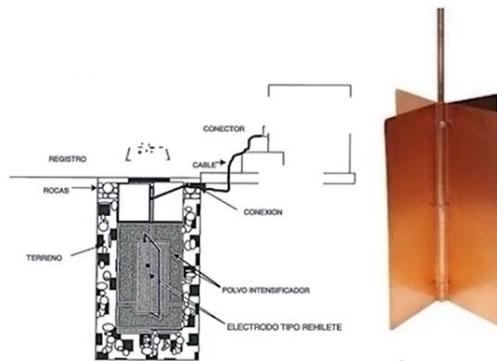


Figura No. 46 Tipo de Acoplamiento Rehilete

Electrodo Amesa Tipo Chem Rod

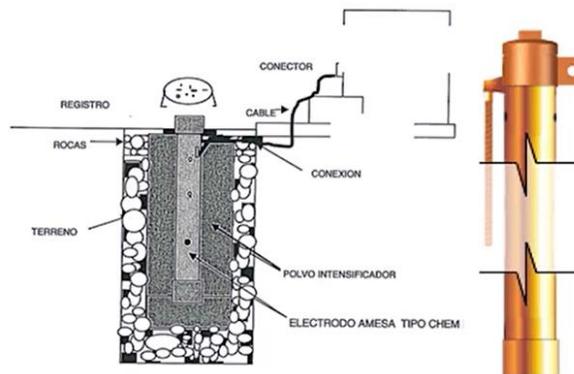


Figura No. 47 Electrodo Amesa Tipo Chem Rod

5.13.3 Tipos de Acoplamiento para Electrodo de Puesta a Tierra

La industria de los electrodos tipo varilla presenta múltiples tipos de acoplamiento para los electrodos.

Acoplamiento de Compresión (CC): El acople de compresión se instala de una manera fácil y rápida sin el riesgo de que la varilla se separe.

Acoplamiento (CR): Está diseñado para permitir un contacto total con el extremo posterior de la varilla y la punta de la otra. Estos son de alta resistencia, resistentes a la corrosión. Aseguran un acoplamiento permanente entre las conexiones cobre-cobre.

5.13.4 Distribución de Corriente por un Electrodo

Cuando circula la corriente eléctrica de un Electrodo hacia la tierra, dicha corriente se dispersa de manera uniforme en todas las direcciones, desde el Electrodo hacia el terreno, si este es homogéneo (mismas capas). De esta forma, se pueden determinar superficies cuyos puntos sobre el terreno se encuentran al mismo potencial, **Las llamadas superficies potenciales**. Estas líneas equipotenciales delimitan las zonas o capas del terreno puestas en serie con respecto al paso de la corriente.

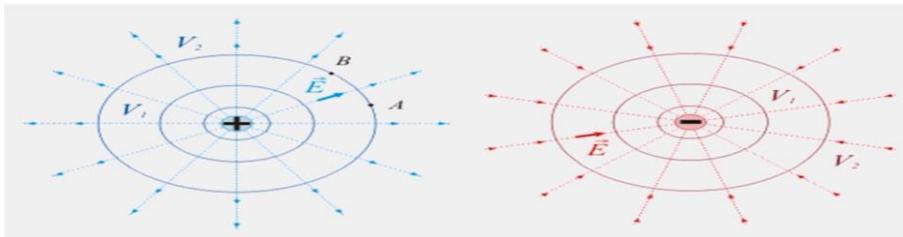


Figura No. 48 Distribución de Corriente por Electrodo

5.13.5 Distribución de Corriente en el Terreno

Las secciones aumentan rápidamente al alejarse del Electrodo. Esto lógicamente, muestra que la mayor parte de la resistencia total está concentrada en la porción del terreno, próxima al electrodo “Área de Resistencia”.

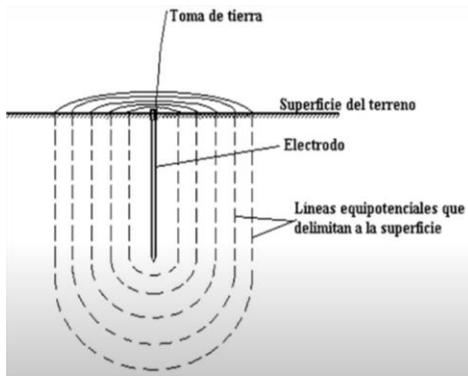


Figura No. 49 Distribución de Corriente en el Terreno

5.13.6 Distancia entre Electrodo

El Artículo 250 – 83 del CIEN indica que cuando más de un electrodo es usado, cada electrodo de un sistema puesto a tierra (incluyendo aquellos usados para barras pararrayos) deberá tener como distancia mínima de cualquier otro electrodo u otro Sistema de Puesta a Tierra, **1.83 m**. En este aspecto, dos o más electrodos eficazmente interconectados se consideran como un solo sistema de electrodos.

El Artículo 250 – 84 del CIEN, indica que la eficiencia del Sistema de Puesta a Tierra aumenta al instalarse los electrodos con separaciones mayor de **1.83 m**.

La Norma mexicana NMX – J – 549 indica directamente que la separación entre los electrodos debe ser a una distancia mayor que la indicada en nuestro código eléctrico. Esta distancia debe ser dos veces la longitud de la varilla para evitar solapamiento entre las áreas de resistencia del electrodo. El área alrededor de la varilla es lo más importante para influir en el valor final del SPT.

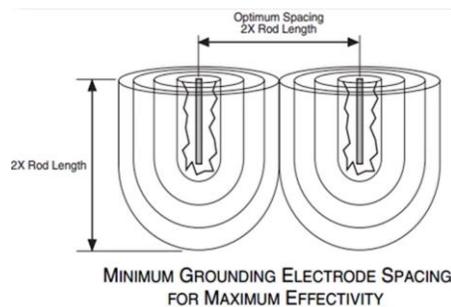


Figura No. 50 Distribución de Electrodo

Es notable que, al instalarse los electrodos a una distancia menor de dos veces su longitud, como resultado de esta interacción entre las zonas de dispersión ocurre un solapamiento entre las “**Áreas de Resistencia**”. Esto provoca un incremento de la resistencia al paso de la corriente en estas zonas.

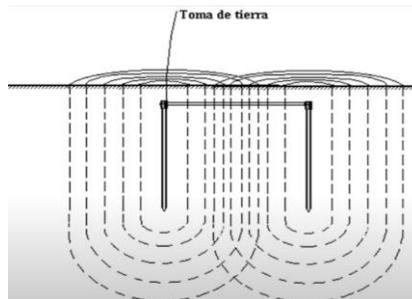


Figura No. 51 Electrodo distancia menor de dos veces su Longitud

5.13.7 Efecto de Apantallamiento

Influencia de la separación entre Electrodo en el efecto de apantallamiento.

El diagrama izquierdo representa que no existe superposición de las áreas de resistencia.

El diagrama derecho indica que existe una influencia mutua entre los electrodos.

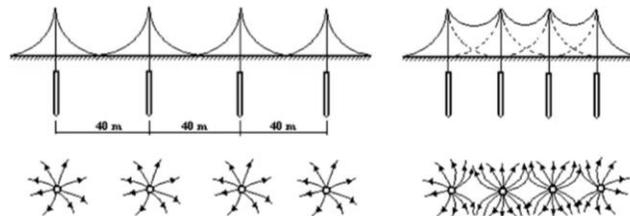


Figura No. 52 Efecto de Apantallamiento

Capítulo XIV

5.14 Configuración de Electrodo en los Sistemas de Puesta a Tierra

Las configuraciones de electrodos en los Sistemas de Puesta a Tierra varían en dependencia de la aplicación, resistividad del suelo y espacio disponible del terreno.

El electrodo se debe instalar de modo que tenga contacto con el suelo, como mínimo **2.40 m** de su longitud. Se debe clavar a una profundidad no menor de **2.40 m**, excepto si se encuentran rocas, en cuyo caso el electrodo se debe clavar con un

ángulo oblicuo que no forme más de 45° con la vertical o enterrarse horizontalmente en una zanja que tenga como mínimo 0.75 m de profundidad.

El extremo superior del electrodo debe quedar por debajo del nivel del suelo, excepto si el extremo superior queda por encima del suelo y la conexión con el conductor del electrodo de Puesta a Tierra están protegidos contra daños físicos.

5.14.1 Tipos de Configuraciones de Electrodo

Las disposiciones de SPT de un electrodo y en mallas simples elaboradas con varillas en posición horizontal o vertical, presentadas en este apartado, pueden utilizarse en sistemas eléctricos residenciales, comerciales e industriales y en media tensión.

Los SPT en disposición radial son utilizados para la protección en torres de alta tensión y torres de sistemas de comunicación. Para su elaboración se necesita un área de terreno disponible de tamaño considerable para alcanzar el objetivo de brindar un sistema con bajo valor de resistencia.

El SPT de un electrodo es utilizado en protección de baja tensión, sirve para aterrizar el neutro del sistema. Resistencia requerida $<25\Omega$.

➤ Electrodo en vertical, ángulo oblicuo o en horizontal

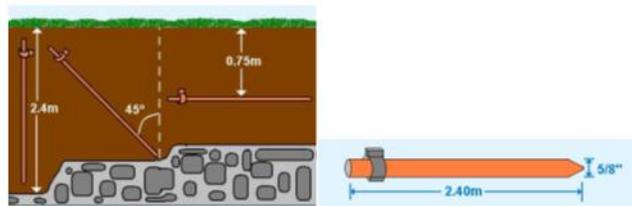


Figura No. 53 Configuraciones de Electrodo

- **Electrodos en Línea Recta:** Es utilizado en baja y media tensión, cuando un SPT compuesto con una varilla presenta un valor mayor de resistencia que el valor requerido $< 25\Omega$. Usualmente son de dos, tres o de cuatro electrodos, lo máximo que pueden utilizarse son seis electrodos.

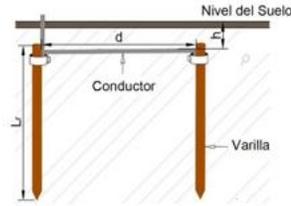


Figura No. 54 Electrodo en Línea Recta

- **Electrodos en Triángulo:** Es utilizado cuando un SPT compuesto con dos o tres varillas en línea recta presenta un valor mayor de resistencia que el requerido y se necesita una dispersión efectiva de la corriente del rayo en un momento determinado en segundos, se puede conseguir un valor de resistencia $\leq 5 \Omega$.

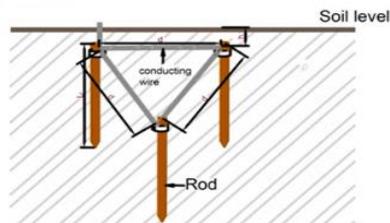


Figura No. 55 Electrodo en Triángulos

- **Electrodos en Anillo o Malla:** Es un SPT compuesto de varios electrodos y conductores, por lo general de cobre. Es utilizado cuando los sistemas anteriores presentan un valor de resistencia mayor que el requerido, se puede conseguir valores de resistencia $\leq 2\Omega$.

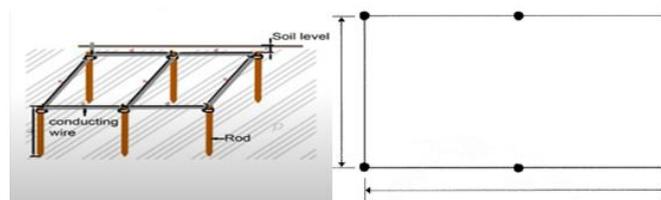


Figura No. 56 Electrodo en Anillo

- **Electrodos de Cimentación:** El SPT se hace con materiales como el Acero Galvanizado o Acero, con el objetivo de evitar la corrosión y disminuir el valor de la resistencia para brindar una protección efectiva. Los conductores deben

tener *6 m de longitud* como mínimo, su calibre es el # 4 AWG ,las varillas del Sistema Puesta a Tierra se encuentran interconectados con la estructura de hierro de la cimentación de un Edificio. Una recomendación de los especialistas es que la instalación de este sistema se haga durante la construcción de un edificio y que no se use conductor de cobre juntamente con hierro para evitar el par galvánico.

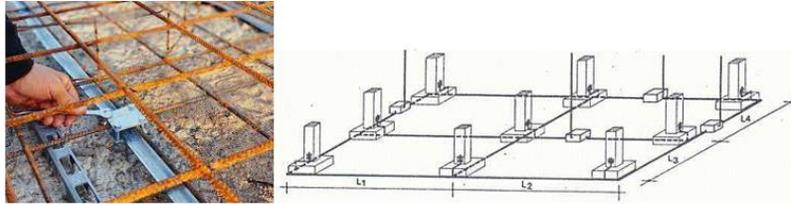


Figura No. 57 Electrodo de Cimentación

Electrodos en Configuración Radial

Radial: Ramificaciones en ángulos de 60° , 90° y 120° , con longitudes de hasta *60 m*. Contribuye en una eficiente dispersión de la corriente del rayo. Se emplea especialmente en SPT de torres de línea aérea de alta tensión y en torres de comunicaciones.

Electrodos radiales o múltiples en estrella. Son importantes cuando deben obtenerse resistencias a tierra relativamente bajas en los suelos pobremente conductores a un precio factible.

Se usan las siguientes configuraciones:

- Dos Electrodo Perpendiculares, (en L).
- Tres Electrodo en Estrella.
- Electrodo en Cruz.
- Electrodo Radial de Seis Brazos.

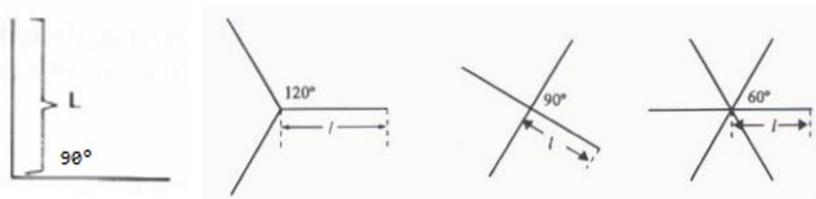


Figura No. 58 SPT Horizontal en disposición Radial

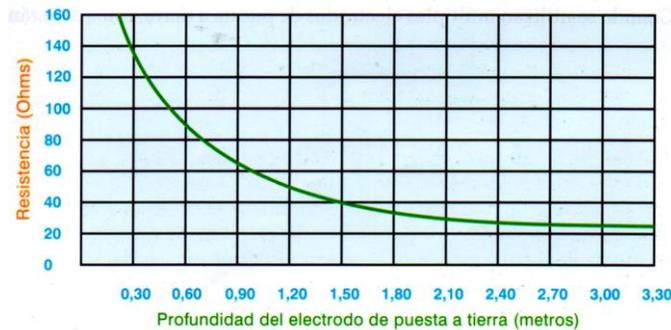
5.14.2 Cálculo de la Resistencia de un Electrodo

La resistencia de contacto del electrodo de Puesta a Tierra depende de la resistividad del suelo, del tipo de material del electrodo, dimensiones del electrodo y de su profundidad de enterramiento.

Debido a que el suelo presenta cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica y no es un conductor ideal, siempre habrá una resistencia entre el electrodo y el tipo de suelo a instalarse.

La siguiente gráfica muestra que al utilizar electrodos de Puesta a Tierra con una longitud menor a **3m**, se obtendrán resistencias a tierra altas.

Pero si se instalan varillas con una longitud de **3m** o mayor de **3m**, se obtendrá un valor de resistencia menor. Este punto será comprobado a través de cálculos realizados en Excel.



Gráfica No. 2 Decremento de la Resistencia de un Electrodo de Puesta a Tierra con la Profundidad

5.14.3 Comprobación de un menor valor de Resistencia SPT al aumentar la longitud de una varilla

En este apartado abordaremos la comprobación de lo expresado en el **Artículo 250 – 52 c) del NEC**, que indica un incremento en la longitud de la varilla, la cual tiene un impacto más favorable en la resistencia de la tierra que un aumento en el diámetro del electrodo.

Para efectos de comprobación de lo indicado en la gráfica de decremento de la resistencia de un electrodo con la profundidad y **Artículo 250 – 52 c) del NEC**, se considera que el valor de la resistividad del suelo en ambos puntos del terreno es el mismo valor óhmico de **50 $\Omega \cdot m$** y que al enterrar en el suelo dos electrodos de

Puesta a Tierra con el mismo diámetro y diferentes longitudes en diferentes puntos del mismo terreno, estos presentan diferentes resultados de valores óhmicos.

Datos para los dos sistemas con diferentes longitudes:

Diámetro de electrodos de puesta a tierra = 5/8 in ≈ 0.016 m.

Longitud del primer electrodo SPT1 = 2.4 m

Longitud del segundo electrodo SPT2 = 4.8 m

Resistividad del terreno (ρ) = 50 Ω. m

Radio del electrodo (r) = 0.008 m.

Cálculo del radio de cada electrodo de Puesta a Tierra:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0.016m}{2} = \boxed{0.008 m}$$

Primer Cálculo (utilizando los datos anteriores)

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot Lr} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 \times Lr}{b} \right) - 1 \right] = \boxed{20.19 \Omega}$$

R = Resistencia de contacto del electrodo.

ρ = Resistividad del terreno en (Ω. m).

Ω = Es el valor de la resistencia en Ohm

Lr = Longitud del electrodo en m.

b = radio del electrodo en m.

π = PI, equivale a 3.1416

2 = Constante

Ln = Logaritmo natural.

Segundo Cálculo (utilizando los datos anteriores)

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot Lr} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 \times Lr}{b} \right) - 1 \right] = \boxed{11.25 \Omega}$$

Es notable que se cumple lo expresado en la gráfica de decremento de la resistencia de un electrodo de puesta a tierra. El cálculo de SPT de una varilla prolongada a dos veces su longitud dio como resultado un valor de 11.25Ω, esto representa una

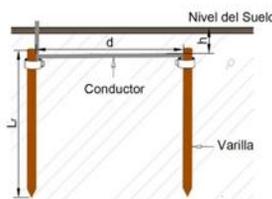
disminución del 55.72 % con respecto al valor obtenido en el primer cálculo de 20.19Ω elaborado con un dato de varilla de menor longitud.

5.14.4 Disminución de la Resistencia por longitud de separación entre Electrodo

En *Artículo 250 – 56 del NEC*, se refiere a lo siguiente: Si enterramos dos electrodos del mismo diámetro y misma longitud, (elementos que componen un SPT a una distancia mínima de separación de **1.80m** entre dos electrodos de SPT) el valor de la resistencia será mayor que cuando se instalan los electrodos a una distancia mayor de **1.8 m**. Este artículo indica que al enterrarse los electrodos de SPT a una distancia de separación mayor de **1.8 m** se consigue un valor de resistencia menor y una mayor eficiencia.

Se comprueba a través del cálculo, que la resistencia de un SPT compuesto de dos electrodos instalados en línea recta a una distancia de **1.8 m** entrega un valor de **13.33 Ω** y que al instalarse un SPT compuesto de dos electrodos a una distancia de 2 veces la longitud de una varilla en metros, se presenta un valor de resistencia menor que el anterior de **10.19 Ω** , corroborando así que se consigue una mayor eficiencia en el SPT al instalarse los electrodos a una distancia mayor **1.8 m**.

Cálculo de SPT con dos electrodos separados a una distancia de 1.8 m .



Electrodos en disposición Línea Recta

Datos:

$$\rho = 50 \Omega \cdot m$$

$$Lr = 2.4 m$$

$$d = 1.8 m$$

$$h = 0.30 m$$

$$b = 0.008 m$$

$$K1 = 1.15$$

$$K2 = 4.78$$

$$a = 0.003710 \text{ m conductor \#2AWG}$$

$$a' = 0.047180504448$$

Abreviaturas:

ρ = Rho, Resistividad del suelo en ($\Omega \cdot \text{m}$).

L_r = Longitud de Varilla en (m).

R_1 = Resistencia del Conductor en (Ω).

R_2 = Resistencia de las varillas en (Ω).

R_m = Resistencia mutua entre conductores y las varillas en (Ω).

R_g = Resistencia total del sistema de puesta a tierra en (Ω).

d = Distancia de separación entre dos varillas, $d > L_r$ en (m).

h = Profundidad de enterramiento del conductor en (m)

a = Radio del conductor en (m)

a' = Es (a) para el conductor en la superficie de la tierra

a' = Es $\sqrt{a \cdot 2 \cdot h}$ para conductores enterrados a una profundidad "h" en (m).

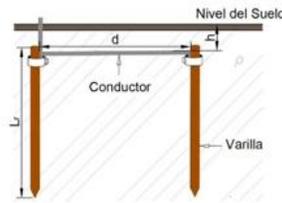
$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot d}{a'} \right) + 4 \cdot K1 - K2 \right] = 36.74 \Omega$$

$$R_2 = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L_r} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{b} \right) - 1 + \frac{8 \cdot K1 \cdot L_r}{d} (\sqrt{2} - 1)^2 \right] = 13.59 \Omega$$

$$R_m = R_1 - \frac{\rho}{\pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{L_r}{\sqrt{h \cdot 2 \cdot a}} \right) - 1 \right] = 10.84 \Omega$$

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_m} = \boxed{13.33 \Omega}$$

Cálculo de SPT con dos electrodos separados a una distancia mayor de 1.8 m.



Electrodos en disposición en Línea Recta

Datos:

$$\rho = 50 \Omega \cdot m$$

$$L_r = 2.4 m$$

$$d = 4.8 m$$

$$h = 0.30 m$$

$$b = 0.008 m$$

$$K_1 = 1.15$$

$$K_2 = 4.78$$

$$a = 0.00371 m \text{ conductor \#2 AWG}$$

$$a' = 0.047180504448$$

Abreviaturas:

ρ = Rho, Resistividad del suelo en ($\Omega \cdot m$).

L_r = Longitud de Varilla en (m).

R_1 = Resistencia del Conductor en (Ω).

R_2 = Resistencia de las varillas en (Ω).

R_m = Resistencia mutua entre conductores y las varillas en (Ω).

R_g = Resistencia total del sistema de puesta a tierra en (Ω).

d = Distancia de separación entre dos varillas, $d > L_r$ en (m).

h = Profundidad de enterramiento del conductor en (m)

a = Radio del conductor en (m)

a' = Es (a) para el conductor en la superficie de la tierra

a' = Es $\sqrt{a \cdot 2 \cdot h}$ para conductores enterrados a una profundidad "h" en (m).

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot d}{a'} \right) + 4 \cdot K_1 - K_2 \right] = 17.03 \ \Omega$$

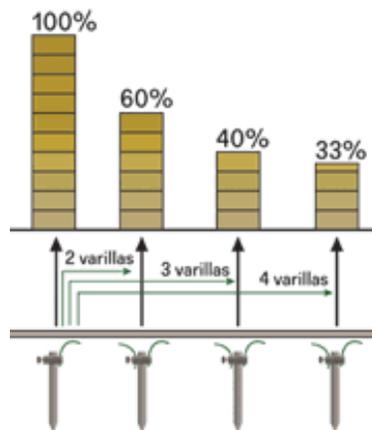
$$R_2 = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot Lr} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot Lr}{b} \right) - 1 + \frac{8 \cdot K_1 \cdot Lr}{d} (\sqrt{2} - 1)^2 \right] = 11.40 \ \Omega$$

$$R_m = R_1 \cdot \frac{\rho}{\pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{Lr}{\sqrt{h \cdot 2 \cdot a}} \right) - 1 \right] = 7.32 \ \Omega$$

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_m} = \boxed{10.19 \ \Omega}$$

La siguiente gráfica muestra que un solo electrodo de Puesta a Tierra instalado en el suelo representa una resistencia de contacto del 100 %

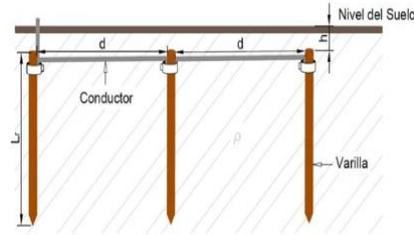
Al instalarse más de dos electrodos de Puesta a Tierra en línea recta (electrodos en paralelo) el porcentaje de resistencia de los electrodos disminuye.



Gráfica No. 3 Porcentaje de reducción de Resistencia por número de Electrodo instalados

Se procede a realizar los siguientes ejemplos de cálculos de Sistema de Puesta a Tierra propuestos para la selección de las configuraciones de conexión de electrodos Copperweld, usando varillas de núcleo de acero con revestimiento de cobre, con dimensiones de **5/8 in x 8 ft** en disposición lineal y triangular. El valor de la resistividad del suelo para los dos casos es la misma (ρ) = 60 $\Omega \cdot m$.

Sistema de Puesta a Tierra compuesto de tres electrodos Copperweld conectados en línea recta IEEE – 80:



Electrodos en disposición de Línea Recta

Datos:

$$\rho = 60 \Omega \cdot m$$

$$L_r = 2.4 \text{ m}$$

$$d = 4.8 \text{ m}$$

$$h = 0.30 \text{ m}$$

$$b = 0.008 \text{ m}$$

$$K_1 = 1.15$$

$$K_2 = 4.78$$

$$a = 0.003710 \text{ m conductor \#2 AWG}$$

$$a' = 0.047180504448$$

Abreviaturas:

ρ = Rho, Resistividad del suelo en ($\Omega \cdot m$).

L_r = Longitud de Varilla en (m).

R_1 = Resistencia del Conductor en (Ω).

R_2 = Resistencia de las varillas en (Ω).

R_m = Resistencia mutua entre conductores y las varillas en (Ω).

R_g = Resistencia total del sistema de puesta a tierra en (Ω).

d = Distancia de separación entre dos varillas, $d > L_r$ en (m).

h = Profundidad de enterramiento del conductor en (m)

a = Radio del conductor en (m)

a' = Es (a) para el conductor en la superficie de la tierra

$a' = \sqrt{a \cdot 2 \cdot h}$ para conductores enterrados a una profundidad "h" en (m).

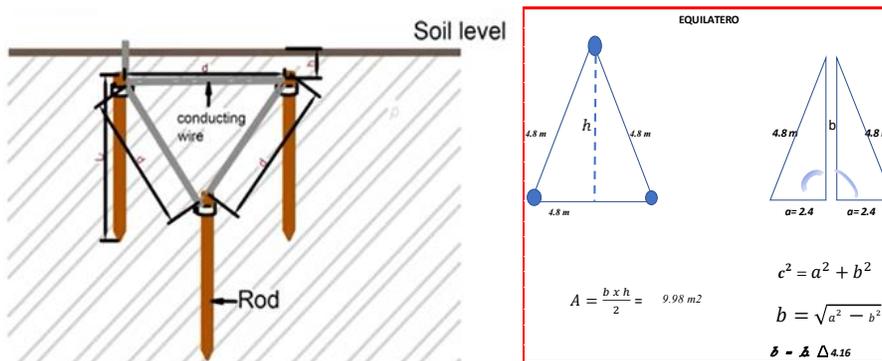
$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot d}{a'} \right) + 4 \cdot K1 - K2 \right] = 11.77 \Omega$$

$$R_2 = \frac{\rho}{6 \cdot \pi \cdot Lr} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot Lr}{b} \right) - 1 + \frac{4 \cdot K1 \cdot Lr}{d} (\sqrt{3} - 1)^2 \right] = 9.71 \Omega$$

$$R_m = R_1 - \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{Lr}{\sqrt{h \cdot 2 \cdot a}} \right) - 1 \right] = 5.94 \Omega$$

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_m} = \mathbf{8.23 \Omega}$$

Sistema de Puesta a Tierra compuesto de tres electrodos Copperweld conectados en configuración Triángulo. IEEE – 80



Electrodos en Disposición Triángulo

Datos:

$$\rho = 60 \Omega \cdot \text{m}$$

$$a = 0.003710 \text{ m}$$

$D = \text{Diámetro en mm} , 7.42 \text{ mm } 2 \text{ AWG}$

$$d = 4.8 \text{ m}$$

$$Lr = 2.4 \text{ m}$$

$n = 3 \text{ Varillas}$

$C = \text{Conductor } 2 \text{ AWG}$

$$L_c = 14.2 \text{ m}$$

$$h = 0.30 \text{ m}$$

$$(h)de \Delta = 4.16 \text{ m}$$

$$\text{Área } \Delta = 9.98 \text{ m}^2$$

$$K1 = 1.15$$

$$K2 = 4.78$$

$$a' = 0.047180504448$$

$$b = 0.008 \text{ m}$$

Abreviaturas:

ρ = Rho, Resistividad del suelo en ($\Omega \cdot m$).

a = Radio del conductor en (m)

d = Distancia de separación entre dos varillas, $d > L_r$ en (m).

L_r = Longitud de Varilla en (m).

n = Número de varillas

C = Calibre del conductor

L_c = Longitud del conductor

h = Profundidad de enterramiento del conductor en (m)

$h \text{ de } \Delta$ = Altura del triángulo

Área Δ = Área del triángulo

R_1 = Resistencia del Conductor en (Ω).

R_2 = Resistencia de las varillas en (Ω).

R_m = Resistencia mutua entre conductores y las varillas en (Ω).

R_g = Resistencia total del sistema de puesta a tierra en (Ω).

a' = Es (a) para el conductor en la superficie de la tierra

a' = Es $\sqrt{a \cdot 2 \cdot h}$ para conductores enterrados a una profundidad "h" en (m).

$$R_1 = \frac{\rho}{3 \cdot \pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{6 \cdot d}{a'} \right) + \frac{3 \cdot K1 \cdot d}{\sqrt{A}} - K2 \right] = 9.12 \Omega$$

$$R_2 = \frac{\rho}{6 \cdot \pi \cdot L_r} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2 \cdot K1 \cdot L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{3} - 1)^2 \right] = 9.32 \Omega$$

$$R_m = R_1 \cdot \frac{\rho}{3 \cdot \pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{Lr}{\sqrt{h \cdot 2 \cdot a}} \right) - 1 \right] = 5.23 \Omega$$

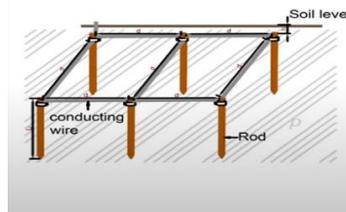
$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_m} = 7.23 \Omega$$

Para este caso, se concluye que el valor de la resistencia en el arreglo de SPT triangular es más eficiente que el arreglo de un SPT en línea recta. El resultado del cálculo para disposición de tres varillas en línea recta es de 8.23Ω y el resultado del cálculo para disposición de tres varillas en triángulo es de 7.23Ω .

Cálculo de una Malla de SPT.

Malla de SPT desarrollado con ecuaciones de **IEEE – 80**, compuesta de **6** varillas de **2.4 m** de longitud, **0.016 m** de diámetro, conductor desnudo número **4/0 AWG** y una resistividad del terreno de **215 $\Omega \cdot m$** , donde se requiere obtener una resistencia menor de **5 Ω** .

En el cálculo se consigue obtener una resistencia de **4.76 Ω** presentándose los siguientes datos:



Electrodos en Disposición de Anillo

Datos de la Malla:

Datos de la Malla

| | | |
|--|---|---------|
| Área de la malla | A | 600 m |
| Profundidad nivel superior del terreno | S | 0.6 m |
| Número de varillas | n | 6 |
| Radio varilla | r | 0.008 m |
| Radio del conductor 4/0 AWG | a | 0.006 m |

| | |
|--|-----------------------------|
| Longitud de la varilla | L_r 3 m |
| Resistividad del terreno | ρ 215 $\Omega \cdot m$ |
| Lado corto de la malla | L_1 20 m |
| Lado largo de la malla | L_2 30 m |
| Longitud del conductor $L_c = 100 m \Sigma 6 \times L_r =$ | B 118 m |
| Constante se usan sólo si $s < 0,1 * \sqrt{a}$ | SI SE PUEDE |
| Constante de Geometría 1 | K_1 1.13 |
| Constante de Geometría 2 | K_2 4.83 |

$$K_1 = -0.05 \times \frac{L_2}{L_1} + 1.2 = 1.13$$

$$K_2 = 0.1 \times \frac{L_2}{L_1} + 4.68 = 4.83$$

Resistencia de los conductores de la Malla (R_1)

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot B} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot B}{\sqrt{2 \cdot a \cdot S}} \right) + \frac{K_1 \cdot B}{\sqrt{A}} - K_2 \right] = 4.96 \Omega$$

Resistencia de todas las varillas electrodo (R_2)

$$R_2 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L_r} \cdot \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L}{r} \right) - 1 + \frac{2 \cdot K_1 \cdot L_r}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n} - 1)^2 \right] = 13.11$$

Resistencia Mutua (R_m) entre conductores y varillas

$$R_m = \frac{\rho}{\pi \cdot B} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot B}{L_r} \right) + \frac{K_1 \cdot B}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] = 3.47 \Omega$$

Resistencia Total del Sistema

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_m} = 4.76 \Omega$$

Configuraciones de Sistemas de Puesta a Tierra Radial con Electrodo

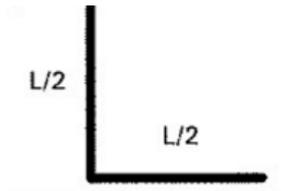
Los cálculos en configuración radial se realizaron valorando una resistividad del terreno de 50 $\Omega \cdot m$, utilizando varillas con dimensiones de 5/8" (0.016 m) de diámetro x 8 ft (2.40 m)

de longitud, la profundidad de enterramiento del conductor se valoró a 0.50 m, la distancia de separación entre varillas debe ser mayor de 3 m.

Nota:

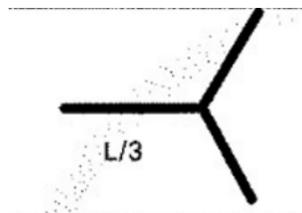
Si se desea hacer un SPT radial, solamente con conductores horizontal se puede realizar el cálculo con las mismas ecuaciones descritas posteriormente, se sustituye el valor de longitud de la varilla L_r por la longitud del conductor L_c y el diámetro de la varilla D por el diámetro del conductor a utilizar. Se usa conductor # 2 AWG, diámetro 0.00742 m como mínimo, a mayores longitudes de los radios se puede obtener valores bajos de resistencia.

Electrodos en Configuración Perpendiculares



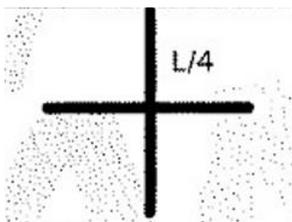
$$R_g = \frac{\rho}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{L_r^2}{2.D.h} \right) - 0.23373 + 0.8554 x \frac{h}{L_r} + 1.656 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^2 - 10.85 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^4 \right] = 19.50 \Omega$$

Electrodos en Configuración en Estrella



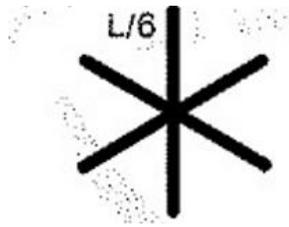
$$R_g = \frac{\rho}{3\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{L_r^2}{2.D.h} \right) + 1.077 - 0.836 x \frac{h}{L_r} + 3.808 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^2 - 13.824 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^4 \right] = 15.31 \Omega$$

Electrodos en Configuración en Cruz



$$R_g = \frac{\rho}{4.\pi.L_r} \left[\ln \left(\frac{L_r^2}{2.D.h} \right) + 2.912 - 4.284 x \frac{h}{L_r} + 10.32 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^2 - 37.12 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^4 \right] = 13.73 \Omega$$

Electrodos en Configuración en Seis Brazos



$$R_g = \frac{\rho}{6.\pi.L_r} \left[\ln \left(\frac{L_r^2}{2.D.h} \right) + 6.851 - 12.512 x \frac{h}{L_r} + 28.128 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^2 - 125.4 x \left(\frac{h}{L_r} \right)^4 \right] = 12.28 \Omega$$

Datos para todos los cálculos en radial:

$$\rho = 50 \Omega.m$$

$$L_r = 2.4 m$$

$$D = 0.016 m$$

$$h = 0.50 m$$

$$d = > L_r \text{ en (m)}$$

Abreviaturas:

ρ = Rho, Resistividad del suelo en ($\Omega.m$).

L_r = Longitud de Varilla en (m).

R_g = Resistencia total del sistema de puesta a tierra en (Ω).

D = Diametro de la varilla L_r en (m).

h = Profundidad de enterramiento del conductor en (m)

d = Distancia de separación entre dos varillas, $d > L_r$ en (m).

L_c = Longitud de conductor (de cada radio) en (m).

Comparación entre Sistema de un Electrodo y Contrapeso

Cálculo de una Varilla Vertical.

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_r} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{a} \right) - 1 \right] = 40.39 \Omega$$

Electrodo Horizontal con Conductor #2 AWG.

$$R_2 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_c} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_c}{d} \right) - 2 \right] + \frac{2 \cdot h}{L_c} - \left(\frac{h}{L_c} \right)^2 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{h}{L_c} \right)^2 = 10.61 \Omega$$

Resistencia Mutua del Conductor y Varilla

$$R_g = R_m = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{40.39 \Omega \times 10.61 \Omega}{40.39 \Omega + 10.61 \Omega} = 8.40 \Omega$$

Cálculo aproximado de Contrapeso (Conductor y Varilla)

$$R_A = \frac{\rho_E}{L_{Horizontal} + L_{Varilla}} = \frac{100 \Omega \cdot m}{10 \text{ m} + 2.4 \text{ m}} = 8.06 \Omega$$

Datos para los Cálculos:

$$\rho_E = 100 \Omega \cdot m$$

$$b = \text{Radio de la Varilla} = 0.008 \text{ m}$$

$$d = \text{Diametro del Conductor \#2 AWG} = 0.00742 \text{ m}$$

$$L_r = \text{Longitud de la Varilla} = 2.4 \text{ m}$$

$$L_c = \text{Longitud del Conductor} = 10 \text{ m}$$

$$h = \text{Profundidad de Enterramiento} = 0.60 \text{ m}$$

$$R_1 = \text{Resistencia de la Varilla} = \Omega$$

$$R_2 = \text{Resistencia del Conductor Horizontal} = \Omega$$

$$R_g = \text{Resistencia Total} = \Omega$$

$$R_m = \text{Resistencia Mutua} = \Omega$$

$$R_A = \text{Resistencia del Contrapeso (Conductor + Varilla)} = \Omega$$

$L_{Horizontal} = Longitud\ del\ Conductor = m$

$L_{Varilla} = Longitud\ de\ la\ Varilla = m$

5.14.5 Materiales Mejoradores de Suelo, bajo Normativas Vigentes

IEEE-80, IEEE-142

El capítulo 4 de IEEE-142 indica que en los primeros 0.15m se incurre el 52 % y en 0.30m se incurre en 68 % de la resistencia total. Por lo tanto, se muestra que en los primeros metros de distancia del electrodo son los más importantes, en lo que a reducción de la resistencia del electrodo se refiere.

Históricamente en Nicaragua se ha utilizado mejoradores de terreno tradicionales como la tierra de jardín que representa una disminución del 25.69 % de la resistencia según literatura, cuando se sustituye la tierra del sitio en un radio de 0.50 m alrededor del electrodo del SPT.

Bentonita

Existe otro tipo de mejorador de suelo tradicional conocido como bentonita, presenta una baja resistividad $2.5 \Omega.m$ a 300% de humedad, la bentonita ha sido una buena solución para disminuir la resistividad del suelo, pero habrá que considerar que este material funciona al 100% solamente en suelos que tienen alta humedad, en tiempo de sequía no es funcional, aumenta la resistencia del sistema por lo que no retiene la humedad. En el mercado nacional es difícil encontrar este producto.

Cloruro de Sodio, Magnesio y Sulfato de Cobre o Cloruro de Calcio, para incrementar la Conductividad del Suelo. Es poco usual por el efecto de Lixiviación.

A continuación, presentamos dos tipos de mejoradores de suelo que son más eficientes que los mencionados anteriormente, están avalados por el Estándar IEC 62561 – 7 , son libres de mantenimiento, se encuentran en el mercado nacional, su desventaja es el precio, su costo es mayor que el de los mejoradores mencionados en este apartado.

CONCRETE (Material Mejorador de Tierra).

Es un material a base de cemento y polvo de carbón que dramáticamente mejora el rendimiento, fiabilidad y longevidad de los sistemas de puesta a tierra y sistemas de protección catódica. No es corrosivo (pH neutro), es higroscópico. Este producto absorberá un 32.4 % de su peso en agua, esta cualidad es especialmente importante para ambientes áridos.

Material Mejorador de Tierra ERICO GEM - GEM25A

Es un material de gran calidad inventado en 1992, resuelve los problemas más complicados de puesta a tierra. Presenta una baja resistencia, no es corrosivo (pH neutro), está compuesto de polvo de carbón, material que mejora la eficacia del Sistema de Puesta a Tierra, especialmente en zonas en donde la conductividad es muy pobre. GEM ahora Cumple con Estándar IEC 62561-7.



Figura No. 59 Aplicación de productos GEM-ERICO

Una bolsa de GEM-ERICO de 11.36 kg – 25 lb entrega un rendimiento aproximado de 0.01136 m^3 para un diámetro del agujero con dimensiones (7.6 cm) 0.076 m a (25.4 cm) 0.254 m., a un metro de profundidad.

Una bolsa de CONCRETE de 25 kg – 55.11 lb entrega un rendimiento aproximado de 0.025 m^3 para un diámetro del agujero con dimensiones desde 0.04 m hasta 0.20 m a un metro de profundidad.

5.14.6 Materiales Mejoradores de Suelo, no están Bajo Normas

Sal Marina y Carbón Vegetal

El carbón vegetal y la sal marina son materiales mejoradores de suelo tradicionales utilizados hoy en día en los SPT. El carbón se usa como conductor y la sal como electrolito para formar conductividad entre el electrodo y la tierra. Este tipo de materiales es de bajo costo y se encuentra en el mercado nacional. Es poco usual por el efecto de Lixiviación. Esto quiere decir que al desaparecer la sal la resistencia del SPT aumentará, se debe programar el cambio de estos dos materiales al menos dos veces al año para mantener la eficiencia del SPT.

Capítulo XV

5.15 Metodología para los Diseños de Sistemas de Puesta a Tierra para Edificios de Oficinas

5.15.1 Pasos para la Aplicación de la Metodología

Paso 1

Conocer y Aplicar lo establecido en las Normas Nacionales e Internacionales vigentes.

Paso 2

Sistema a Proteger

Área del Terreno disponible

Medición de Resistividad y / o Resistencia

Medición de Temperatura del suelo

Determinación del pH a través de tabla

Paso 3

Selección de Materiales

Paso 4

Modelado Matemático para las Configuración de SPT

Selección de Configuración del SPT

Paso 5

Considerar Mejoramiento de Suelo

Paso 6

Ejecución del SPT

Supervisión del SPT

Medición de Resistencia y / o Resistividad del SPT

5.15.2 Aplicación de la Metodología al Edificio de Oficinas Comfort Xpress

Se propone elaborar dos SPT de manera independiente unidos entre sí. El primero será para aterrizar el neutro del Panel Eléctrico y el segundo servirá para aterrizar el Sistema de Redes de Datos. El SPT del Panel Eléctrico se instalará en el área circundante y el de Redes de Datos se instalará en otro lugar, en la parte externa de oficinas, cerca del cuarto del Centro de Datos.

Paso 1

Conocer y Aplicar lo establecido en las Normas Nacionales e Internacionales vigentes.

Paso 2

- a) Obtener la información del equipo o sistema que se quiere proteger.
Resistencia Requerida $\leq 5 \Omega$ Equipos Electrónicos Sensibles.
Resistencia Requerida $\leq 25 \Omega$ Sistemas Eléctricos en Baja Tensión.
- b) Conocer y Medir el Área disponible del terreno. $1.5 m \times 10 m = 15 m^2$.
- c) Realizar la Medición de Resistividad y Valorar el Grado de Corrosividad del Suelo. $\rho = 47.14 \Omega \cdot m$
- d) Medir la temperatura del suelo, donde se pretende instalar el SPT.
Temperatura Medida = $35^\circ C$

Paso 3

Selección de Materiales

a) Dimensiones del Electrodo

Se utilizará varilla de Puesta a Tierra de núcleo de acero con revestimiento de Cu, se seleccionó varilla de la marca ERICO por ser certificadas y por brindar una vida útil de 30 años.

Diámetro de varilla $5/8" in$ ($0.016 m$), longitud de varilla $8 ft$ ($2.40 m$).

b) Selección del Conductor a través del cálculo

- El valor de la corriente obtenida ($I_F = 1,026A$), explicado en el Capítulo Selección de Conductores.

$$A_{Kcmil} = I \times K_f \times \sqrt{t_c} \qquad 1,026 \times 7.0 \times \sqrt{3s} = 12,439.59A_{Kcmil}$$

Abreviatura:

A_{Kcmil} Es el área del conductor en $kcmil$

I Es la máxima corriente de falla asimétrica I_F en kA

K_f Es el valor de la constante de diversos materiales

$t_c = t_f$ Es la duración de la corriente de falla en s

$$A_{mm^2} = \frac{A_{Kcmil}}{1,974} \qquad \frac{12,439.59}{1,974} = 6.30 mm^2$$

El valor de la sección transversal más proximo es el conductor $8.367 mm^2$,

#8 AWG de $16,510A_{Kcmil}$.

- Debido a los requisitos de resistencia y robustez mecánica, establecido para los conductores de un SPT referido en la norma *NTC 2050* y *IEEE – 80*, usaremos el conductor calibre #2 AWG – $33,62mm^2$, diámetro $7.42mm$ de $66,360A_{Kcmil}$, aplicando el criterio técnico.

- Se procede a comprobar el valor de la corriente (I_F) que puede soportar este conductor en una duración de falla de (t_c) = 3s referido en **IEEE – 80** para pequeñas subestaciones.

$$I_F = \frac{A_{Kcmil}}{(k_f \times \sqrt{t_c})} = \frac{66,360}{(7.0 \times \sqrt{3s})} = 5.47kA$$

c) Selección y aplicación de Soldadura Exotérmica

Para la soldadura Exotérmica se propone usar cuatro (4) cartuchos de pólvora (carga) para molde (GT) de 90 g de la marca QUIKWELD, para soldar electrodo 5/8" con conductor #2 AWG.

d) Selección de cajas de inspección en parte superior de los agujeros de SPT.

Del tipo cuadrada de concreto con dimensiones de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m.

Del tipo Bóveda de Polipropileno de 0.23 m de altura.

Paso 4

Selección de Configuración del SPT

Aplicación Matemática de la Configuración, para el Cálculo de Resistencia

Total (R_g) del SPT

a) Sistemas Eléctricos en Baja Tensión $\leq 25 \Omega$, de un (1) Electrodo.

EL valor de resistividad medido es de 47.14 $\Omega \cdot m$.

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot Lr} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot x \cdot Lr}{b} \right) - 1 \right] = 19.04 \Omega$$

Datos:

Longitud de la Varilla = 2.4 m

Radio de la Varilla = 0.008 m

Resistividad del Terreno = 47.14 $\Omega \cdot m$

Resistencia de la Puesta a Tierra = 19.04 Ω

$R =$ Resistencia de contacto de la varilla.

$\rho =$ Resistividad del terreno en $\Omega - m$.

$2 =$ Constante

$\pi =$ PI

$L_r =$ Longitud del electrodo en metros.

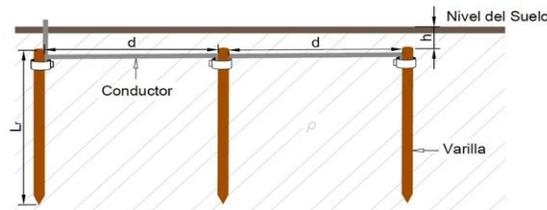
$Ln =$ Logaritmo natural.

$b =$ radio del electrodo en metros

$\Omega =$ Ohm

b) Resistencia Requerida $\leq 5 \Omega$ Equipos Electrónicos Sensibles de tres (3) Electrodos.

Disposición de 3 varillas de Puesta a Tierra $L_r = 2.40 m$ de longitud instaladas en Línea recta a una profundidad $h = 0.30 m$ del nivel de suelo, separadas a una distancia (d) de 2 veces la longitud de la varilla $4.8 m$.



Disposición del SPT

Datos:

$\rho = 47.14 \Omega \cdot m$

$L_r = 2.4 m$

$d = 4.80 m$

$h = 0.30 m$

$b = 0.008 m$

$R_g =$ Encontrar valor en (Ω)

$k_1 = 1.15$

$k_2 = 4.78$

$a = 0.003710 m$ conductor #2 AWG

$a' = 0.47180504448 m$

Abreviatura:

ρ = Rho resistividad del suelo en ($\Omega \cdot m$)

L_r = Longitud de la varilla en (m)

R_1 = Resistencia del conductor en (Ω)

R_2 = Resistencia de las varillas en (Ω)

R_m = Resistencia mutua entre conductores y varillas en (Ω)

R_g = Resistencia total del Sistema de Puesta a Tierra en (Ω)

d = Distancia de separación entre dos varillas, $d > L_r$ en (m)

h = profundidad de enterramiento del conductor en (m)

b = Radio de la varilla en (m)

k_1 = Coeficientes de la fórmula de Schwarz (1.15)

k_2 = Coeficientes de la fórmula de Schwarz (4.78)

a = Radio del conductor #2 AWG en (m)

$a' = \text{Es } (\sqrt{a \cdot 2 \cdot h})$ para conductores enterrados a una profundidad "h" en (m)

Resistencia del Conductor

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot d}{a'} \right) + 4 \cdot k_1 - K_2 \right]$$

$$R_1 = \frac{47.14 \Omega \cdot m}{2 \times \pi \times 4.80 \text{ m}} \left[\ln \left(\frac{4 \times 4.80 \text{ m}}{\sqrt{0.003710 \times 2 \times 0.30 \text{ m}}} \right) + 4 \times 1.15 - 4.78 \right] = \mathbf{9.21 \Omega}$$

Resistencia de las Varillas

$$R_2 = \frac{\rho}{6 \cdot \pi \cdot L_r} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{b} \right) - 1 + \frac{4 \cdot K_1 \cdot L_r}{d} (\sqrt{3} - 1)^2 \right] =$$

$$R_2 = \frac{47.14 \Omega \cdot m}{6 \times \pi \times 2.4 \text{ m}} \left[\ln \left(\frac{4 \times 2.40 \text{ m}}{0.008 \text{ m}} \right) - 1 + \frac{4 \times 1.15 \times 2.40 \text{ m}}{4.80 \text{ m}} (\sqrt{3} - 1)^2 \right] = \mathbf{7.63 \Omega}$$

Resistencia Mutua entre Conductores y Varillas

$$R_m = R_1 - \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot d} \left[\ln \left(\frac{L_r}{\sqrt{h \cdot 2 \cdot a}} \right) - 1 \right]$$

$$R_m = 9.21 \Omega - \frac{47.14 \Omega \cdot m}{2 \times \pi \times 4.80 m} \left[\ln \left(\frac{2.40 m}{\sqrt{0.003710 \times 2 \times 0.30 m}} \right) - 1 \right] = 4.63 \Omega$$

Resistencia Total del SPT, sin GEM

$$R_g = \frac{R1 \cdot R2 - Rm^2}{R1 + R2 - 2 \cdot Rm} =$$

$$R_g = \frac{9.21 \Omega \times 7.63 \Omega - 4.63 \Omega^2}{9.21 \Omega + 7.63 \Omega - 2 \times 4.63 \Omega} = \boxed{6.44 \Omega}$$

Cálculo de Reducción de Resistencia Total (R_g) aplicando GEM

$$R_{g \text{ Con GEM}} = (R_g - R_g \times \text{factor de reducción de resistencia de } 40\%)$$

$$R_{g \text{ Con GEM}} = (6.44 \Omega - 6.44 \Omega \times 0.4) = \boxed{3.86 \Omega}$$

Paso 5

Mejoramiento de Suelo

e) Equipos Electrónicos Sensibles $\leq 5 \Omega$, sí Requiere.

- Cálculo de volumen de ERICO GEM para los agujeros del Electrodo en posición vertical

Datos:

Diámetro del agujero de 0.20 m

Profundidad del agujero para la aplicación de GEM 2.096 m

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V = \pi \times 0.10 m^2 \times 2.096 m$$

$$V = 0.066 m^3$$

Abreviaturas:

V = volumen del cilindro en m^3 .

r^2 = es el radio al cuadrado del diámetro de una circunferencia.

h = Profundidad del cilindro en m.

Nota:

Se requieren 6.68 bolsas de GEM para cada agujero del electrodo en posición vertical, por los 3 cilindros se requieren 20 bolsas, de acuerdo al rendimiento del material.

➤ **Cálculo de volumen de ERICO GEM para los Conductores en zanja.**

$$V = h . L . A$$

$$V = 0.05 \text{ m} \times 10.6 \text{ m} \times 0.10 \text{ m} = 0.053 \text{ m}^3$$

Abreviaturas:

V = es el volumen de la zanja en m³.

h = es la profundidad de 0.05 m que se aplicará el GEM.

L = es la longitud de la zanja de 10.6 m donde será enterrado el conductor.

A = es el ancho de 0.10 m que tendrá la zanja donde será alojado el conductor y el mejorador de suelo.

Nota:

Se requieren 5 bolsas de GEM para los conductores en zanja, de acuerdo al rendimiento del material.

c) Sistemas Eléctricos en Baja Tensión $\leq 25 \Omega$, no Requiere.

Paso 6

a) Ejecución y Supervisión del SPT

- Excavación de agujeros y zanjas.
- Instalación de Electrodo, aplicación de Mejorador de Suelo (donde se requiere) y cierre de agujero bajo procedimiento.
- Instalación de Conductor, aplicación de soldadura exotérmica, aplicación de Mejorador de Suelo (donde se requiere), instalación de caja de inspección y cierre de zanja bajo procedimiento.

b) Medición de Resistencia y/o Resistividad del SPT

- Medición correcta, dentro de Rango, Fin.

Procedimiento de llenado del Pozo:

Una vez terminado el trabajo de excavación de los agujeros se procede a colar la tierra del sitio con una zaranda para eliminar granos muy gruesos, la tierra colada se mezcla con tierra de cultivo (de jardín) para compensar el volumen de tierra perdida en la colada y así mejorar el suelo. Prever $1 m^3$ de tierra de jardín por cada agujero.

Enterrar la varilla de puesta a tierra en el centro de cada agujero a una profundidad de $0.304 m$. Utiliza un tramo de tubo PVC de $0.60 m$ de longitud y de 8" de diámetro, colócalo en la parte circundante inferior de cada varilla enterrada y aplica mejorador de terreno dentro de él hasta alcanzar los $2.096 m$. Este producto puede aplicarse tipo lechada o en seco. El tubo se irá retirando hacia arriba durante el llenado del agujero.

Aplica la tierra mezclada alrededor del tubo PVC en la parte externa, dentro del área de cada pozo. Durante el proceso de llenado de cada agujero haz un apisonado vertiendo agua para eliminar las burbujas de aire del suelo. Deja libre el área donde soldarás la varilla y el conductor. El fabricante de GEM sugiere que la distancia de profundidad entre la parte superior del suelo y la varilla sea de $0.152 m$. Esto puede variar según convenga al diseñador del SPT.

Procedimiento de llenado de la Zanja:

Una vez terminado el trabajo de excavación de la zanja se cola la tierra del sitio con una zaranda para eliminar granos muy gruesos, la tierra colada se mezcla con tierra de cultivo para compensar el volumen de tierra perdida en la colada y así mejorar el suelo. Prever $1 m^3$ de tierra de jardín para la zanja.

El conductor del Sistema de Puesta a Tierra debe quedar enterrado con GEM en un área de $0.05 m$ de altura y $0.10 m$ de ancho, en toda su trayectoria, ubicado en la parte inferior de la zanja. Esto quiere decir, que una vez que sea aplicado el GEM, la zanja tendrá una profundidad de $0.60 m$.

En este caso, para el llenado de tierra en la zanja, se realiza el procedimiento de apisonado vertiendo agua para eliminar las burbujas de aire del suelo. Deja libre el área donde soldarás el conductor con la varilla.

6 Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Este trabajo Monográfico, contiene una Metodología para Diseñar y Ejecutar Sistemas de Puesta a Tierra, para Edificios de Oficinas. Es una herramienta de apoyo, para ingenieros, técnicos y estudiantes.
- Realizamos un Modelado Matemáticos en Excel, para cada configuración de SPT, con el objetivo de calcular el valor de resistencia del SPT y considerar aplicar mejorador de suelo.
- Se realizo un estudio de las Normas y Reglamentos, Nacionales e Internaciones Vigentes, referente al Diseño y Ejecución de los SPT, para garantizar el buen funcionamiento y protección del SPT.

6.2 Recomendaciones

- Los SPT, deben ser Diseñados y Ejecutados, por personal calificado.
- El uso de los Equipos de Protección Personal (EPP).
- Los SPT, deben ser inspeccionados de forma programada, una vez al año, dependiendo de las condiciones climáticas y ambientales.
- Las empresas e instituciones, deben capacitar al personal de mantenimiento, para brindarles las herramientas y el conocimiento, referente a las Normas y Reglamentos Vigentes, relacionados a los SPT.

7 Bibliografía

7.1 Referencias Bibliográficas

Casas-Ospina, Favio. (2010). Soporte de la Seguridad Eléctrica, Tierras, Bogotá Colombia: Edición Icontec

Enríquez, H. (Ed). (1993). *Guías Prácticas para el Cálculo de Instalaciones Eléctricas*. México: Editorial Limusa

Pablo Diaz. (2001). Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas eléctricos de Distribución. Editorial McGRAW-HILL

Instituto Nicaragüense de Energía, INE & Comisión Nacional de Normas Eléctricas, CNNE. (1996). *Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Energía.

Oropeza, J. A. (2005). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*. México. Publicación Schneider Electric (PDF).

Normas ANCE. (2005). *NMX-J-549*. México. Sistema de protección contra tormentas eléctricas (PDF).

Libro verde IEEE-Std142. (2007). Puesta a Tierra de Sistemas de Energía Comercial e Industrial (PDF).

MSC Ciro Levy Díaz. (2020). Guía Práctica de cálculo para instalaciones eléctricas en Edificio Multifamiliar. (2020).

FLUKE (2014). Principios de puesta a tierra.

Normativa IEEE-80. (2013). Guía para la seguridad en el Aterrizamiento de Subestaciones de CA (PDF).

Manual del NEC, edición de NFPA-70. (2011). Puesta a tierra (PDF).
Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua. (CIEN)

Instituto Nicaragüense de Energía INE. (1964). Manual de Transformadores de Distribución (PDF).

Norma ENEL. (1998) Puesta a Tierra (PDF).

Norma Disnorte - Dissur. Puesta a Tierra. (PDF).

7.2 Referencias Webgrafía

Herrera, Ruth Selma. (2005). Nuestro Sistema Energético. (Revista Envío) <http://www.envio.org.ni>.

Tapia, Antonia. (2012). Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos. (Revista Energy Magnament).

<https://e-management.mx/2012/03/09/puesta-a-tierra-de-sistemas-electricos/>

Ingeniería y Soluciones Integrales. (2019) Sistema de puesta a tierra. (Videos YouTube).

<https://www.youtube.com/watch?v=c6cBfgTmwys>

Freddy Sinchi. (2017) Proyecto técnico investigativo Diseño y Determinación de Sistemas de Puesta a Tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14487/5/UPS-CT007132.pdf>

Br. Jonathan Blanco / Br. Franklin López. (2018) Tesis monográfica de Diseño de Protección Contra Descargas Atmosféricas en el nuevo estadio Nacional Julio Martínez.

<https://ribuni.uni.edu.ni/2418/1/93007.pdf>

FSingeniería. (2017). Cursos de Diseño de Sistemas de Puesta a Tierra. (Videos YouTube).

<https://www.youtube.com/watch?v=48YCL7wuQaw&t=63s>

Procobre Cu. (2016). Webinar de Electrodo de puesta a tierra 1/2. (Videos YouTube).

https://www.youtube.com/watch?v=wJvE3w_VvI4

Cómo Dimensionar y calcular un DPS. Electricaplicada.

<https://www.electricaplicada.com/calculo-dps-iec/>

Ficha técnica de Mejorador de terreno GEM-ERICO. (Inventado en 1992).
<https://www.nvent.com/sites/default/files/acquiadam/assets/E978B-LASP.pdf>

Ficha técnica de Mejorador de terreno Conducrete. (Inventado en 1990).
<https://www.saeinc.com/wp-content/uploads/2017/11/Conducrete-Technical-Specs-Spanish.pdf>

Ficha técnica de electrodos o varillas para tierra.
<https://www.nvent.com/sites/default/files/acquiadam/assets/E660S-LASP.pdf>

Phelps Dodge. Cuadro de código de colores de conductores eléctricos (brochure).

8 Anexos

Normas Nacionales e Internacionales Vigentes.

- a) CIEN – 250 Generalidad del Sistema de Puesta a Tierra
- b) IEEE – 142 Valores de Resistencia del Terreno y Distancia de Separación entre Varillas
- c) IEEE – 80 Conductor desnudo de Cu calibre 2 AWG y Técnicas de Mejoramiento del Suelo
- d) IEEE – 837 Conexión Exotérmica
- e) IEC – 61000 – 5 – 2 Interconexión de Sistemas de Puesta a Tierra
- f) NEC Artículo 250 Varillas de Puesta a Tierra de $\frac{5}{8}$ in x 8 ft y Cajas de Inspección

Tabla No. 6 Normas Nacionales e Internacionales Vigentes

| Material | Conductividad (%) | T_m * (°C) | K_f |
|--|-------------------|--------------|-------|
| Cobre, recocido suave | 100.0 | 1083 | 7.00 |
| Cobre, comercial duro | 97.0 | 1084 | 7.06 |
| Cobre, comercial duro | 97.0 | 250 | 11.78 |
| Alambre de acero revestido de cobre | 40.0 | 1084 | 10.45 |
| Alambre de acero revestido de cobre | 30.0 | 1084 | 12.06 |
| Varilla de acero revestido de cobre | 17.0 | 1084 | 14.64 |
| Alambre de acero revestido de aluminio | 20.3 | 657 | 17.26 |
| Acero, 1020 | 10.8 | 1510 | 18.39 |
| Varilla de acero inoxidable | 9.8 | 1400 | 14.72 |
| Varilla de acero galvanizada | 8.6 | 419 | 28.96 |
| Acero inoxidable, 304 | 2.4 | 1400 | 30.05 |

Tabla No. 7 Constante de materiales IEEE-80

| Duración de la falla, t_f | | Factor de decremento, D_f | | | |
|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|----------|----------|----------|
| Segundos | Ciclos de 60 Hz | X/R = 10 | X/R = 20 | X/R = 30 | X/R = 40 |
| 0.008 33 | 0.5 | 1.576 | 1.648 | 1.675 | 1.688 |
| 0.05 | 3 | 1.232 | 1.378 | 1.462 | 1.515 |
| 0.10 | 6 | 1.125 | 1.232 | 1.316 | 1.378 |
| 0.20 | 12 | 1.064 | 1.125 | 1.181 | 1.232 |
| 0.30 | 18 | 1.043 | 1.085 | 1.125 | 1.163 |
| 0.40 | 24 | 1.033 | 1.064 | 1.095 | 1.125 |
| 0.50 | 30 | 1.026 | 1.052 | 1.077 | 1.101 |
| 0.75 | 45 | 1.018 | 1.035 | 1.052 | 1.068 |
| 1.00 | 60 | 1.013 | 1.026 | 1.039 | 1.052 |

Tabla No. 8 Valores Típicos (D_f), IEEE-80

| Calibre en AWG/KCML | Area | | CONDUCTORES | | | | | | | | Resistencia en corriente continua a 75°C(167°F) | | | | | |
|---------------------|-------|---------|-------------|----------------|-----------------|----------|---------|-------|---------|----------------|---|-----------------|------------------|----------|---------|--------|
| | | | Trenzado | | | | Total | | | | COBRE | | | | | |
| | | | Cantidad | Diametro en mm | | Diametro | | Area | | Sin recubierta | | Recubiertos | | ALUMINIO | | |
| | | | | mm2 | Mils circulares | mm | pulgada | mm | pulgada | mm2 | pulgada2 | Uncoated ohm/km | Uncoated ohm/kFT | ohm/km | ohm/kFT | ohm/km |
| 18 | 0,823 | 1620 | 1 | --- | --- | 1,02 | 0,04 | 0,823 | 0,001 | 25,5 | 7,77 | 26,5 | 8,08 | 42 | 12,8 | |
| 18 | 0,823 | 1620 | 7 | 0,39 | 0,015 | 1,16 | 0,046 | 1,06 | 0,002 | 26,1 | 7,95 | 27,7 | 8,45 | 42,8 | 13,1 | |
| 16 | 1,31 | 2580 | 1 | --- | --- | 1,29 | 0,051 | 1,31 | 0,002 | 16 | 4,89 | 16,7 | 5,08 | 26,4 | 8,05 | |
| 16 | 1,31 | 2580 | 7 | 0,49 | 0,019 | 1,46 | 0,058 | 1,68 | 0,003 | 16,4 | 4,99 | 17,3 | 5,29 | 26,9 | 8,21 | |
| 14 | 2,08 | 4110 | 1 | --- | --- | 1,63 | 0,064 | 2,08 | 0,003 | 10,1 | 3,07 | 10,4 | 3,19 | 16,6 | 5,06 | |
| 14 | 2,08 | 4110 | 7 | 0,62 | 0,024 | 1,85 | 0,073 | 2,68 | 0,004 | 10,3 | 3,14 | 10,7 | 3,26 | 16,9 | 5,17 | |
| 12 | 3,31 | 6530 | 1 | --- | --- | 2,05 | 0,081 | 3,31 | 0,005 | 6,34 | 1,93 | 6,57 | 2,01 | 10,45 | 3,18 | |
| 12 | 3,31 | 6530 | 7 | 0,78 | 0,03 | 2,32 | 0,092 | 4,25 | 0,006 | 6,5 | 1,98 | 6,73 | 2,05 | 10,69 | 3,25 | |
| 10 | 5,261 | 10380 | 1 | --- | --- | 2,588 | 0,102 | 5,26 | 0,008 | 3,984 | 1,21 | 4,148 | 1,26 | 6,561 | 2 | |
| 10 | 5,261 | 10380 | 7 | 0,98 | 0,038 | 2,95 | 0,116 | 6,76 | 0,011 | 4,07 | 1,24 | 4,226 | 1,29 | 6,679 | 2,04 | |
| 8 | 8,367 | 16510 | 1 | --- | --- | 3,264 | 0,128 | 8,37 | 0,013 | 2,506 | 0,764 | 2,579 | 0,786 | 4,125 | 1,26 | |
| 8 | 8,367 | 16510 | 7 | 1,23 | 0,049 | 3,71 | 0,146 | 10,76 | 0,017 | 2,551 | 0,778 | 2,653 | 0,809 | 4,204 | 1,28 | |
| 6 | 13,3 | 26240 | 7 | 1,56 | 0,061 | 4,67 | 0,184 | 17,09 | 0,027 | 1,608 | 0,491 | 1,671 | 0,51 | 2,652 | 0,808 | |
| 4 | 21,15 | 41740 | 7 | 1,96 | 0,077 | 5,89 | 0,232 | 27,19 | 0,042 | 1,01 | 0,308 | 1,053 | 0,321 | 1,666 | 0,508 | |
| 3 | 26,67 | 52620 | 7 | 2,2 | 0,087 | 6,6 | 0,26 | 34,28 | 0,053 | 0,802 | 0,245 | 0,833 | 0,254 | 1,32 | 0,403 | |
| 2 | 33,62 | 66360 | 7 | 2,47 | 0,097 | 7,42 | 0,292 | 43,23 | 0,067 | 0,634 | 0,194 | 0,661 | 0,201 | 1,045 | 0,319 | |
| 1 | 42,41 | 83690 | 19 | 1,69 | 0,066 | 8,43 | 0,332 | 55,8 | 0,087 | 0,505 | 0,154 | 0,524 | 0,16 | 0,829 | 0,253 | |
| 1/0 | 53,49 | 105600 | 19 | 1,89 | 0,074 | 9,45 | 0,373 | 70,41 | 0,109 | 0,399 | 0,122 | 0,415 | 0,127 | 0,66 | 0,201 | |
| 2/0 | 67,43 | 133100 | 19 | 2,13 | 0,084 | 10,62 | 0,419 | 88,74 | 0,138 | 0,317 | 0,0967 | 0,329 | 0,101 | 0,523 | 0,159 | |
| 3/0 | 85,01 | 167800 | 19 | 2,39 | 0,094 | 11,94 | 0,47 | 111,9 | 0,173 | 0,2512 | 0,0766 | 0,261 | 0,0797 | 0,413 | 0,126 | |
| 4/0 | 107,2 | 211600 | 19 | 2,68 | 0,106 | 13,41 | 0,528 | 141,1 | 0,219 | 0,1996 | 0,0608 | 0,205 | 0,0626 | 0,328 | 0,1 | |
| 250 | 127 | 250000 | 37 | 2,09 | 0,082 | 14,61 | 0,575 | 168 | 0,26 | 0,1687 | 0,0515 | 0,1753 | 0,0535 | 0,2778 | 0,0847 | |
| 300 | 152 | 300000 | 37 | 2,29 | 0,09 | 16 | 0,63 | 201 | 0,312 | 0,1409 | 0,0429 | 0,1463 | 0,0446 | 0,2318 | 0,0707 | |
| 350 | 177 | 350000 | 37 | 2,47 | 0,097 | 17,3 | 0,681 | 235 | 0,364 | 0,1205 | 0,0367 | 0,1252 | 0,0382 | 0,1984 | 0,0605 | |
| 400 | 203 | 400000 | 37 | 2,64 | 0,104 | 18,49 | 0,728 | 268 | 0,416 | 0,1053 | 0,0321 | 0,1084 | 0,0331 | 0,1737 | 0,0529 | |
| 500 | 253 | 500000 | 37 | 2,95 | 0,116 | 20,65 | 0,813 | 336 | 0,519 | 0,0845 | 0,0258 | 0,0869 | 0,0265 | 0,1391 | 0,0424 | |
| 600 | 304 | 600000 | 61 | 2,52 | 0,099 | 22,68 | 0,893 | 404 | 0,626 | 0,0704 | 0,0214 | 0,0732 | 0,0223 | 0,1159 | 0,0353 | |
| 700 | 355 | 700000 | 61 | 2,72 | 0,107 | 24,49 | 0,964 | 471 | 0,73 | 0,0603 | 0,0184 | 0,0622 | 0,0189 | 0,0994 | 0,0303 | |
| 750 | 380 | 750000 | 61 | 2,82 | 0,111 | 25,35 | 0,998 | 505 | 0,782 | 0,0563 | 0,0171 | 0,0579 | 0,0176 | 0,0827 | 0,0282 | |
| 800 | 405 | 800000 | 61 | 2,91 | 0,114 | 26,16 | 1,03 | 538 | 0,834 | 0,0528 | 0,0161 | 0,0544 | 0,0166 | 0,0868 | 0,0265 | |
| 900 | 456 | 900000 | 61 | 3,09 | 0,122 | 27,79 | 1,09 | 606 | 0,94 | 0,047 | 0,0143 | 0,0481 | 0,0147 | 0,077 | 0,0235 | |
| 1000 | 507 | 1000000 | 61 | 3,25 | 0,128 | 29,26 | 1,15 | 673 | 1,04 | 0,0423 | 0,0129 | 0,0434 | 0,0132 | 0,0695 | 0,0212 | |
| 1250 | 633 | 1250000 | 91 | 2,98 | 0,117 | 32,74 | 1,29 | 842 | 1,3 | 0,0338 | 0,0103 | 0,0347 | 0,0106 | 0,0554 | 0,0169 | |
| 1500 | 760 | 1500000 | 91 | 3,26 | 0,128 | 35,86 | 1,41 | 1011 | 1,57 | 0,02814 | 0,00858 | 0,02814 | 0,00883 | 0,0464 | 0,0141 | |
| 1750 | 887 | 1750000 | 127 | 2,98 | 0,117 | 38,76 | 1,52 | 1180 | 1,83 | 0,0241 | 0,00735 | 0,0241 | 0,00756 | 0,0397 | 0,0121 | |
| 2000 | 1013 | 2000000 | 127 | 3,19 | 0,126 | 41,45 | 1,63 | 1349 | 2,09 | 0,02109 | 0,00643 | 0,02109 | 0,00662 | 0,0348 | 0,0106 | |

Tabla No. 9 Propiedades de los Conductores

| Resistividad de Suelos Naturales | Corrosividad |
|----------------------------------|---------------|
| 0-5 Ω.m | Severa |
| 5-10 Ω.m | Alta |
| 10-30 Ω.m | Significativa |
| 30-100 Ω.m | Moderada |
| 100-250 Ω.m | Leve |
| Más de 2500 Ω.m | Baja |

Tabla No. 10 Corrosividad de los Suelos

| Clase de Suelo | | Condición del Suelo | | Resistividad | |
|---|----|------------------------------|-------------|-----------------------------|----|
| Arena | +2 | Agua en Estructura | -1 | > 100 Ω .m | 0 |
| Arena Arcillosa | 0 | Suelo Alterado | -2 | Entre 100 y 50 Ω .m | -1 |
| Arcilla | -2 | Suelo Uniforme | -3 | Entre 50 y 25 Ω .m | -2 |
| Pantano | -4 | | | Entre 25 y 10 Ω .m | -3 |
| | | | | < 10 Ω .m | -4 |
| Contenido de Agua | | Valor de pH | | Acidez total a pH = 7 | |
| < 20% | 0 | pH > 6 | 0 | < 2,5 m val/kg | 0 |
| > 20% | -1 | pH < 6 | -1 | 2,5 - 5 m val/kg | -1 |
| | | | | > 5 m val/kg | -2 |
| Potencial redox a pH = 7 relativo al rH | | Alcalinidad Total a pH = 4,8 | | Ácido Sulhídrico o Sulfuros | |
| Fuertemente aireado | +2 | > 1000 m val/kg | +2 | No presente | 0 |
| Aireado | 0 | 200 - 1000 m val/kg | +1 | Trazas = 0,5 mg/kg s-2 | -2 |
| Débilmente aireado | -2 | < 200 m val/kg | 0 | Presente = 0,5 mg/kg s-2 | -4 |
| No Aireado | -4 | | | | |
| Contenido de Carbón de Piedra o Coque | | Ion Cloruro | | Contenido de Sulfatos | |
| No presente | 0 | < 100 mg/kg | 0 | < 200 mg/kg | 0 |
| Presente | -4 | > 100 mg/kg | -1 | 200 - 500 mg/kg | -1 |
| | | | | 500 - 1000 mg/kg | -2 |
| | | | | > 1000 mg/kg | -3 |
| Índice de agresividad = sumatoria de subindicadores | | | | | |
| No agresivo | | | > 0 | | |
| Débilmente agresivo | | | De 0 a -4 | | |
| Agresivo | | | De -5 a -10 | | |
| Fuertemente agresivo | | | < -10 | | |

m.val= miligramo equivalente

Tabla No. 11 Evaluación de Agresividad de los Suelos

| USO PARA | VALOR MÁXIMO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA |
|--|--|
| Estructura de Líneas de Transmisión | 20 Ω |
| Subestación de Alta y Extra Alta Tensión | 1 Ω |
| Subestación de Media Tensión en Poste | 10 Ω |
| Subestación de Media Tensión de uso Interior | 10 Ω |
| Protección contra Rayos | 10 Ω |
| Neutro de acometida en Baja Tensión | 25 Ω |
| Descargas Electroestáticas | 25 Ω |
| Equipos Electrónicos Sensibles | 5 Ω |

Tabla No. 12 Valores Máximos de Resistencia de Puesta a Tierra

| Naturaleza del Terreno | Resistividad ($\Omega.m$) |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Terreno Pantanoso | Hasta 30 |
| Limo | 20 a 100 |
| Humos | 10 a 150 |
| Turbas Húmedas | 5 a 100 |
| Arcilla Plástica | 50 |
| Margas y Arcillas Compactas | 100 a 200 |
| Margas De Jurásico | 30 a 40 |
| Arena Arcillosa | 50 a 500 |
| Arena Silíceas | 200 a 3000 |
| Suelo Pedregoso Cubierta de Césped | 300 a 500 |
| Suelo Pedregoso Desnudo | 1500 a 3000 |
| Caliza Blanda | 100 a 300 |
| Caliza Compacta | 1000 a 5000 |
| Caliza Agrietada | 50 a 300 |
| Pizarra | 800 |
| Rocas y Gres Procedente De Alteración | 1500 a 10000 |
| Granito y gres muy Alterados | 100 a 600 |

Tabla No. 13 Valores de Resistividad de los Suelos

| Naturaleza del Terreno | Valor medio de la Resistividad ($\Omega.m$) |
|---|---|
| Terreno Cultivable y Fértil, Terraplenes Compactos y Húmedos. | 50 |
| Terreno Cultivable poco Fértil, Terraplenes en General. | 500 |
| Suelos Pedregosos Desnudos Arenas Secas Permeables. | 3000 |

Tabla No. 14 Valores de Resistividad de los Suelos

| ADAPTACIÓN DE LA TABLA 250-66 DEL NEC | | | | |
|---------------------------------------|---|--|----------------------|--|
| Calibre de Fase (AWG) | Capacidad del conductor a 75°C (amperios) | Conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG) | Capacidad (amperios) | Porcentaje del conductor a tierra respecto a las fases |
| 2 o menos | 115 | 8 | 50 | 43% |
| 1 a 1/0 | 150 | 6 | 65 | 43% |
| 2/0 a 3/0 | 200 | 4 | 85 | 43% |
| 3/0 a 350 kcmil | 310 | 2 | 115 | 37% |
| 350 a 600 kcmil | 420 | 1/0 | 150 | 36% |
| 600 a 1100 kcmil | 545 | 2/0 | 175 | 32% |
| Mayor de 1100 kcmil | 590 | 3/0 | 200 | 34% |

*Es el conductor que parte de la puesta a tierra hasta el barraje equipotencial de distribución de tierras para la instalación y punto de conexión al neutro y para el punto equipotencial principal.

Tabla No. 15 Conductor del Electrodo de Puesta a Tierra para Sistemas de C.A. 250-66 NEC

| ADAPTACIÓN TABLA 250-122 DEL NEC | | | | | | |
|---|---|-----------------|--------------------------------------|------------|----------------------|---------------------------------|
| Capacidad nominal de protección en amperios | Calibre de conductor de tierra en cobre | | Capacidad de corriente en falla* (A) | Factor K** | Sobrecarga permitida | Capacidad según Tabla 310-16*** |
| | AWG | mm ² | | | | |
| 15 | 14 | 2,08 | 97 | 7,8 | 125% | 20 |
| 20 | 12 | 3,31 | 155 | 7,7 | 125% | 25 |
| 30 | 10 | 5,26 | 246 | 8,2 | 117% | 35 |
| 40 | 10 | 5,26 | 246 | 6,1 | 88% | 35 |
| 60 | 10 | 5,26 | 246 | 4,1 | 58% | 35 |
| 100 | 8 | 8,37 | 391 | 3,9 | 50% | 50 |
| 200 | 6 | 13,30 | 621 | 3,1 | 33% | 65 |
| 300 | 4 | 21,15 | 994 | 3,1 | 25% | 85 |
| 400 | 3 | 26,70 | 1.254 | 3,1 | 24% | 100 |
| 500 | 2 | 33,63 | 1.614 | 3,1 | 23% | 115 |
| 600 | 1 | 42,41 | 1.981 | 3,3 | 22% | 130 |
| 800 | 1/0 | 53,51 | 2.499 | 3,1 | 19% | 150 |

Tabla No. 16 Sección Transversal Mínima de los Conductores de P.T para Canalizaciones y Equipos. Artículo 250-122 NEC

Norma NEMA / ANSI (Americana)

| SISTEMA | 1Φ | 1Φ | 3ΦY | 3ΦΔ | 3ΦΔ- | 3ΦY | 3ΦY | 3ΦΔ | 3ΦΔ |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| TENSIONES NOMINALES (Voltios) | 120 | 240/120 | 208/120 | 240 | 240/208/120 | 380/220 | 480/440 | 480/440 | Mas de 1000 V |
| CONDUCTORES ACTIVOS | 1 fase 2 hilos | 2 fases 3 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 3 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 3 hilos | 3 fases |
| FASES | Negro trifásico | Negro Rojo | Amarillo Azul Rojo | Negro Azul Rojo | Negro Naranja Azul | Café Negro Amarillo | Café Naranja Amarillo | Café Naranja Amarillo | Violeta Café Rojo |
| NEUTRO | Blanco | Blanco | Blanco | No aplica | Blanco | Blanco | Gris | No aplica | No aplica |
| TIERRA DE PROTECCIÓN | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde |
| TIERRA AISLADA | Verde o Verde/ amarillo | Verde o Verde/ amarillo | Verde o Verde/ amarillo | No aplica | Verde o Verde/ amarillo | Verde o Verde/ amarillo | No aplica | No aplica | No aplica |

Tabla No. 17 Código de Colores de Aislamiento de Conductores Eléctricos

| | | |
|-------|--|---|
| Acero | Tubo galvanizado | Diámetro interior de 19 mm Espesor de pared mínimo 2,71 mm Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm |
| | Placa plana galvanizada | 500 mm x 500 mm Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm Espesor mínimo de la placa 6,4 mm |
| | Varilla de acero estrirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico | Diámetro de 14,3 mm mínimo y 15,5 mm máximo Espesor mínimo del recubrimiento 0,254 mm |
| | Varilla galvanizada | Diámetro de 13 mm mínimo y 25 mm máximo Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm |

ELECTRODOS DE ACERO GALVANIZADO



Tabla No. 18 Electrodo de Acero

| | | |
|------------------|-------------------|---|
| Acero Inoxidable | Cintilla o solera | Ancho x espesor 25 mm x 1,5 mm |
| | Varilla | Diámetro de 14,3 mm mínimo y 15,5 mm máximo |
| | Placa plana | 500 mm x 500 mm Espesor mínimo de la placa 6,4 mm |
| | Lamina (arreglos) | 0,25 m ² Espesor mínimo 1,245 mm de la lámina |

(1) Para el acero inoxidable tipo aleación 304.

ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE



Tabla No. 19 Electrodo Acero Inoxidable

| Arreglo | Vista planta | Fórmula |
|--|--------------|--|
| Para un electrodo vertical | | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$ |
| Para un electrodo horizontal | | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{1,85hd} \right)$ |
| Para dos electrodos de puesta a tierra horizontales en "ELE" | | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{1,27hd} \right)$ |
| Para tres electrodos de puesta a tierra horizontales en "YE" | | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{0,767hd} \right)$ |
| Para cuatro electrodos de puesta a tierra horizontales en "CRUZ" | | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{0,217hd} \right)$ |
| Para seis electrodos de puesta a tierra horizontales | | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{9,42hd} \right)$ |
| Para ocho electrodos de puesta a tierra horizontales | | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{2,69hd} \right)$ |
| Para un anillo cerrado | | $R = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right]$ |

Tabla No. 20 Fórmulas para Calcular la Resistencia a Tierra

| INFORME-Diseño del Sistema de Puesta a Tierra | | |
|---|---------------------|-----------------------|
| DATOS DE CAMPO (A - Rho) | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| Área disponible del Terreno | 15 | m ² |
| Resistividad del Terreno | 47.14 | Ω.m |
| TIPO DE CONDUCTOR (Conductor de cobre desnudo trenzado) | | |
| Calibre (AWG O Kmil) | No. de hilos | Diámetro (mm) |
| 2 | 7 | 7.42 |
| DISEÑO (d, Lr, n, c, Lc, h) | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| d (espaciamiento entre Varillas) | 4.8 | m |
| Lr (Longitud de Cada Varilla de Aterrizaje) | 2.4 | m |
| n (número de Varillas) | 3.0 | Und |
| C (Calibre del Conductor) | 2 | AWG |
| Lc (longitud total del conductor) | 13.0 | m |
| h (profundidad de enterramiento) | 0.3 | m |
| Gráfico de Resistencia calculada y representación del Diseño SPT | | |
| <p>El gráfico de la izquierda muestra una curva de resistencia con el eje vertical etiquetado como 'RESISTENCIA' y el eje horizontal como 'DISTANCIA ENTRE VARILLAS (m)'. Se indican dos puntos de resistencia: 6.44 Ω a 1.0 m y 3.86 Ω a 4.8 m. El diagrama de la derecha muestra tres varillas de aterrizaje de longitud Lr = 2.4 m, separadas por una distancia d = 4.8 m. El conductor principal tiene una longitud total Lc = 13.0 m y se entierra a una profundidad h = 0.3 m. El nivel del suelo está etiquetado como 'Nivel del Suelo'.</p> | | |
| MATERIAL DE BAJA RESISTIVIDAD | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| N (número de bolsas CONDUCRETE) | No aplica | |
| N (número de bolsas GEM de 25 lb) | 25 | Bolsas |
| RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (Rg) | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| Rg (Resistencia total requerida) | < 5 | Ω |
| Rg (Resistencia total calculada sin GEM) | 6.44 | Ω |
| Rg (Resistencia total calculada con GEM) | 3.86 | Ω |
| COSTO APROXIMADO DE MATERIALES DEL SPT | | |
| Descripción de materiales | Precio Unitario | Precio Total |
| 3 - Varilla 5/8"(0.016m) x 8ft (2.4m) | USD 24.02 | USD 72.06 |
| 4 - (soldadura exotérmica 90g) | USD 8.57 | USD 34.28 |
| 13m - Cable Cu desnudo #2AWG | USD 10.30 | USD 133.90 |
| 26 - GEM premezclado o seco | USD 50.68 | USD 1,267.00 |
| Total | | USD 1,507.24 |
| DATOS DE LOS RESPONSABLES | | |
| Empresa Contratante | Técnico responsable | Revisión y aprobación |
| COMFORT EXPRESS | Pedro Su | Ing. Nelson López |

Tabla No. 21 Informe Diseño del SPT (Tres Electrodos en Línea)

| INFORME-Diseño del Sistema de Puesta a Tierra del panel eléctrico | | |
|---|---------------------|-----------------------|
| DATOS DE CAMPO (A - Rho) | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| Área disponible del Terreno | 1 | m ² |
| Resistividad del Terreno | 47.14 | Ω.m |
| TIPO DE CONDUCTOR (Conductor de cobre con aislamiento THHN) | | |
| Calibre (AWG O Kcmil) | No. de hilos | Diámetro (mm) |
| 8 | 7 | 3.71 |
| DISEÑO (d, Lr, n, c, Lc, h) | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| d (espaciamiento entre Varillas) | 0.0 | m |
| Lr (Longitud de la Varilla de Aterrizaje) | 2.4 | m |
| n (número de Varillas) | 1.0 | Und |
| C (Calibre del Conductor) | 8 | AWG |
| Lc (longitud total del conductor) | 4.0 | m |
| h (profundidad de enterramiento) | 0.3 | m |
| Representación del Diseño SPT | | |
| | | |
| MATERIAL DE BAJA RESISTIVIDAD | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| N (número de bolsas CONCRETE) | No aplica | |
| N (número de bolsas GEM de 25lb) | No aplica | |
| RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (Rg) | | |
| Descripción | Valor | Unidad de Medida |
| Rg (Resistencia total requerida) | < 25 | Ω |
| Rg (Resistencia total calculada sin GEM) | 19.04 | Ω |
| Rg (Resistencia total calculada con GEM) | No aplica | |
| COSTO APROXIMADO DE MATERIALES DEL SPT | | |
| Descripción de materiales | Precio Unitario | Precio Total |
| 1 - Varilla 5/8"(0.016m) x 8ft (2.4m) | USD 24.02 | USD 24.02 |
| 1 - (soldadura exotérmica 90g) | USD 8.57 | USD 8.57 |
| 4m - Cable #8AWG de Cu con aislamiento | USD 1.74 | USD 6.96 |
| GEM premezclado o seco | No aplica | USD 0.00 |
| Total | | USD 39.55 |
| DATOS DE LOS RESPONSABLES | | |
| Empresa Contratante | Técnico responsable | Revisión y aprobación |
| COMFORT EXPRESS | Pedro Su | Ing. Nelson López |

Tabla No. 22 Informe Diseño del SPT (Un Electrodo Vertical)