



Universidad Nacional del Caaguazú
con Sede en Coronel Oviedo
Facultad de Ciencias y Tecnológicas F.C.T.
Frailes Franciscanos Tor c/ Liosnel Stanley



“Diseño de Malla de Tierra.”

Autora:

- Elisa Rojas Girett.

Coronel Oviedo. Caaguazú. Paraguay

2013

Hoja de Advertencia

Por este medio, declaro que el presente Trabajo de Investigación titulado:

“Diseño de Malla de Tierra”

Es de mi autoría, a excepción de las citas y referencias que he empleado para fundamentar las argumentaciones realizadas, a las que he dado crédito a sus autores.

Así mismo, afirmo que este trabajo no ha sido presentado previamente, con éste o con algún otro nombre, para la obtención de otro título profesional o grado académico equivalente.

Como también otorgo esta trabajo a la Facultad de Ciencias y Tecnología para su uso y multiplicación de dicho material si así lo requiriese.

Hoja de Aprobación.

Título de Trabajo de Investigación: Diseño de Malla de Tierra.

Autora del Trabajo:

- Elisa Rojas Girett.

El presente Trabajo de Investigación es un requisito parcial para poder realizar posteriormente el trabajo de tesis para así llegar a optar al grado y título de: Ingeniera Eléctrica, en cumplimiento de los requisitos que señala el Reglamento Interno de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú.

Agradecimiento

Agradezco de corazón a mis padres
Y a mis hermanas y hermano.
y también a mis amigos
por el apoyo incondicional que me han
brindado.

Dedicatoria

Al terminar un trabajo como éste, el cual es el fruto de un gran esfuerzo donde la conclusión de la misma no es sólo un mérito para mi persona, puesto que no lo hubiese podido lograr sin el apoyo, consejo y orientación de mucha gente. Por lo cual lo dedico a cada uno de ellos que aparte de haberme apoyado me otorgaron su ayuda incondicional.

Quiero empezar dedicándole a aquellos que siempre han estado a mi lado, aquellas personas que son mis padres y hermanos que siempre me han dado su apoyo y aliento. Gracias a mis compañeros de clase y profesores que me han guiado en mis dudas.

Índice General.

Contenido

Hoja de Advertencia.....	3
Hoja de Aprobación.....	4
Agradecimiento	5
Dedicatoria.....	6
Índice General.....	7
Resumen.....	9
Introducción.....	10
Planteamiento del Problema.....	12
Preguntas de Investigación.....	14
Objetivos de la investigación	15
Justificación	16
Diseño Metodológico	17
1. Definición	18
1.1. Puesta a Tierra	18
1.2. Electrodo de tierra	18
1.3. Conexión equipotencial	18
2. Métodos de Puesta a Tierra.....	18
3. Medición de la Resistividad del Terreno	19
3.1. Configuración de electrodos para medida.....	19
3.2. Sondeo Eléctrico Vertical	20
3.3. Interpretación de las curvas de resistividad aparente	20
3.3.1. Método de los quiebres de curvas de resistividad.	20
3.3.2. Método de Curvas Patrón.	20
3.4. Resistividad equivalente del terreno.....	21
4. CONDUCTORES DE TIERRA	21
4.1. Conductor de protección de circuito	21
4.1.1. Conductores de conexión.	21
4.2. Electrodo de tierra	21
4.2.1. Barras	22

4.2.2.	Placas.....	22
4.2.3.	Electrodos horizontales.....	23
4.2.4.	Mallas de tierra.....	23
4.3.	Dimensionamiento de los conductores.....	24
4.3.1.	Conductores de servicio y de protección.....	24
5.	Métodos de Instalación.....	24
5.1.	Barras.....	24
5.2.	Planchas.....	25
5.3.	Electrodos horizontales.....	25
5.4.	Conexiones.....	25
5.4.1.	Conexiones mecánicas.....	25
5.4.2.	Conexiones bronceadas.....	26
5.4.3.	Uniones exotérmicas.....	26
5.4.4.	Conexiones soldadas en forma autógena.....	26
5.5.	Relleno.....	26
5.5.1.	Bentonita.....	27
5.5.2.	Yeso.....	27
5.5.3.	Aporte de sales “gel”.....	27
6.	MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	27
7.	Medición de la Impedancia de Electrodo de Tierra.....	28
8.	Comportamiento de Electrodo de Tierra.....	28
9.	Conclusión.....	30
10.	Bibliografía.....	31

Resumen

Existen varios métodos para realizar la medición de la resistividad entre ellos podemos citar a los siguientes: Método Wenner o también conocido como método de cuatro terminales, Método de caída de potencial o de Tres Puntos, también denominado 62%, Método Directo o de Dos Puntos.

La puesta a tierra de instalaciones eléctricas está relacionada en primer lugar con la seguridad. El sistema de puesta a tierra se diseña normalmente para cumplir dos funciones de seguridad, la de seguridad y la de servicio. La primera es establecer conexiones equipotenciales. Toda estructura metálica conductiva expuesta que puede ser tocada por una persona, se conecta a través de conductores de conexión eléctrica.

La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada. La conexión eléctrica es para asegurar que, si tal falla ocurriese, entonces el potencial sobre todas las estructuras metálicas conductivas expuestas sea virtualmente el mismo.

Introducción.

El suelo al igual que un material conductor se opone al paso de la corriente eléctrica y por lo tanto ofrece una resistencia. Donde el factor más importante de la Resistencia de Tierra es la Resistividad de él, por ello es requisito indispensable conocerla para así poder llegar a calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas.

Donde la resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es más bien conocida como la resistencia específica que posee el terreno. Cuando se realiza la medición de la misma se debe promediar los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente". La resistividad de un terreno depende de varios factores tales como: el tipo de suelo, compactación, composición misma del terreno, Humedad, temperatura, entre otros.

Existen varios métodos para realizar la medición de la resistividad entre ellos podemos citar a los siguientes: Método Wenner o también conocido como método de cuatro terminales, Método de caída de potencial o de Tres Puntos, también denominado 62%, Método Directo o de Dos Puntos.

Mientras que la puesta a tierra de instalaciones eléctricas está relacionada en primer lugar con la seguridad. El sistema de puesta a tierra se diseña normalmente para cumplir dos funciones de seguridad, la de seguridad y la de servicio. La primera es establecer conexiones equipotenciales. Toda estructura metálica conductiva expuesta que puede ser tocada por una persona, se conecta a través de conductores de conexión eléctrica. La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada. La conexión eléctrica es para asegurar que, si tal falla ocurriese, entonces el potencial sobre todas las estructuras metálicas conductoras expuestas sea virtualmente el mismo. En otras palabras, la conexión eléctrica iguala el potencial en el interior del local, de modo que las diferencias de potencial resultantes son mínimas. De este modo, se crea una «plataforma» equipotencial.

Los electrodos de puesta a tierra estarán formados por materiales metálicos en forma de varillas, cables, chapas, perfiles, que presenten una elevada resistencia a la corrosión por sí mismos. Los electrodos podrán disponerse de las siguientes formas: Jabalinas hincadas en el terreno, constituidas por tubos, barras u otros perfiles, que podrán estar formados por elementos empalmables, Varillas, barras o cables enterrados, dispuestos en forma radial, mallada, anular, Placas o chapas enterradas.

Los conductores enterrados, sean de varilla, cable o planchuela, deberán ser de cobre o de acero recubierto de cobre y deberán tener una sección mínima de 35 mm². El espesor mínimo de las planchuelas y el diámetro mínimo de los alambres de los cables no será inferior a 2 mm en el caso de cobre, y 3 mm en el caso de acero recubierto de cobre.

Planteamiento del Problema

Es bien sabido que la mayoría de los sistemas eléctricos necesitan tener un sistema de puesta a tierra y que esta práctica probablemente se inició en los primeros días de los experimentos eléctricos, donde la práctica ha continuado y se ha desarrollado de manera progresiva, de modo que tales conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos en el sistema eléctrico. Esto incluye la estación generadora, las líneas y los cables que distribuyen la energía eléctrica y los locales en los cuales se utiliza. La necesidad de esta conexión se considera sagrada en las instalaciones eléctricas.

Aún cuando actualmente la puesta a tierra constituye una parte intrínseca del sistema eléctrico, permanece en general como un tema mal comprendido puesto que no le dan las debidas atenciones y creen estar haciendo un buen trabajo, pero es de vital importancia recalcar que una instalación eléctrica sin puesta a tierra vendría a ser como un ser humano sin piernas. Al referirse a este tema hay un dicho que se ajusta a la mencionada, que dice que es mejor dejar una instalación sin puesta a tierra que hacerlo de mala manera, ya que una mala puesta a tierra no sólo está poniendo en peligro los equipos eléctricos sino la propia vida de un ser humano, puesto que la Puesta a Tierra es de protección no de riesgo. Donde el objetivo principal de un sistema de puesta a tierra es la protección en primer lugar del ser humano y en segundo plano la protección de los equipos eléctricos conectados a la red de energía eléctrica, de aquí surge la investigación de este tema puesto que muchos no manejan la importancia que conlleva tener una instalación eléctrica y contar con un sistema de puesta a tierra (SPT) en pésimas condiciones o hasta incluso de no contar con uno. Aunque este tema sea bastante extenso se le debe de dar su correspondiente lugar para que de esta manera se logre proteger ya sea la vida humana o la de los aparatos. Pero una puesta a tierra no solo es instalarla sin estudios previos del lugar y dejarlo de manera permanente en esas condiciones, ya que para efectuar un trabajo adecuado y correcto hay varios pasos que se deben de seguir y acá esta el principal problema cuando hay un sistema de puesta tierra que muchas veces se la implementa pero de manera errónea ya que no hacen el estudio de la tierra existente en el lugar puesto que el factor primordial viene a ser la resistencia de suelo adecuada para la implementación de la malla de tierra, además de esto en la actualidad muchas instalaciones se realizan en condiciones muy precarias ya sea por falta de

conocimientos o por el simple hecho de parte de los instaladores de no realizar las instalaciones de acuerdo a las especificaciones técnicas. A parte de estos inconvenientes citados en la parte superior también se puede destacar los trabajos bien hechos pero con faltas de mantenimientos, puesto que los sistemas de puesta a tierra al terminar de instalarlos se debe de controlarlo cada un tiempo para que de esta manera evitar el deterioro de los componentes de la instalación y asegurar al máximo la integridad y seguridad de los equipos eléctricos que protegen y de los operadores del mismo o de cualquier persona que pueda estar en contacto con ella.

Surge así una oportunidad para explicar más claramente los conceptos de puesta a tierra y una necesidad que esto se traspase a los diseñadores de sistemas de puesta a tierra y a los instaladores, de modo que pueda lograrse una mayor comprensión del tema.

Por puesta a tierra generalmente entendemos una conexión eléctrica a la masa general de la tierra, siendo esta última un volumen de suelo, roca etc., cuyas dimensiones son muy grandes en comparación al tamaño del sistema eléctrico que está siendo considerado.

Preguntas de Investigación.

General:

- ¿Cuál es la finalidad de una malla de Tierra?

Específicas:

- ¿Qué efecto positivo presenta una buena instalación de malla de Tierra?
- ¿Qué efecto negativo acarrea la mala implementación de una puesta a tierra?
- ¿Cuáles son los pasos específicos a seguir para la instalación de una malla de tierra

Objetivos de la investigación.

General:

- Determinar la finalidad de una malla de tierra.

Específicos:

- Definir los aspectos relacionados con una buena instalación de una malla de tierra.
- Identificar las condiciones del suelo para una buena realización de la puesta a tierra.
- Describir cuales son los pasos necesarios para poder llevar a cabo una instalación de Malla de Tierra.

Justificación

La importancia de éste trabajo radica en que debido a las malas instalaciones del sistema de puesta a tierra (SPT) que vendría a representar un riesgo inclusive mortal para los seres humanos que puedan estar cerca de la misma, al igual que puede estar no solo reduciendo la vida útil de los equipos eléctricos a los cuales se les realiza la correspondiente instalación del sistema de malla de tierra sino que si se produjese un error en la instalación , es decir que por falta de un buen trabajo se estaría dejando fuera de funcionamiento a dichas maquinas, aunque los equipos, se pueden volver a comprar y el problema termina pero la vida humana ya no se puede reponer por este motivo en principal el diseño se debe realizar por personales calificados en el área y que a a su vez mantengan programas de revisión de la instalación terminada para que de esta manera se tenga un control de la instalación para poder su correcto funcionamiento.

Se decide llevar una investigación acerca de los pasos necesarios a ser realizados para que de esta manera se pueda obtener una correcta instalación de la malla de tierra y al final de esto se llevara a la práctica dicho diseño participando de la puesta en marcha de una correcta implementación del sistema, para que de esta manera aparte del conocimiento adquirido en el momento de realizar las revisiones y la correspondiente transcripción se pueda enriquecerla con la práctica.

Esta puesta en marcha del proyecto fue llevado a cabo por mi tutor Técnico que gracias a su ayuda pude ser partícipe de dicha actividad, en la que no solo trajo consigo mi propio beneficio sino el de la empresa a la cual se efectuó dicha tarea y a cada uno de aquellos personales que estarán en continuo contacto con la instalación de manera a asegurar su integridad fisica y la de la maquina a la cual estarán operando.

El tema del diseño de un sistema de puesta a tierra es un tema bastante amplio que para realizarlo de la manera adecuada requiere de una serie de actividades pos y pro después de su instalación. Pero el primer paso a llevarse a cabo y el más importante es el conocimiento teórico para que de esta manera se pueda llevarlo de la manera adecuada al campo. Luego de este conocimiento solo queda llevarlo a la practica de la manera más adecuada posible y nunca olvidar que el diseño de una malla de tierra es para protección no para RIESGO.

Diseño Metodológico

Tipo de Investigación:

- **Según su naturaleza:** La investigación es cualitativa porque con este trabajo se apuntará a demostrar la manera correcta de diseñar una malla de tierra.
- **Según su Objeto:** es experimental porque la investigación representará la manera correcta de llevar a cabo la instalación (malla de tierra)
- **Según periodo y secuencia:** transversal.
- **Según tiempo de ocurrencia de los hechos:** retrospectiva prospectiva porque para dicha investigación se basará en datos pasados como presentes para el análisis del problema.
- **Según nivel:** la investigación será descriptiva y explicativa porque se describirá los hechos del problema y a la vez se llegará a explicar los pasos necesarios para la puesta en marcha de una malla de tierra.

Población y Muestra:

Métodos: Deductivo

Técnicas: Observación, Formularios.

Instrumentos: notas acerca de los acontecimientos que se vayan ocurriendo así como cámaras fotográficas para captar los hechos.

1. Definición

1.1. Puesta a Tierra: por puesta a tierra se entiende como la conexión de un conductor eléctrico (electrodo) enterrado en el suelo con la finalidad de dispersar corrientes eléctricas y captar el potencial de referencia cero. Son instaladas para la protección de personas y de las maquinas. ¹

Se puede definir la **puesta** o **conexión a tierra** como la conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación, sin fusibles ni otros sistemas de protección, de sección adecuada y uno o varios electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas al terreno, no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o la de descarga de origen atmosférico.

1.2. Electrodo de tierra: El electrodo de tierra es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el terreno y así proporciona un medio para botar o recoger cualquier tipo de corrientes de fuga a tierra

1.3. Conexión equipotencial: Consiste en establecer una conexión conductiva directa entre la tierra de protección y todos los elementos conductores expuestos que pudieran quedar energizados bajo una condición de falla. La conexión conjunta de todas las estructuras metálicas normalmente expuestas, y la conexión de éstas al terminal de tierra, previene la posibilidad de una diferencia de potencial peligrosa que surja entre conductores adyacentes ya sea bajo condiciones normales o anormales.

2. Métodos de Puesta a Tierra

La función del sistema de puesta a tierra es doble:

- proporcionar un camino definido de regreso a la fuente de energía y con impedancia suficientemente baja, vía los conductores de tierra, de tal modo que ante el evento de una falla a tierra de un conductor activo, fluya por una ruta predeterminada una corriente suficiente, que permita operar al dispositivo de protección del circuito.

¹ Diseño y Ejecución de una Puesta a Tierra de Baja Resistencia. Qqueshuayll Cancha, Wilbert Rene. p. 10

- limitar a un valor seguro la elevación de potencial en todas las estructuras metálicas a las cuales tienen normalmente acceso personas y animales, bajo condiciones normales y anormales del circuito.

3. Medición de la Resistividad del Terreno

La resistividad del terreno es de importancia decisiva en el diseño de una puesta a tierra y la única forma de conocerla con exactitud es mediante medidas directas de campo. Se considera al terreno formado por capas o estratos homogéneos, de resistividad uniforme y espesor fijo.

3.1. Configuración de electrodos para medida

Una configuración básica de medida es la configuración de Schlumberger.

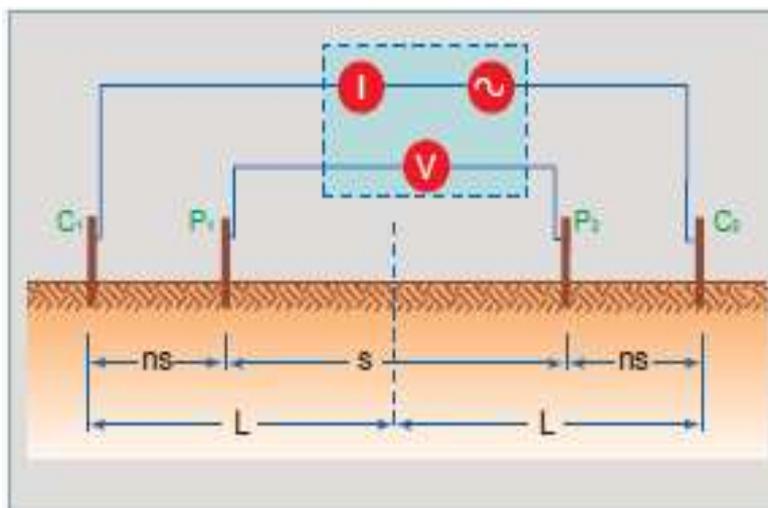


Figura1.1. Configuración de Schlumberger

Los cuatro electrodos, tipo barra corta, se ubican en línea recta, cada par (potencial y corriente) simétricamente ubicados con respecto al centro de medición elegido. Los electrodos se ubican a distancias relativamente grandes comparadas con la profundidad de enterramiento, de modo de suponerse a éstos como 8 fuentes puntuales de corriente.

Esta configuración conduce a la determinación de una «resistividad aparente», que se define como aquella correspondiente a un terreno homogéneo en el cual, para la disposición dada de electrodos e igual

magnitud de corriente inyectada al medio, se produce una misma elevación de potencial medida en el terreno no homogéneo.

3.2. Sondeo Eléctrico Vertical

El centro y el eje de medición se mantienen fijos mientras se aumenta la separación entre electrodos de corriente. Se grafica una curva de resistividad aparente en función de la separación de los electrodos. Su finalidad es la determinación del número de capas del subsuelo, espesor y resistividad eléctrica de las mismas.

3.3. Interpretación de las curvas de resistividad aparente

3.3.1. Método de los quiebres de curvas de resistividad.

En general, las curvas de resistividad aparente se aproximan en forma asintótica a los valores de resistividad de la primera y última capa. El número de capas o estratos a que puede asimilarse el terreno se determina por el número de puntos de inflexión que posee la curva de resistividad aparente, aumentado en uno.

3.3.2. Método de Curvas Patrón.

La curva de sondeo eléctrico con una configuración electródica determinada, para un modelo geoelectrico definido, es una función analítica conocida y existen numerosas curvas teóricas de resistividad llamadas «Curvas Patrón», que contemplan combinaciones de capas de diferentes resistividades y espesores.

El problema inverso, dada una curva de sondeo eléctrico vertical obtenida mediante medidas de campo, deducir y conocer la estructura geoelectrica que la ha producido, no tiene solución única. En la práctica, suponiendo que a cada curva de campo le corresponde una única estructura, se compara la curva de campo con las curvas de resistividad aparente patrón. Si se obtiene un calce perfecto entre la curva de terreno y una curva patrón, se supone que la estructura del terreno es idéntica a la teórica. Las curvas se construyen en papel bilogarítmico y están normalizadas, con el objeto de independizarse de las unidades y magnitudes de la medición, interesando sólo la forma de ella. De estas curvas patrón las de mayor uso son las de Orellana y Mooney. También es

posible representar computacionalmente estas curvas y efectuar el ajuste por pantalla, ingresando la curva de terreno, o bien proceder a un ajuste automático de los datos de terreno por algún método de adaptación de curvas.

3.4. Resistividad equivalente del terreno

Los procedimientos simplificados de análisis y diseño de puestas a tierra, están basados en la suposición de terreno homogéneo. Para su aplicación, se debe reducir el modelo de terreno estratificado general, a un modelo práctico de terreno homogéneo equivalente, caracterizado por un sólo parámetro, la resistividad equivalente.

4. CONDUCTORES DE TIERRA

Hay dos tipos principales de conductores de tierra

- Los conductores de protección (o de conexión) y
- Los electrodos de tierra

4.1. Conductor de protección de circuito

Es un conductor separado instalado con cada circuito y está presente para asegurar que parte o toda la corriente de falla regrese a la fuente a través de él. Puede ser un conductor individual, la cubierta metálica exterior de un cable o la estructura de un ducto metálico.

4.1.1. Conductores de conexión.

Estos conductores aseguran que las partes conductivas expuestas (tales como carcasas metálicas) permanezcan aproximadamente al mismo potencial durante condiciones de falla eléctrica.

4.2. Electrodos de tierra

El electrodo de tierra es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el terreno y así proporciona un medio para botar o recoger cualquier tipo de corrientes de fuga a tierra.

Los electrodos de tierra deben tener propiedades mecánicas y eléctricas apropiadas para responder satisfactoriamente a las sollicitaciones que los afectan, durante un período de tiempo relativamente largo. El material debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro de un amplio rango de condiciones de suelo. El material preferido generalmente es el cobre.

El electrodo puede tomar diversas formas: barras verticales, conductores horizontales, placas, combinación de conductores horizontales y barras verticales (mallas de tierra).

4.2.1. Barras

Esta es la forma más común de electrodos, cuando no se requiere controlar los potenciales de superficie. Su costo de instalación es relativamente barato y pueden usarse para alcanzar en profundidad, capas de terreno de baja resistividad.

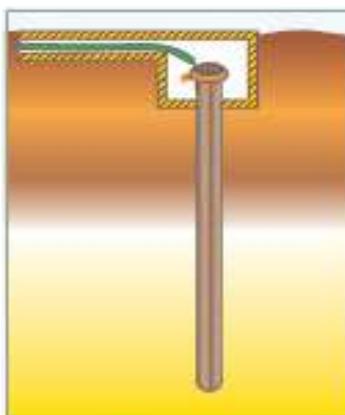


Figura4.1. *Barra de tierra*

La barra es de cobre puro o de acero recubierto de cobre. El tipo recubierto se usa cuando la barra se entierra por medios mecánicos (impacto) ya que el acero empleado tiene alta resistencia mecánica. La capa de cobre debe ser de alta pureza y aplicada electrolíticamente para que no se deslice al enterrar la barra.

4.2.2. Placas

Los electrodos de placa son de cobre o de acero galvanizado.

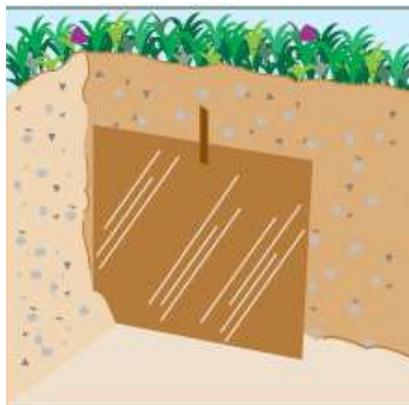


Figura4.2. Placas de tierra

4.2.3. Electrodo horizontales.

Están hechos de cintas de cobre de alta conductividad o conductores retorcidos (cables). La cinta es el material más conveniente pues para una sección dada de material presenta una mayor superficie y se considera que tiene un comportamiento mejor a alta frecuencia. Puede ser más difícil de conectar (por ejemplo a barras verticales), de modo que puede significar un costo de instalación levemente mayor.

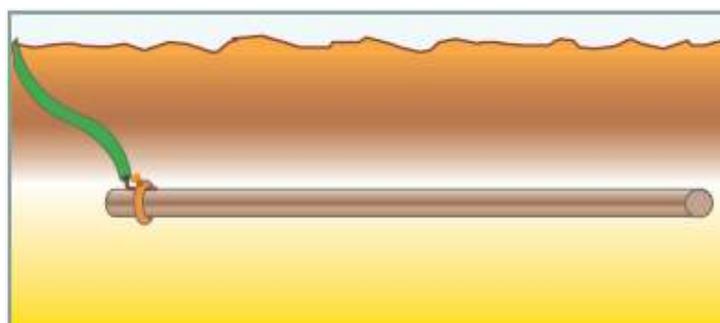


Figura4.3. Electrodo Horizontal.

4.2.4. Mallas de tierra

Es un reticulado formado por la unión de conductores horizontales, normalmente según direcciones perpendiculares y uniformemente espaciados, incluyendo eventualmente conductores verticales (barras). Se utiliza especialmente cuando el objetivo principal de la puesta a tierra es mantener un control de potenciales en la superficie del terreno, con un bajo valor de resistencia.

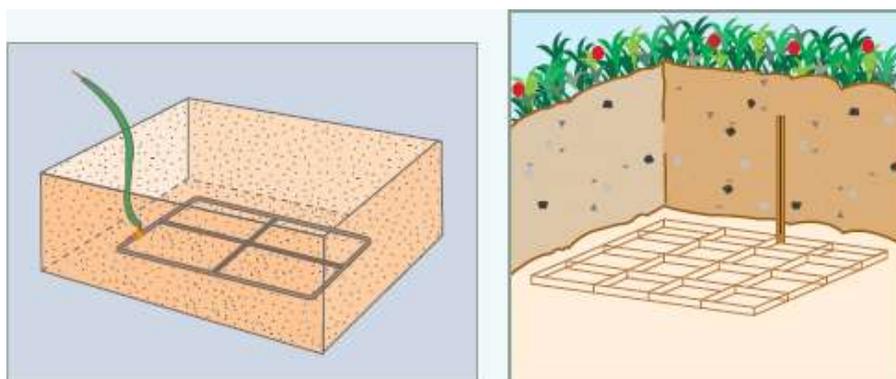


Figura4.4. Malla de Tierra.

4.3. Dimensionamiento de los conductores

4.3.1. Conductores de servicio y de protección

La dimensión de los conductores de los sistemas de servicio, debe calcularse conforme al valor de la corriente de servicio que circule por ellos.

5. Métodos de Instalación

Cuando se instalan electrodos de tierra, se deben satisfacer tres condiciones:

- El trabajo debe realizarse eficientemente para minimizar costos de instalación.
- El terreno o material de relleno usado no debe tener un índice de acidez pH que cause corrosión al electrodo.
- Todas las uniones o conexiones bajo tierra deben ser construidas de modo que no se presente corrosión en la unión o conexión.

El método de instalación, relleno y conexiones dependerá del tipo de sistema de electrodos que se usará y de las condiciones del terreno.

5.1. Barras

Generalmente la instalación de electrodos del tipo barras es la más conveniente y económica. Los métodos de instalación incluyen accionamiento manual, accionamiento mecánico y perforación.

Las barras están acondicionadas con una cabeza endurecida y una punta de acero para asegurar que la barra misma no se dañe durante el proceso.

5.2. Planchas

Las planchas requieren mayor excavación manual o mecánica y, por lo tanto, el costo de instalación puede ser muy alto. Debido al elevado costo de instalación, hoy día rara vez se justifica usar planchas, y las existentes, cuando se detecta deterioro, son reemplazadas normalmente por una agrupación de barras.

5.3. Electrodo horizontales

Pueden ser instalados en surcos directamente en el terreno o más frecuentemente en zanjas de hasta un metro de profundidad. Una buena oportunidad de instalación es tender el conductor durante las excavaciones para obras civiles, previniendo daño o robo del conductor, una vez tendido.

5.4. Conexiones

Las conexiones entre los diferentes componentes deben ser mecánicamente robustas, tener buena resistencia a la corrosión y baja resistividad eléctrica. Es prudente evitar uniones y conexiones innecesarias.

Debe considerarse la duración y el valor de corriente de falla que se espera que soporte el sistema de tierra.

Los métodos de unión empleados incluyen métodos mecánicos, soldadura en fuerte (bronceado), soldadura exotérmica y soldadura por fusión autógena.

5.4.1. Conexiones mecánicas

Las de uso más frecuente son la conexión apernada (en el caso de cintas o barras de sección rectangular) y la conexión por compresión (abrazadera). Es esencial una conexión eléctrica de baja resistencia. En las conexiones apernadas, debe tenerse cuidado con el tamaño de las perforaciones taladradas para acomodar el perno, para no perjudicar la capacidad de transporte de corriente de la cinta o barra.

El método de unión por remache no es aceptable, pues los remaches se sueltan y rompen por vibración, oxidación, etc.

5.4.2. Conexiones bronceadas

La conexión bronceada se aplica ampliamente al cobre y a aleaciones de cobre. Es esencial disponer las superficies planas limpias pues los materiales de bronceado no fluyen como la soldadura. Es esencial además una buena fuente de calor, particularmente para conectores grandes. La técnica emplea alta temperatura y bronce como material de relleno, que es el que más se ajusta al cobre.

5.4.3. Uniones exotérmicas

Estas uniones se realizan mediante un molde de grafito que se diseña para ajustar el tipo específico de unión y el tamaño de los conductores. Usando una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvos de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre virtualmente puro entorno a los conductores. La reacción de alta temperatura se produce en el interior del molde de grafito.

Los metales que pueden conectarse son acero inoxidable, bronce, cobre, acero con recubierta de cobre, acero galvanizado y riel de acero.

5.4.4. Conexiones soldadas en forma autógena.

Cuando necesitan unirse componentes de cobre de gran tamaño, se usa soldadura autógena en ambiente gaseoso. El arco eléctrico proporciona el calor, mientras que el área entorno al electrodo y la soldadura es envuelta por un gas tal como argón, helio o nitrógeno. Este último se usa ampliamente como el "gas inerte" cuando se suelda cobre. El aluminio puede soldarse vía arco de gas inerte de tungsteno o arco de gas inerte de metal. También en este caso (aluminio) se usa algunas veces la soldadura en frío a presión.

5.5. Relleno

Derramando una mezcla de sustancias químicas y de tierra alrededor del electrodo, se obtendrá una reducción inmediata y significativa en su resistencia de puesta a tierra. Sin embargo, si los elementos químicos usados se eligen debido a que son solubles, continuarán diluyéndose progresivamente por agua de lluvia u otra causa y la resistividad del suelo

entonces aumentarán, hasta eventualmente retornar a su valor original. Se necesita un mantenimiento regular para reaprovisionamiento de los elementos químicos diluidos. Además del costo de mantenimiento, debe considerarse el impacto en el ambiente local de las sustancias químicas incorporadas, lo que puede entrar en conflicto con la legislación de protección al ambiente. Esta razón descarta un grupo de materiales que antiguamente se empleaban como relleno. En particular, materiales que no debieran ser usados como relleno son: arena, polvo de coque, ceniza, y otros materiales ácidos y/o corrosivos.

El material de relleno debe ser no-corrosivo, de un tamaño de partícula relativamente pequeño y, si fuera posible, que ayude a retener la humedad.

Materiales especiales de relleno para producir este efecto, son:

5.5.1. Bentonita

Es una arcilla de color pardo, de formación natural, levemente alcalina, con un pH de 10,5. Puede absorber casi cinco veces su peso de agua, reteniéndola y de este modo expandirse hasta treinta veces su volumen seco.

5.5.2. Yeso

Ocasionalmente, el sulfato de calcio (yeso) se usa como material de relleno, ya sea solo o mezclado con Bentonita o con el suelo natural del área. Tiene baja solubilidad, y baja resistividad.

5.5.3. Aporte de sales “gel”.

Dos o más sales en solución acuosa, acompañadas de catalizadores en la proporción adecuada, reaccionan entre sí formando un precipitado en forma de “gel” estable, con una elevada conductividad eléctrica (resistividad de aproximadamente 1 Ohm-metro), resistente al ambiente ácido del terreno, con buenas cualidades higroscópicas e insoluble al agua.

6. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

El método aceptado para verificar la condición de un electrodo de tierra es mediante prueba o ensayo desde superficie. Sin embargo, la prueba de impedancia del sistema de tierra no necesariamente detectará, por ejemplo, corrosión en algunas componentes del electrodo o en las uniones y no es suficiente para indicar que el sistema de puesta a tierra está en buenas condiciones.

La frecuencia del mantenimiento y la práctica recomendada en cualquiera instalación depende del tipo y tamaño de la instalación, su función y su nivel de voltaje. Por ejemplo, se recomienda que las instalaciones domésticas se prueben cada cinco años y las instalaciones industriales cada tres. Los locales con acceso de público requieren inspección más frecuente y dentro de los que requieren una inspección anual están las estaciones bencineras, teatros, cines y lavanderías.

7. Medición de la Impedancia de Electrodo de Tierra

La medida del valor óhmico de un electrodo enterrado se realiza por dos razones:

- Confrontar su valor, posteriormente a la instalación y previo a la conexión del equipo, contra las especificaciones de diseño.
- Como parte del mantenimiento de rutina, para confirmar que su valor no ha aumentado sustancialmente respecto del valor medido originalmente o de su valor de diseño.

El método más común para medir el valor de resistencia a tierra de electrodos de pequeño o mediano tamaño, se conoce como el método de “caída de potencial”.

8. Comportamiento de Electrodo de Tierra

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

- lograr un valor requerido de impedancia
- asegurar que los voltajes de paso y contacto son satisfactorios.

Los factores que influyen la impedancia son:

- Las dimensiones físicas y atributos del sistema de electrodos de tierra.
- Las condiciones del suelo (composición, contenido de agua, etc.).

9. Conclusión

Puesta a tierra es el aterramiento físico o la conexión de un equipo a través de un conductor hacia tierra. La tierra está compuesta por muchos materiales, los cuales pueden ser buenos o malos conductores de la electricidad pero la tierra como un todo, es considerada como un buen conductor. Por esta razón y como punto de referencia, al potencial de tierra se le asume cero. La resistencia de un electrodo de tierra, medido en ohmios, determina que tan rápido, y a que potencial, la energía se equipara. De esta manera, la puesta a tierra es necesaria para mantener el potencial de los objetos al mismo nivel de tierra.

La función principal desarrollada por los Sistemas de Puesta a Tierra son la Protección de Usuarios que se basa en la protección contra la descarga atmosférica o de los cortocircuitos derivando las corrientes de defecto de tierra sin que se generen tensiones peligrosas y la Protección de Equipos facilitando una ruta de evacuación de baja impedancia de las corrientes de defecto, que evite la presencia de sobretensiones peligrosas en dichos equipos.

También se cuenta con la Tierra de Protección son los sistemas eléctricos que se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en casos de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien, para limitar el potencial máximo con respecto a tierra, producto por la tensión nominal del sistema. Este tipo de conexión se denominará Tierra de Servicio.

Tierra de Servicio. Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario u usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará Tierra de Protección.

10. Bibliografía

Fuentes Impresas

[1] Arosemena Salem, Carlos Julio. **Protección y Seguridad a las personas y sistemas de Puesta a Tierra**, 1996.

[2] CEEESA. MASS Tierra Zapopan. **ABC de los Sistemas de Puesta a Tierra y Pararrayos**, Jalisco, México.

[3] Ing. Mariani, Eduardo. **Sistemas de puesta a tierra para instalaciones de baja tensión**.

[4] **Puesta a Tierra de las Instalaciones**, Unidad Didáctica 10.

[5] Pro Cobre. **Mallas de Tierra**, 1999, 1ª edición, Santiago de Chile.

[6] **Reglamento para Instalaciones Eléctricas de Media Tensión**, 1975, Administración Nacional de Electricidad, ANDE, Asunción, Paraguay.

Consultas en línea

[1] Ing. Rojas, Gregor. **Manual de Sistemas de Puesta a Tierra**. Disponible en: <https://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf> [fecha de acceso 2013, 20 de enero].

[2] Llorente, Manuel, (2010). **Sistema de Puesta a Tierra**. Disponible en: <http://es.slideshare.net/fnuno/sistemas-de-puesta-a-tierra> [fecha de acceso 2013, 10 de enero].

[3] **Puesta a Tierra y Conductores de Protección**. Disponible en: http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/iiee/Documentos/Teorico/Puesta_tierra.pdf [fecha de acceso 2013, 10 de enero].