

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



**“ELIMINACIÓN DE DIFERENCIAS DE POTENCIAL PELIGROSAS
MEDIANTE POZOS Y MALLA A TIERRA PARA LAS INSTALACIONES
DEL EDIFICIO SWISS TOWER DE LA CIUDAD DE LIMA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PALOMINO CORONEL, KELLY STEPHANY

Villa El Salvador

2015

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que formaron parte de mi vida universitaria y que han hecho posible que pueda desarrollarme y culminar con éxito mis estudios profesionales.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los buenos docentes de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ya que con su dominio y entereza en las materias impartidas han despertado en mí persona el ímpetu por la investigación y desarrollo profesional, en especial al Mg. Martin Gonzales Bustamante.

ÍNDICE

Listado de figuras.....	5
Listado de tablas.....	6
Introducción.....	7
1. Capítulo I: Planteamiento del problema	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	11
1.2. Justificación del Problema.....	12
1.3. Delimitación del Proyecto.....	13
1.4. Formulación del Problema.....	13
1.5. Objetivos.....	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	14
2. Capítulo II: Marco teórico	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	15
2.2 Bases Teóricas.....	18
2.3 Marco Conceptual.....	74
3. Capítulo III: Descripción del sistema	
3.1 Análisis de las características a considerar para el diseño de los pozos y malla a tierra.....	78
3.2 Diseño del pozo y malla a tierra.....	81
3.3 Revisión y consolidación de resultados.....	88
4. Conclusiones.....	92
5. Recomendaciones.....	93
6. Bibliografía.....	94
7. Anexos.....	96

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 01: Método de Wenner

Figura N° 02: Método De Schlumberger

Figura N° 03: Electrodo hemisférico de radio a.

Figura N° 04: Distribución del potencial de un electrodo de punta

Figura N° 05: Líneas equipotenciales

Figura N° 06: Influencia de la separación entre electrodos en el efecto de apantallamiento

Figura N° 07: Variación de la Resistencia con la distancia

Figura N° 08: Electrodo en diversas posiciones

Figura N° 09: Electrodo de placa y varilla

Figura N° 10: Sistemas de Puesta a tierra en CD

Figura N° 11: Sistema TN

Figura N° 12: Dimensiones del Pozo a Tierra Vertical

Figura N° 13: Esquema del Contrapeso

Figura N° 14: Caja de Barra Equipotencial

Figura N° 15: Barra Equipotencial

Figura N° 16: Medición de la Resistencia con el Telurómetro KYORITSU MODEL

Figura N° 17: Trabajo a Nivel de Campo para la obtención de Resultados

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 01: Sección de los conductores de protección

Tabla N° 02: Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipo.

Tabla N° 03: Conductor del electrodo de tierra de instalaciones

Tabla N° 04: Temperatura máxima de fusión

Tabla N° 05: Cálculo de la Resistencia R_1 – Baja Tensión, Cómputo y Ascensores.

Tabla N° 06: Cálculo de la Resistencia R_T – Baja Tensión, Computo y Ascensores

Tabla N° 07: Cálculo de la Resistencia R_1 – Sistema de Sub Estaciones Eléctricas MT.

Tabla N° 08: Cálculo de la Resistencia R_T – Sistema de Sub Estaciones Eléctricas MT.

Tabla N° 09: Pasos Seguidos para la colocación del electrodo Tipo Cable 70mm

Tabla N° 10: Protocolo – Medición de Pozo a tierra

Tabla N° 11: Protocolo – Medición de Malla

Introducción

El crecimiento económico del Perú viene siendo hasta hace unos años un ejemplo para la región y el mundo. Dicho crecimiento se traduce en el crecimiento de diversos sectores productivos, entre ellos, el sector construcción, como una de las actividades más dinámicas de la economía peruana. Parte de este crecimiento, se debe al fuerte impulso del sector privado a través del crecimiento del empleo y a las facilidades otorgadas por el sistema financiero para la construcción de edificaciones. Sin embargo, y a pesar del optimismo reinante el buen comportamiento de la actividad constructora en Perú debe venir acompañada de una necesaria seguridad integral, parte de la cual se encuentra comprendida por los sistemas eléctricos.

En el Perú, la puesta de sistemas eléctricos se encuentra reglamentada y enmarcada en una normatividad que asegura casi la totalidad de los aspectos a considerar, sin embargo hablar de puestas a tierra en un proyecto de construcción es hablar del último elemento a considerar.

Como sabemos, generalmente, los tomacorrientes y enchufes en nuestro país tienen dos polos o puntos de contacto, que no ofrecen suficiente seguridad, para ello, hace falta un tercer conductor de puesta a tierra que es un sistema de descarga de energía eléctrica. El conductor de puesta a tierra se inicia en un pequeño punto del edificio, o debajo de la superficie de la construcción y es de fácil instalación. De esta forma y ante posibles fallas de aislamiento de los

conductores de algunos equipos eléctricos, se corre el riesgo de que la cubierta metálica de éstos quede con tensión eléctrica. En estos casos, la puesta a tierra conduce la electricidad alejando el peligro en una forma segura.

Un sistema de puesta a tierra es un 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. Su propósito es proteger y permitir la normal operación de los diversos sistemas eléctricos y electrónicos y principalmente la seguridad de las personas que están en contacto o en áreas de influencia de sistemas eléctricos.

En la práctica la pregunta que se hacen todos es, qué tan importante es la puesta a tierra. Pensemos en una posible falla, la cual, según los especialistas constructores de la puesta a tierra, aseguran que nunca les ha ocurrido y por tanto no ocurrirá, pero si ocurre, y un equipo costoso se quema, podríamos pensar que obviamente fue culpa de la puesta a tierra, como suele decirse, pero pensemos ahora en una situación peor, que algún familiar querido toque uno de los equipos y la falla sea suficiente para dejarlo sin vida, acaso, no hubiese escatimado en invertir tiempo y dinero en proyectar la mejor protección, para que su familiar no corra ningún riesgo, y mucho menos pierda la vida.

La puesta a tierra es uno de los elementos que conforma un sistema de protección, el mismo que está conformado por varios elementos y todos deben diseñarse y especificarse adecuadamente, siguiendo las recomendaciones

normativas. Si alguno de estos elementos falla o no cumple su función cuando se le exige hacerlo, entonces podríamos tener consecuencias irreparables, por tanto especificar, detallar e invertir tiempo y recursos para asegurarnos que todo funcione correctamente, es responsabilidad de todos, desde el proyectista hasta el dueño y usuario.

Un sistema de puesta a tierra involucra conocer la resistividad del suelo, las diferentes configuraciones de los sistemas de distribución, el cálculo apropiado de la configuración del electrodo elegido, los lineamientos para su construcción económica y las modalidades de mantenimiento. Todo ello para mantener la resistencia de un valor referencial apropiado y los potenciales dentro de los niveles esperados.

La resistividad es uno de los principales parámetros del comportamiento del suelo y como este es uno de los componentes involucrados en un sistema de puesta a tierra se vuelve determinante para un diseño correcto; este parámetro se mide fundamentalmente para encontrar los puntos más apropiados para localizar los sistemas de puesta a tierra. La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste para conducir electricidad, es conocida como la resistencia específica del terreno.

Si nuestro sistema de puesta conformado por pozos y malla a tierra, es correcto y con garantía, no solo podríamos evitar desgracias por esta deficiencia, sino que daríamos un valor agregado a destacar a la hora de ofrecer una venta, alquiler o similar a nuestros clientes.

Es necesario enfocar nuestro esfuerzo en brindar seguridad a nuestros proyectos de construcción y en ese sentido es necesario invertir tiempo y recursos en proponer y concretar lo correcto, informarnos y actualizarnos en las tecnologías adecuadas y sobre todo pensar que el valor de una vida se antepone a cualquier ahorro u omisión.

Capítulo I

Planteamiento del problema

1.1 Descripción de la realidad problemática

El edificio de oficinas Swiss Tower está construido sobre principios de los llamados edificios inteligentes, es decir es una edificación en la que se hace intervenir desde la concepción del proyecto, la aplicación integral de los conceptos que nos delinea actualmente la arquitectura y la tecnología, para provocar ambientes más funcionales y satisfactorios para sus ocupantes.

Al integrar los conceptos arquitectónicos y tecnológicos en un proyecto ejecutivo y en la aplicación de todas las ingenierías necesarias para el desarrollo de la obra se tiene como resultado una edificación inteligente.

En ese sentido la tecnología utilizada, obliga a evitar voltajes peligrosos entre estructuras, equipos y el terreno, durante fallas o en condiciones normales de operación, así como también exige dispersar las pequeñas corrientes provenientes de equipos electrónicos y dispersar a tierra las

corrientes de fallas y las provenientes de sobre tensiones ocasionadas por descargas de línea o contactos no intencionales con las estructuras metálicas de un equipo eléctrico o electrónico.

Es en ese sentido, que la realidad problemática nos conlleva a responder el cuestionamiento de cómo evitar o eliminar los voltajes peligrosos a través de pozos y malla a tierra sobre las condiciones estructurales reales del Edificio de oficinas Swiss Tower, con la finalidad de impedir daños a las personas que hacen uso de los ambientes e inclusive impedir daños a los equipos integrados al servicio de las personas.

1.2 Justificación del problema

La importancia de entender el comportamiento de la electricidad y cuáles son sus aplicaciones, hoy en día es un hecho que todas las personas se ven involucradas de cualquier modo con la electricidad, tanto en sus casas como en sus centros de trabajos (oficinas por ejemplo). De ahí que surge la importancia y por ende la justificación de los problemas relacionados a instalaciones eléctricas del Edificio de Oficinas Swiss Tower, que carece de un sistema de puesta a tierra, con características óptimas.

En este contexto es definitivamente un problema que el edificio que contiene una gran cantidad de equipos electrónicos (computo, iluminación, sensórica, etc), esté expuesto a corrientes indeseables o a sobré tensiones, ya que hacer de lado a los pozos y malla a tierra, causan una pérdida muy costosa en referencia al correcto funcionamiento de estos equipos.

1.3 Delimitación del proyecto

1.3.1 Espacial

El proyecto se desarrollará en el Edificio de oficinas SWISS TOWER, el cual contiene 10 pisos, azotea y cuarto de máquinas, que se ubica en la Av. Benavides 1930-1936-1944-1948, Urb. El Rosedal-Miraflores. Así mismo los pozos y malla a tierra conectarán el conjunto de las instalaciones eléctricas y la superficie del terreno del Edificio.

1.3.2 Temporal

La investigación comprende el periodo de Enero a Marzo de 2015.

1.4 Formulación del problema

¿Cómo eliminar las diferencias de potencial peligrosas entre el conjunto de las instalaciones eléctricas y la superficie del terreno del Edificio Swiss Tower de la ciudad de Lima?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Eliminar las diferencias de potencial peligrosas entre el conjunto de las instalaciones eléctricas y la superficie del terreno mediante el diseño de pozos y malla a tierra para las instalaciones del edificio Swiss Tower de la Ciudad de Lima.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar los pozos y malla a tierra según la configuración de planos y distribución de los elementos metálicos en las instalaciones del edificio Swiss Tower de la Ciudad de Lima.
- Verificar si los parámetros de los pozos y malla a tierra para las instalaciones del edificio Swiss Tower de la Ciudad de Lima, presentan valores óptimos de resistencia.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Valencia (2009), en su libro titulado “Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra”, señala que: “Al circular la corriente por los electrodos se origina en ellos y en la tierra que los rodea, fenómenos de naturaleza eléctrica, magnética y térmica. Así, por ejemplo, desde el punto de vista de la seguridad para las personas, el potencial de electrodo y su distribución sobre el terreno son el problema central por atender en áreas que contienen equipos de comunicaciones. La disciplina tecnológica de la medicina que se ocupa de tales efectos es la electrofisiología; y a partir de una larga serie de experimentos, algunos en personas y muchos en animales, se ha determinado el grado de peligrosidad de la corriente sobre el cuerpo humana, es decir los valores de corriente y voltaje son peligrosos para él”.¹

Huete (2008), en su tesis titulada “Sistemas de Puesta a tierra”, para optar el título de Ingeniero de Electricista, en la Universidad San Carlos, concluye

¹VALENCIA V., Jaime. “Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra”. MEXICO. Editorial: LIMUSA. 2009.

que “La puesta a tierra de los equipos refiere la conexión intencional de carcasas, bastidores o estructuras metálicas, logrando mantener una diferencia de voltaje baja entre las diferentes estructuras metálicas, con lo que se resguarda al personal de cualquier choque eléctrico. Esto contribuye a un mejor desempeño de los sistemas eléctricos y electrónicos; evita incendios provocados por materiales volátiles o combustión de gases al mantener un camino seguro para la circulación de corrientes de falla y descargas atmosféricas. Por razones de seguridad del personal y buen desempeño de sistema, el diseño, correcta instalación, mantenimiento y monitoreo del sistema de puesta a tierra es necesario para cumplir con lo anterior”².

Moreno (2007), en su libro titulado “Fundamentos de Ingeniería de las puestas a Tierra”, señala que “Para un subsistema de tierra interno se debe tener un camino de impedancia baja de conexión a tierra y también conseguir una diferencia de potencial mínima entre las estructuras conductivas dentro del sitio, eliminando cualquier onda de sobretensión que fluya, a través de los equipos del sitio. La barra principal de tierra es una barra de cobre usada como un punto de unión de baja resistencia para todas las tierras interiores. Todos los equipos de RF se conectan directamente a esta barra principal. Esta barra se conecta al sistema de

² HUETE S. Manuel. Tesis: “Sistemas de Puesta a tierras”. Universidad San Carlos. 2008.

tierra externo, como también la tierra de servicio AC, y otros caminos a tierra como estructuras metálicas”³.

Croft (2004), en su libro titulado “Manual del Montador Electricista”, señala que “Los sistemas de puesta a tierra ayudan a mantener un ambiente libre de peligro, evitando sobretensiones peligrosas para el personal que se encuentra en el área de trabajo, como las demás personas que circulan cerca del lugar, por lo que nos reduce el riesgos a causas de sobretensiones y descargas atmosféricas y manteniendo al mínimo las pérdidas”⁴.

Chinchilla (2008), en su tesis titulada “Diseño del sistema de puesta a tierra de una planta termoeléctrica de generación”, para optar el título de Ingeniero de Electricista, en la Universidad Central de Venezuela, concluye que “La trascendencia de la ingeniería de puesta a tierra radica en procurar seguridad para las personas, que se encuentren en o en las cercanías de una instalación electrotécnica durante el eventual traspaso de corriente hacia la tierra, debido a una falla en el sistema eléctrico, o a descargas atmosféricas, pero también en beneficio del grado de eficiencia de los procesos técnicos involucrados y, por supuesto, en el monto de los recursos necesarios para la construcción de las instalaciones de puesta a

³ MORENO O. German. “Fundamentos de Ingeniería de las puesta a Tierra”. COLOMBIA. Editorial: Universidad de Antioquia. 2007

⁴ CROFT A. Thomas. “Manual del Montador Electricista”. ESPAÑA. Editorial: Reverte. 2004.

tierra y por ende, el de la instalación electrotécnica en que esté se emplaza”⁵.

Torres (2001), en su libro titulado “Tratado de Anestesia y Reanimación”, señala que “Existen diversos tipos de fuentes de corriente mortal, uno de ellos es la corriente de fuga de tipo resistivo, que ocurre en la exposición a un potencial de línea, es decir la exposición a un potencial de línea puede deberse a un contacto simultáneo con los conductores activos y neutral de un circuito o bien con el conductor activo de un circuito con toma de tierra y con la propia toma de tierra. Es segundo mecanismo es, con mucho el más frecuente y causa de la mayoría de electrocuciones”⁶.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema de puesta a tierra

Diferencia entre tierra y neutro

Con frecuencia, no se tienen claros los conceptos de sistema de puesta a tierra (tierra) y neutro, por lo que técnicos en la materia los llegan a confundir, no solo teóricamente sino que también en la práctica.

Es por eso que se enfatiza en dar a conocer estos sencillos conceptos y sus diferencias. La diferencia de estos dos elementos

⁵ CHINCHILLA. D. Luis. Tesis: “Diseño del Sistema de Puesta a Tierra de una planta termoeléctrica de generación”. Universidad Central de Venezuela. 2008

⁶TORRESM. Luis. “Tratado de Anestesia y Reanimación”. ESPAÑA. Editorial: ARAN. 2001.

es que el neutro lo usamos como regreso de nuestra línea de alimentación o en otras palabras es por donde pasa la corriente de regreso a los postes de suministro eléctrico.

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

La masa es un punto o plano de conexión equipotencial, conectando o no a la tierra, que sirve de referencia para un circuito o sistema. Para instalaciones eléctricas una masa es cualquier parte conductora de un aparato, equipo o instalación accesible al contacto que en funcionamiento normal no tiene tensión, pero puede tenerla si se produce un fallo.

2.2.1.1 Componentes de un sistema de puesta a tierra

Un diseño correcto del sistema de puesta a tierra es fundamental para asegurar la correcta conducción de una corriente de falla, la resistencia del sistema de puesta a tierra es pequeña para evitar tensiones inducidas. Un sistema de puesta a tierra consta, principalmente de:

Tomas de tierra: Elemento de unión entre el circuito eléctrico aislado y el terreno. A su vez, la toma de tierra consta de elementos como:

- **Electrodos:** Elemento metálico que permanece en contacto directo con el terreno, facilitando el paso a éste de las corrientes de falla. Construidos con materiales resistentes a la humedad y la acción química del terreno.
- **Línea de enlace con tierra:** También conocido como anillo de enlace, está formado por un conjunto de conductores que unen a los electrodos con el punto de puesta a tierra. Debe ser de cobre desnudo, su sección no será inferior a 35 mm² y en ningún caso inferior a sus derivaciones.
- **Punto de puesta a tierra:** Es un punto situado fuera del suelo, generalmente dentro de una cámara, que sirve de unión entre el anillo de enlace y la línea principal de tierra.

Línea principal de tierra: Formado por conductores de cobre que parten del punto de tierra, y se usan para conectar todas las derivaciones necesarias para la puesta de tierra, a través de los conductores de protección. Su recorrido debe ser corto para reducir los efectos inducidos y sin cambios bruscos de dirección. La línea principal de tierra será de cobre desnudo. Su sección no será inferior de 16 mm² y en ningún caso inferior a las de sus derivaciones. El conductor principal de equipotencialidad

debe tener una sección no inferior a la mitad de la del conductor de protección mayor de la instalación, con un mínimo de 6 mm² sin embargo puede ser reducido a 2.5 mm² si es de cobre.

Derivaciones de las líneas principales de tierra:

Constituidas por conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o, directamente con las masas. Los conductores serán de cobre e irán entubados junto a los conductores activos. Se identificarán mediante el color amarillo verde a rayas de su aislamiento y la sección dependerá de la sección del conductor de fase al que acompañan. Este criterio se aplica también en los conductores de protección.

Conductores de protección: Unen eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos, asegurando la protección contra los contactos indirectos, manteniendo la seguridad del circuito a tierra. También se le conocen como conductores de protección a los conductores que unen las masas a:

- el neutro de la red.
- otras masas.
- a elementos metálicos distintos de las masas.
- un relé de protección.

2.2.1.2 Características eléctricas del suelo

Un parámetro importante en el diseño de un sistema de puesta a tierra es 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 entre ellos: estratigrafía, compactación, humedad, temperatura, etc. Además el contenido electrolíticos varía la resistividad de un terreno y la mejoramos tratándola con sales, geles o abonado electrolítico.

Estratigrafía: Es la variación de la composición del suelo y su estructura a lo largo del mismo, implicando esto, cambio transversales y longitudinales de resistividad. La anisotropía nos refiere el desorden de la resistencia del terreno.

Un factor a tomar en cuenta es la relación del grano predominante del suelo y sus características higroscópicas y de retención de agua.

Compactación y salinidad: El estado de compactación del terreno altera el valor de resistencia, debido al grado de unión de los granos. Aquí la resistividad disminuye mientras más compacto este un terreno, ya que al no

estarlo hay pequeños espacios de aire que impide la conducción de corriente eléctrica. El contenido de sales produce una menor resistividad ínter granular, debido a que la sal es un material absorbente de humedad, puesto que como sabemos el agua por sí sola no conduce la electricidad.

Humedad y temperatura: La resistividad varía conforme la humedad del terreno, mientras más húmedo más baja será esta, si está seco tendremos mayor resistencia. La temperatura afecta la humedad del terreno, a bajas temperaturas puede congelarse el terreno y la resistividad se elevaría, además el calor crea una resistencia en el terreno, afectando las mediciones.

2.2.1.3 Resistencia y resistividad de tierra

Aunque estos términos puedan confundirse, tienen significados diferentes. La resistencia de tierra se define como la resistencia que ofrece un sistema de tierra al paso de la corriente eléctrica. Este valor depende de la resistividad del terreno, características físicas del electrodo, como también de la longitud y área de los conductores. Esta se mide en ohms. La resistividad de un material se define como la resistencia en corriente directa entre las caras paralelas opuestas de una porción de éste,

de longitud unitaria y sección unitaria uniforme, esta se mide en $\Omega \cdot m$.

2.2.1.4 Medición de la resistividad del suelo

Esta se mide con el objeto de encontrar los puntos óptimos para la colocación de la red de tierra, si usamos un valor incorrecto de resistividad del suelo en la etapa del diseño, la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar diferente de lo planeado, trayendo seria consecuencias. Algunos métodos para medir la resistividad son:

Método de Wenner: Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos colocados en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra. El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente. En la FIGURAN°01 muestra la

disposición esquemática de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores.

La resistividad aparente (ρ) está dada por la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot r}{\left[1 + \left(\frac{2 \cdot a}{(a^2 + 4 \cdot b^2)^{0.5}} \right) - \frac{2 \cdot a}{(4 \cdot a^2 + 4 \cdot b^2)^{0.5}} \right]}$$

Donde:

- a es la distancia entre electrodos en m.
- b es la profundidad de enterrado de los electrodos en m.
- r es la lectura de la resistencia en el telurómetro en Ω .

Si la distancia enterrada b es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos a ($a \gg b$) la fórmula se simplifica:

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

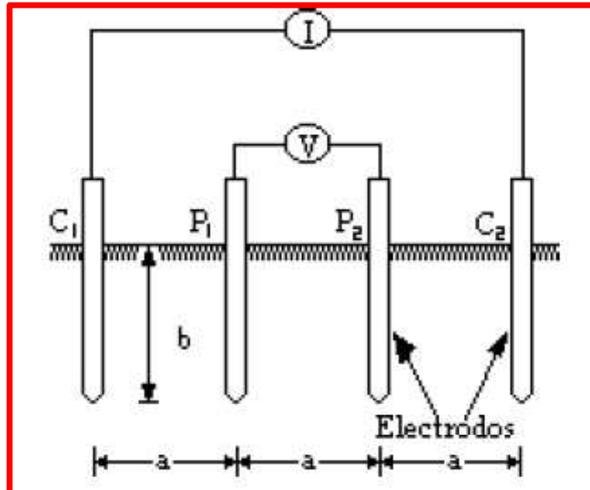


FIGURA N° 01. Método de Wenner

Método de Schlumberger: El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial a se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos $n \cdot a$ de la separación base de los electrodos internos a . La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la FIGURA N° 02.

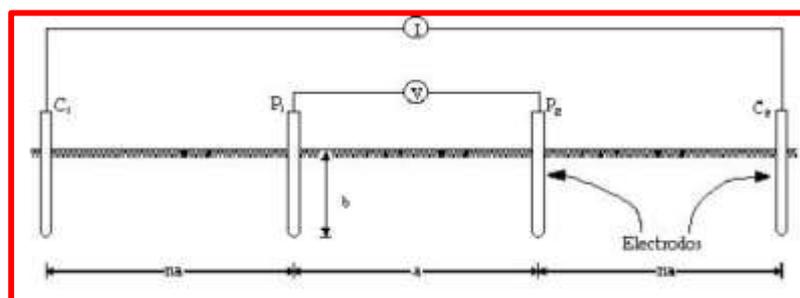


FIGURA N° 02: Método De Schlumberger

La resistividad se calcula por:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (n + 1) \cdot na$$

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas. Se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes.

2.2.1.5 Conductor de puesta a tierra

El conductor de puesta a tierra es el encargado de la comunicación del sistema exterior con la barra equipotencial, para de ahí distribuir a los equipos. La selección de los cables, se realiza teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Magnitud de la corriente inicial asimétrica de falla a tierra.
- Duración de la corriente de falla a tierra.
- Elevación máxima permisible de temperatura.

Para conductores de cobre con temperatura inicial de 26° C y una elevación hasta 450° C se emplea la fórmula para la sección del conductor requerido:

$$S = 0.0537 \cdot I \cdot \sqrt{T} \quad (\text{mm}^2)$$

Donde:

- S es la sección del conductor a utilizar.
- I es la corriente inicial asimétrica en A.
- T es el tiempo de duración de la falla en s.

Sección de conductores de fase S_f (mm²)	Sección mínima de conductores de protección S_p (mm²)
$S_f \leq 16$	$S_p = S_f$
$16 < S_f \leq 35$	$S_p = 16$
$S_f > 35$	$S_p = S_f/2$

TABLA N° 01: Sección de los conductores de protección

En todos los casos, los conductores de protección que no formen parte de la canalización de alimentación serán de cobre, con una sección al menos de:

- 2.5 mm², si los conductores de protección disponen de una protección mecánica.
- mm², si los conductores de protección no disponen de una protección mecánica.

Ningún aparato deberá ser intercalado en el conductor de protección. Las masas de los equipos a unir con los conductores de protección no deben ser conectadas en serie en un circuito de protección, con excepción de las

envolventes montadas en fábrica o canalizaciones prefabricadas.

2.2.1.6 Electrodo y red de electrodos

Los electrodos tienen como finalidad principal la transmisión de la corriente de falla a tierra de una manera segura, garantizando la unión íntima con ella, además disminuyen la resistencia de tierra para dicho propósito. Los electrodos de tierra son: Artificiales, constituidos por barras, tubos, placas, cables y otros elementos metálicos. Naturales, elementos metálicos enterrados en la tierra, aprovechados para la puesta a tierra si cumplen condiciones reglamentarias. Cuando los electrodos están lo suficientemente distantes para que la corriente máxima que pasa por cada uno de ellos modifique al potencial de los otros, se dice que los electrodos de tierra son independientes.

2.2.1.6.1 Potencial alrededor de un electrodo

Al pasar la corriente eléctrica por el electrodo hincado sobre el terreno, aparece en él una caída de voltaje a partir del electrodo. Este potencial está en función de la resistividad del terreno y la densidad de corriente. Además, la densidad de corriente a través del electrodo

depende de su forma geométrica, colocación y distancia entre electrodos y la distancia hasta el electrodo del punto que se analice. A fines de cálculo asumiremos homogénea la resistividad ρ del terreno, con la resistencia del material del electrodo menor al del terreno, tomando como base la FIGURA N° 03 para dichos cálculos. Por la simetría del electrodo la corriente se distribuye uniformemente. Si inyectamos una corriente I por el centro del electrodo, la densidad de corriente a una distancia r será:

$$J = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Debido a la simetría, el vector de corriente \mathbf{J} en coordenadas esféricas, tiene una dirección radial perpendicular a la superficie del electrodo. Su forma puntual aplicando la ley de Ohm, para el vector de dirección radial del campo eléctrico

E:
$$E = \rho \cdot \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Integrando, para encontrar la diferencia de potencial entre los puntos 1 y 2, sobre la

superficie del terreno, ubicados a distancias r_1 y r_2 del centro del electrodo resulta para una expresión de voltaje:

$$V_{12} = \int_1^2 E \cdot dr = \rho \cdot \int_{r_1}^{r_2} \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r^2} dr = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right]$$

Si hacemos que $r_2 \rightarrow \infty$, solamente queda el potencial en el punto 1, respecto a una referencia infinita; en consecuencia, para obtener el potencial del electrodo respecto a un punto ubicado a una distancia muy grande ($r = a$), tenemos la ecuación para el voltaje del electrodo:

$$V = \rho \cdot J = \rho \cdot \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

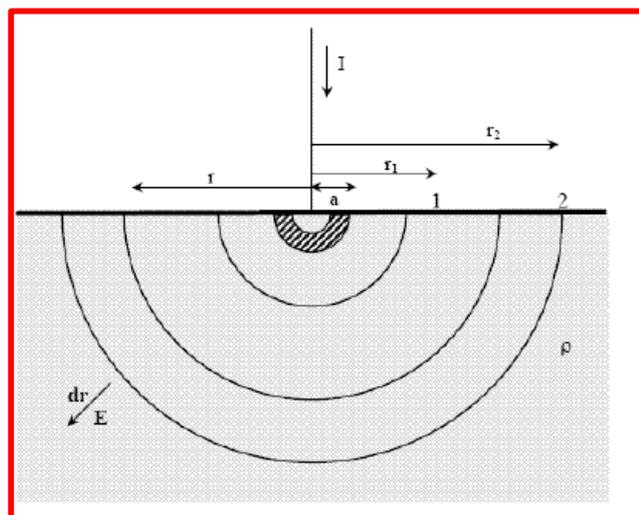


FIGURA N° 03: Electrodo hemisférico de radio a .

Es importante tomar en cuenta el gradiente del potencial cuando se diseña el sistema de

aterramiento, por la peligrosidad de este a un ser viviente al momento de una corriente de falla. En los electrodos simétricos, el voltaje ubicado radialmente a la misma distancia y profundidad, será el mismo. Los puntos equipotenciales se encuentran sobre círculos concéntricos cuyo punto central coincide con el centro del electrodo.

En los electrodos asimétricos, los puntos equipotenciales sobre la tierra sigue aproximadamente la forma del electrodo. En cualquier caso, a medida que se separa del electrodo la diferencia de potencial disminuye.

La zona en la que el voltaje entre dos puntos se hace prácticamente igual a cero sobre la superficie, se le llama “tierra de referencia”.

Se puede trazar una curva que relacione los voltajes existentes entre la tierra de referencia y puntos ubicados sobre la superficie de la tierra en dirección perpendicular al electrodo, ver FIGURA N°04, de esta forma es que varía el voltaje con la distancia.

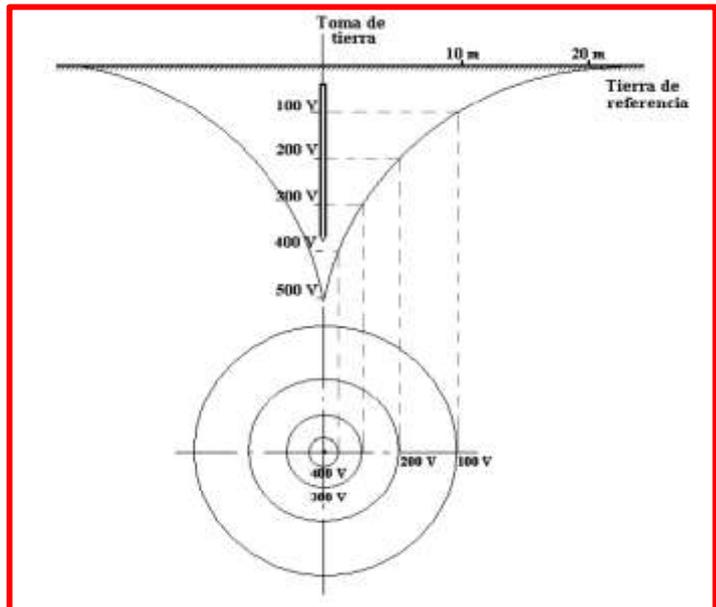


FIGURA N° 04: Distribución del potencial de un electrodo de punta

Factor de apantallamiento: La distribución de la corriente sobre el terreno es uniforme, si este es homogéneo, y las superficies equipotenciales delimitan las zonas del terreno puestas en serie con respecto al paso de la corriente. Las secciones aumentan al alejarse del electrodo como en la FIGURA N° 06. Al conectar dos o más electrodos en paralelo mediante uno horizontal de enlace, se dispersa una corriente a tierra, este resultado de interacción entre zonas de dispersión provoca un solapamiento entre áreas, incrementando estas la resistencia de paso, como se aprecia en la FIGURA N°05.

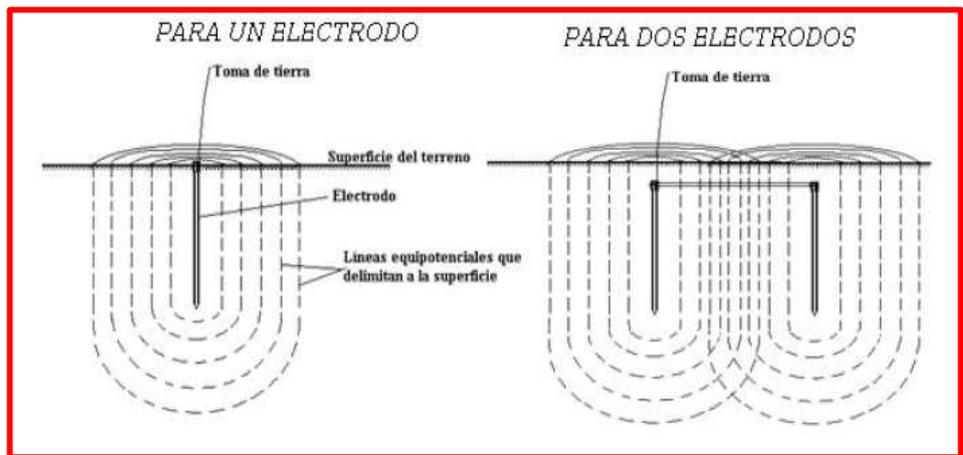


FIGURA N° 05: Líneas equipotenciales

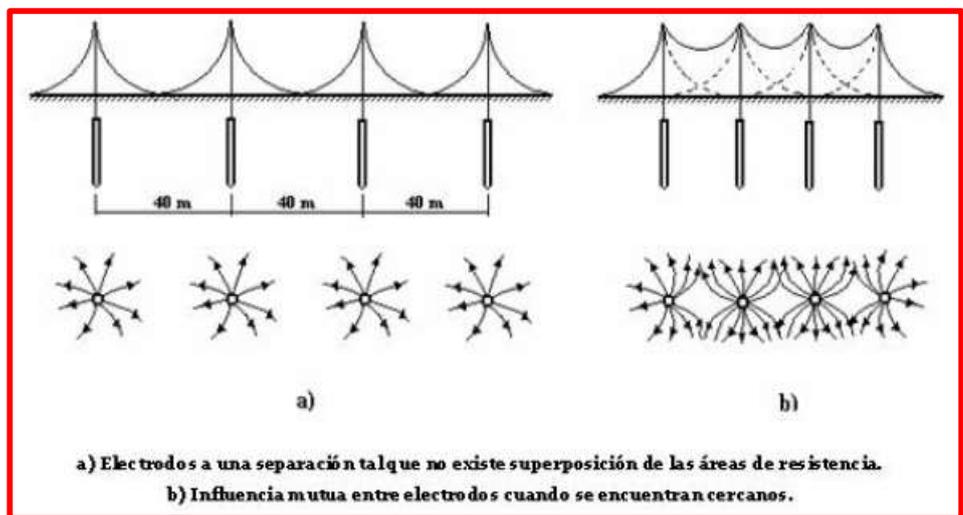


FIGURA N° 06: Influencia de la separación entre electrodos en el efecto de apantallamiento

La medición de la resistencia de puesta a tierra por cualquier método genera gradientes de potencial en el terreno producto de la inyección de corriente por tierra a través del electrodo de corriente. Por ello, si el electrodo de corriente, el de potencial y el de tierra se encuentra muy

cercanos entre sí, ocurrirá un solapamiento de los gradientes generados por cada electrodo; resultando una curva en la cual el valor de la resistencia medida se incrementará con respecto a la distancia, tal como se muestra en la FIGURA N°07.

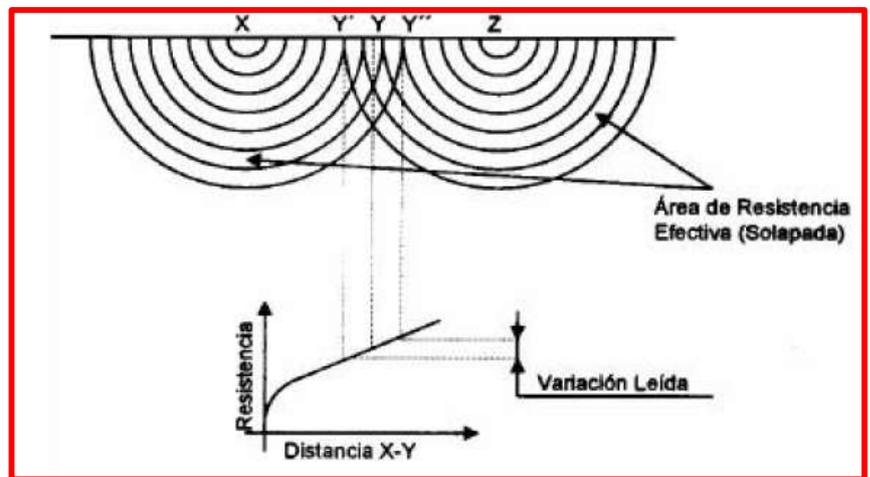


FIGURA N° 07: Variación de la Resistencia con la distancia.

Al momento de ocurrir una falla, una corriente circula por el electrodo de puesta a tierra, aparecen dos voltajes peligrosos que hay que considerar:

Voltaje de contacto: Cuando una persona se pone en contacto con alguna parte aterrada de la instalación al momento de ocurrir una falla a tierra, aparecerá una diferencia de voltaje entre sus manos y pies debido a la corriente de falla

que circula por el sistema de puesta a tierra. Este voltaje corresponde a un punto sobre la curva de potencial del electrodo de tierra. Para calcular el voltaje de contacto se tiene:

$$V_c = 0.7 \cdot \frac{\rho \cdot I}{L}$$

Donde:

- ρ es la resistividad superficial del terreno en $\Omega - m$.
- I es la corriente de falla en A.
- L es la longitud total del electrodo horizontal en m.

Voltaje de paso: Es el voltaje del electrodo que puede ser puenteadada por una persona al caminar en las zonas próximas a la toma de tierra. Con la resistencia del cuerpo y contacto de los pies, se obtiene el voltaje de contacto, inferior al potencial entre el electrodo y el punto donde se encuentra la persona. Una persona al moverse en una dirección perpendicular a las líneas equipotenciales, aparecerá entre sus pies el voltaje. El voltaje de paso se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_p = 0.16 \cdot \frac{\rho \cdot I}{h \cdot L}$$

Donde:

- L es la longitud total del electrodo horizontal en m.
- h es la profundidad de la toma de tierra en m.

2.2.1.6.2 Tipos de electrodos

Los electrodos deben tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para responder a ensayos e inspección, el material no debe corroerse y además tener buena conductividad eléctrica. Se usa el cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y hierro fundido. Encontramos por ejemplo la varilla Copperweld.

La varilla Copperweld de acero recubierto de cobre, que se entierra profundidad de por lo menos de 2.4 m; de encontrarse roca a menos de 1.25 m, esta puede enterrarse a un mínimo de 0.8 m. Su desventaja es el área de contacto, pero presenta buena longitud.

Electrodos naturales: Entre estos tenemos las tuberías de agua, que se usan sí cumplen condiciones como: tener por lo menos 3 m en contacto directo con la tierra y ser eléctricamente continua hasta el punto de conexión. Estructuras metálicas de edificios, para lo que debemos tener en cuenta que su impedancia a tierra debe ser baja, lográndolo uniendo las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores de puesta a tierra de la norma (NEC 250-94).

El electrodo puede tener forma diversa, los más comunes se describen a continuación:

Electrodos de varilla: De acuerdo con la norma (NEC 250-83c) los electrodos de varilla, no deben tener menos de 2.40 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2.40 m de su longitud esté en contacto con la tierra, como se aprecia en la FIGURA N° 08. Están disponibles en diámetros de 15 a 20 mm (cobre sólido) y 9.5 a 20 mm (acero recubierto de cobre). Estos electrodos se aplican al suelo

mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de tepetate, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar. Si encontramos una roca a menos de 2.40 m, estos electrodos se pueden meter en diagonal hasta con un ángulo de 45° de la vertical, FIGURA N° 08. La resistencia de contacto de una varilla está dada por la fórmula de Dwight del M.I.T.

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \left(4 \cdot \frac{L}{r} \right) - 1 \right)$$

Donde:

- ρ es la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.
- L es el largo de la varilla en m.
- r es el radio de la varilla en m.

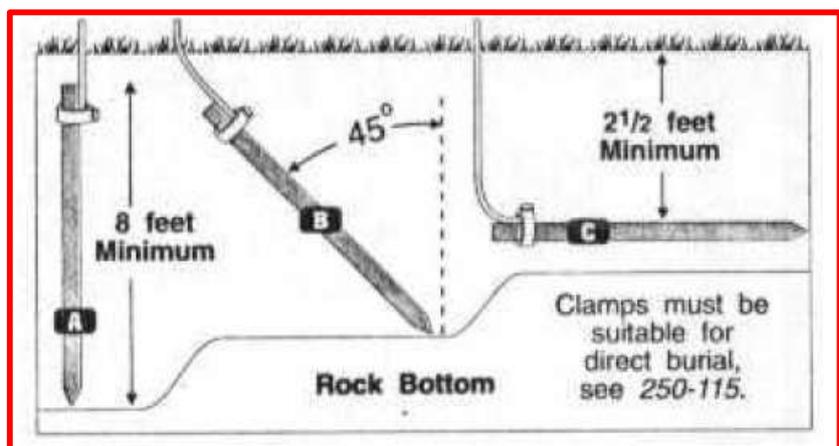


FIGURA N° 08: Electrodo en diversas posiciones

La fórmula de Dwight para el caso de varilla enterrada en doble capa de tierra:

$$R = \frac{\rho_0}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot (\ln(a_1) - \ln(a_0)) + \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot (\ln(4 \cdot L) - 1 - \ln(a_1))$$

Donde:

- ρ_0 es la resistividad del terreno adjunto en $\Omega \cdot m$.
- ρ_1 es la resistividad del terreno circundante en $\Omega \cdot m$.
- a_0 es el diámetro de la varilla en m.
- a_1 es el diámetro del terreno adjunto a la varilla en m.

Electrodos de placa: Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0.2 m² de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o hierro deberán tener por lo menos 6.4 mm de espesor. Si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1.52 mm de espesor.

Para utilizar una placa como electrodo, se debe de considerar que su posición óptima es de forma vertical, instalados a unos 2m de profundidad, FIGURA N°09a, al colocarla

horizontalmente, el terreno debajo de ella se asentaría y separaría del mismo.

Recomendados en los terrenos de la tierra vegetal es de 1 a 1.5 m. La resistencia de tierra es, para la posición vertical:

$$R_T = 0.8 \cdot \left(\frac{\rho_T}{P} \right)$$

Donde:

- ρ_T es la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.
- P es el perímetro de la placa en m.

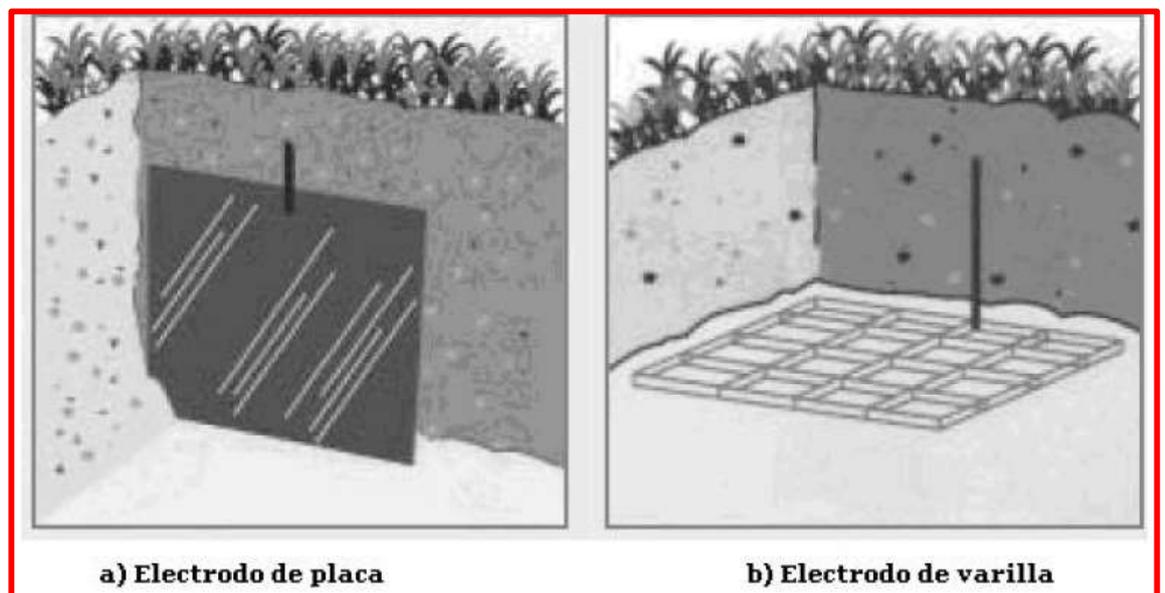


FIGURA N° 09: Electrodo de placa y varilla

Electrodo de cinta o cable: Si se elige un electrodo de cinta, se debe considerar que su sección debe ser de al menos 100 mm². Se conocen como dimensiones típicas las de 30 x 4 mm y las de 40 x 5 mm. Estas cintas son galvanizadas y se fabrican con estos fines, lo más usual, más práctico y duradero es el cable desnudo o cinta de cobre reconocidamente usado con efectividad y durabilidad. Estos electrodos para máxima efectividad, son instalados como únicos electrodos horizontales, colocados a 1 m de profundidad. El uso de electrodos horizontales y extensos es típico en terrenos rocosos que dificultan las perforaciones profundas.

En el caso de que los cables o cintas sirvan para unir a electrodos verticales formando una malla, deben enterrarse a profundidades de 0.8 m sobre el nivel del terreno (para evitar el voltaje de paso).

2.2.1.6.3 Configuración de electrodos

El método convencional para lograr un sistema de tierra, es la combinación de electrodos

verticales y horizontales. La configuración de estrella, la de anillo o la de malla, son configuraciones típicas de electrodos. Su complicación radica en obtener una resistencia de tierra baja, lo que implica el uso de altos números de electrodos. Una corriente, al pasar por un electrodo de punta simétrico, su distribución de potencial, está determinada por líneas concéntricas de iguales potenciales, que van decreciendo hasta hacerse cero en la tierra de referencia, 20 m es una adecuada distancia para ser usada como tierra de referencia. Lo anterior, hace existir la condición de una distancia que minimice la interacción de los campos entre ellos, como consecuencia efectos de apantallamientos; mientras más alejados estén dos electrodos, la resistencia lograda con su unión será menor. En la práctica es imposible por economía y espacio, usar distancias tan grandes. Lo usual es tabular valores de apantallamiento con la distancia de separación y configuración del electrodo.

Un valor recomendado en la práctica es usar como distancia entre electrodos, dos veces la

profundidad enterrada que tenga el mismo, siendo la separación igual a la profundidad enterrada.

Configuración de malla: La norma requiere un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados, cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas (NEC 921-18). La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 2.5 a 3 m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciado igual a la distancia del electrodo como mínimo. El cable que forma el perímetro exterior de la malla debe ser continuo, evitando concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas (921-25). Los cruces de conductores en la malla, deben de estar conectados de manera rígida entre sí con soldadura exotérmica o en las esquinas de la malla.

Con respecto al factor de apantallamiento, esta es la configuración más adecuada, en contraposición, requiere más espacio. Los

cables empleados en las mallas de tierra son de acero, acero inoxidable, acero galvanizado, y cobre. El factor principal en la selección del material es la resistencia a la corrosión.

Configuración en forma de estrella: Este caso responde al uso de los electrodos horizontales formando caminos o ramas alrededor de un punto. La estrella formada no debe exceder de 6 rayos, ya que un número mayor introduciría coeficientes bajos de apantallamiento que serían perjudiciales.

El número de rayos más usados es entre 3 y 4 rayos. Este tipo de configuración se realiza con cable de cobre desnudo con ramificaciones de 60° o más de ángulo, utilizados en el campo por la longitud del cable, ya que se obtiene una resistencia de menor valor. Si se unen entre sí las ramificaciones que constituyen un electrodo en estrella, se obtiene una red estrellada.

Configuración poligonal o de anillo: Es cuando el sistema rodea a la edificación. En estos casos también deben cumplirse las

profundidades y espaciamentos citados. En este método, para iguales distancias de espaciamento, igual cantidad de electrodos e igual longitud de cable horizontal enterrado, se obtienen valores de mayor valor óhmico, que los que se lograrían si estos electrodos se colocaran de forma lineal. La configuración de anillo tiene a su favor que permite una distribución alrededor del edificio propiciando las uniones equipotenciales, ocupa menos espacio y es menos propensa a los daños mecánicos fortuitos, por estar cerca de la edificación y mantenerse dentro de sus límites.

Esta configuración es típica de sub-estaciones eléctricas y sitios de comunicaciones. Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG (por resistencia mecánica) y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 mm y, que rodee al edificio o estructura.

2.2.1.6.4 Medición de la impedancia del electrodo

Es necesario la medida del valor óhmico por: revisar su valor, posterior a la instalación y previo a la conexión del equipo, y, parte del mantenimiento de rutina, verificando que su valor no ha aumentado. Un método común para medir la resistencia de un electrodo pequeño o mediano es el de “caída de potencial”, este método puede ser aplicado con éxito en instalaciones de gran área si los cables de prueba se extienden hasta 800 o hasta 1000 m. El instrumento usado para la resistencia de terreno puede ser usado para medir el valor resistivo de la impedancia del electrodo. El instrumento puede protegerse contra posibles sobrevoltajes durante el tiempo de prueba con fusibles de 100 mA, conectados externamente.

Por seguridad, se debe tener una conexión con el electrodo de tierra remota, que se encuentra al potencial de tierra real aproximadamente. Como recomendación en la medición de la resistencia del electrodo debemos, tener una persona encargada, comunicación entre todos los participantes vía radio, usar guantes de goma y calzado adecuado, uso de una placa

metálica para asegurar una equipotencial en la posición de trabajo.

2.2.1.7 Conexiones

La conexión entre electrodos se realiza por medio de cobre desnudo, ayudando esto a reducir la impedancia global. Las conexiones deben ser robustas mecánicamente, resistencia a la corrosión y baja resistividad. Dichas conexiones son factores tomados en cuenta en el diseño. Se tomará en cuenta algunos métodos empleados para unir, método mecánico, bronceado, soldadura exotérmica y soldadura por fusión autógena.

CONEXIONES MECÁNICAS: Empleadas comúnmente la conexión apernada (mecánica) y la compresión (hidráulica), deben cumplir las normas pues serán sometidos a impactos mecánicos, eléctricos y térmicos. Se debe tener cuidado al efectuar perforaciones efectuadas para acomodar pernos cuando se unen cintas entre sí. Al apernar diferentes metales, se debe limpiar y proteger con inhibidor de óxido.

Conexiones Bronceadas: Se aplican en cobres y aleaciones de cobre. Su ventaja principal es que proporciona baja resistencia de unión que no se corroe. Es

necesario una superficie limpia y plana de los materiales para el bronceado.

Uniones exotérmicas: Se realizan mediante moldes de grafito, diseñado para ajustar el tipo específico de unión. Usando una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvo de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre puro. Entre sus beneficios están: proporcionar una unión permanente de baja resistencia y resistente a la corrosión. No es permitida para conectar cobre y aluminio en las subestaciones.

Conexión con soldadura autógena: El cobre se puede unir por soldadura de bronce o soldadura al arco en presencia de gas. Esta técnica emplea alta temperatura y material de relleno. El arco eléctrico proporciona el calor, mientras que el área en torno al electrodo y la soldadura es envuelta por un gas tal como argón o nitrógeno, esto reduce la oxidación durante el proceso de soldadura.

2.2.2 Puesta a tierra de circuitos de alimentación

El sistema de puesta a tierra de potencia en teoría, no tiene que ser aterrizado argumentando que es más confiable. En general, las

redes no aterrizadas no son confiables debido a la sobre sollicitación del aislamiento que rodea cables o líneas. Las estructuras residenciales necesitan un sistema de CA conectado a tierra. Las centrales eléctricas generalmente proporcionan este servicio, lo que requiere que la estructura cumpla con requerimientos del código.

El código divide un sistema de CA en cuatro grupos, (NEC 250-20):

- Menor de 50 voltios.
- De 50 a 1000 voltios.
- 1000 voltios y voltajes superiores.
- Sistemas derivados separadamente.

No se exige una conexión a tierra para un sistema CA menor a 50 V, excepto en tres situaciones:

- Cuando se suministra con transformador con voltaje superior a 50 V.
- Cuando se suministra por transformador, y la fuente de potencia no está conectado a tierra.
- Cuando es instalado como conductores aéreos fuera de edificio.

Cuando tenemos sistema de 50 a 1000 V, el código requiere conexión a tierra donde el sistema:

- Es un sistema trifásico, de 4 hilos, conectado en estrella donde el conductor neutro es utilizado como conductor de circuito.
- Es un sistema trifásico, de 4 hilos, conectado en delta el cual tiene el punto medio del devanado conectado a tierra.

2.2.2.1. Sistema de alimentación CD

Sistemas eléctricos en CD de no más de 300 V no requieren conexión a neutro, a menos de que alguna de las siguientes condiciones se cumpla:

- Suministren energía a sistemas industriales en áreas limitadas y sean equipados con un detector de tierra.
- Operen a menos de 50 V entre conductores.
- Sean alimentados con un rectificador desde un sistema en CA aterrizado.

En la sección 250 162 del NEC, trata dos sistemas CD, de dos y tres hilos, dichos sistemas son:

- Un sistema de dos hilos entre 50 y 300 voltios.
- Un sistema de 3 hilos que suministra el cableado del edificio.

Sistema de tres hilos: Se debe conectar el neutro a tierra sin excepciones. Los requerimientos son

iguales en los dos sistemas, estos depende de si la fuente se encuentra fuera o dentro del edificio.

Si el sistema se encuentra fuera del edificio, figura 15a, la conexión a tierra se hace en una o más estaciones de suministro y no se hace en los servicios individuales o en cableado dentro del edificio.

Si la fuente está dentro del edificio, figura 15b, una conexión a tierra debe hacerse en uno de los siguientes puntos: la fuente, el primer desconectador de servicio o interruptor de circuito y por medios que logren un sistema equivalente de protección utilizando equipo listado y apropiado.

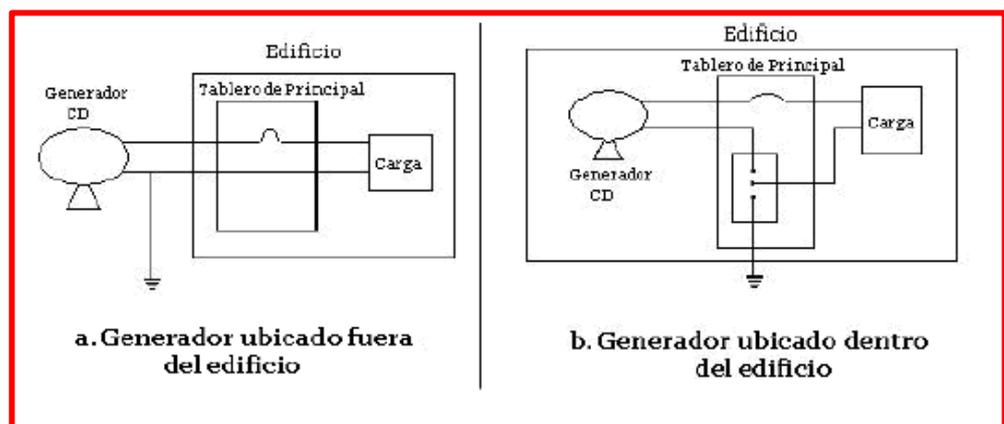


FIGURA N°10: Sistemas de Puesta a tierra en CD

2.2.2.2. Sistema de alimentación CA

Existen diversos sistemas de potencia CA:

Sistema no puesto a tierra: Este sistema no tiene una conexión a tierra deliberada. En condiciones normales, la capacidad entre cada fase y tierra es la misma, el efecto es estabilizar el sistema respecto a tierra de modo que en un sistema trifásico, el voltaje de cara fase a tierra es el volta estrella del sistema. El punto neutro, está en o cerca del potencial de tierra.

Cuando ocurra una falla por mal tiempo, no habrá tanto daño puesto que no existe un circuito metálico cerrado que permita el flujo de corriente. Se tendrá resonancia, debido a la alta capacitancia del sistema causando sobretensiones, y se dará cuando se conecte a tierra una conexión con alta inductancia.

Sistemas puestos a tierra: Tiene un conector conectado a tierra, esta conexión se realiza cerca de donde se unen los 3 enrollados individuales de un transformador trifásico, en el punto común de la estrella.

Este método se emplea cuando hay necesidad de conectar al sistema cargas fase neutro, previniendo

que el voltaje a neutro varíe con la carga. Este tipo de puesta a tierra se clasifican en:

- Sistema puesto a tierra mediante impedancia:
Se insertan de manera deliberada resistores y reactores en la conexión entre el punto neutro y tierra, limitando la corriente de falla. Para evitar sobrevoltajes debido a resonancia, las puestas a tierras inductivas deben permitir el flujo a tierra de falla de al menos 60% de la capacidad de cortocircuito trifásico.
- Sistema puesto a tierra con baja impedancia:
Aquí el neutro se conecta a tierra a través de una conexión adecuada sin impedancias. Su desventaja es que las corrientes de falla a tierra son altas pero los voltajes permanecen controlados bajo condiciones de falla.

2.2.2.3. Conexión del neutro de los sistemas de alimentación

Los métodos empleados para la conexión a tierra, siguen estándares, el régimen de neutro define las conexiones eléctricas del neutro de las masas respecto de la tierra, cada uno identificados por un código que contiene las siguientes letras:

Primera Letra: Situación del neutro respecto de la tierra.

- T = conexión directa del neutro a la tierra.
- I = conexión a la tierra mediante una impedancia elevada.

Segunda Letra: Situación de las masas respecto de la tierra.

- T = conexión directa de las masas a una tierra diferencial.
- N = conexión de las masas a la tierra del neutro.

2.2.2.3.1. Esquema TN

TN-C: La tierra (PE) y el neutro (N) van por un mismo conductor llamado PEN. No se recomienda en lugares con riesgo, las corrientes son muy altas en el conductor PEN. Circulan corrientes perturbadoras por las masas, genera radiación de perturbaciones CEM por el PE.

TN-S: La tierra (PE) y el neutro van por conductores diferentes conectados a tierra. Es necesario controlar los equipos

con corrientes de fuga elevadas situados después de las protecciones diferenciales.

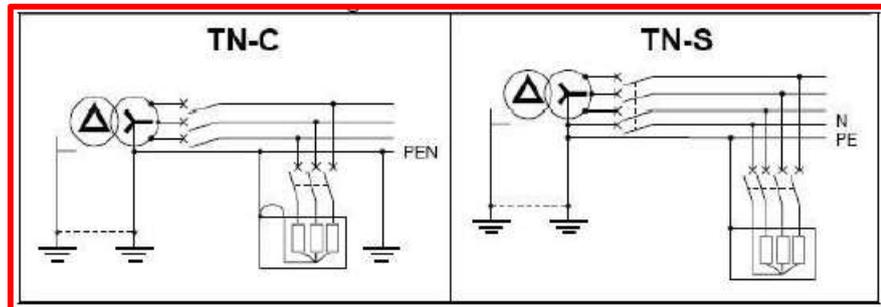


FIGURA N° 11: Sistema TN

La FIGURA N° 11 muestra el sistema TN. Las consideraciones que se deben de tener son: En un esquema TN-C, el conductor PEN, no debe estar cortado en ningún caso, además, debe estar conectado a tierra. En esquema TN-S, el conductor PE, no debe estar cortado en ningún caso. Los esquemas TN-C y TN-S se pueden utilizar en una misma instalación, el esquema TN-C debe estar situado necesariamente delante del esquema TN-S, este es indispensable para secciones de cable $< 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ o $< 16 \text{ mm}^2$ y en el caso de cables flexibles.

2.2.2.3.2. Esquema TT

La alimentación se pone a tierra en un único punto, FIGURA N°12, pero la pantalla del cable y las partes metálicas expuestas de la instalación del cliente están conectadas a tierra vía un electrodo separada que es independiente del electrodo de alimentación. Para la seguridad de las personas es obligatorio un disyuntor diferencial.

2.2.2.3.3. Esquema IT

Este es un sistema que no tiene conexión directa entre partes vivas y tierra pero sí con partes conductivas expuestas de la instalación, FIGURA N°12, conectadas a tierra. Algunas veces se proporciona una conexión a tierra de alta impedancia que simplifica la protección para detectar la primera falla a tierra.

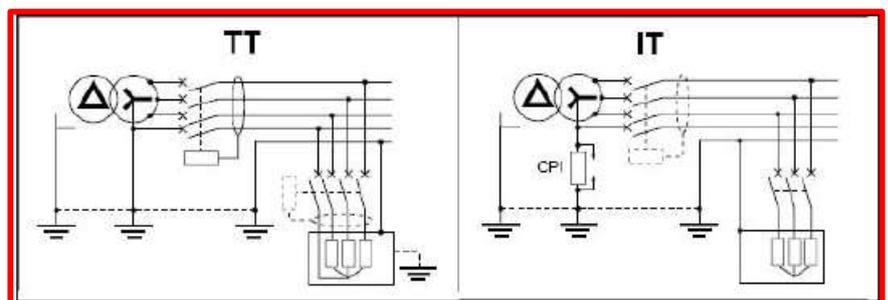


FIGURA N°12. Esquema TT e IT

2.2.3 Tierra de los equipos

El Artículo 250 del NEC cubre los requisitos generales para la puesta a tierra y sus puentes de unión en las instalaciones eléctricas y, además, los requisitos específicos que se mencionan: En sistemas, circuitos y equipos en los que se exige, se permite o donde no se permite que estén puestos a tierra. El conductor del circuito que es puesto a tierra en sistemas puestos a tierra. Ubicación de las conexiones a tierra. Tipos y tamaños nominales de los conductores, puentes de unión y electrodos de conexión para puesta a tierra. Métodos de puesta a tierra y puentes de unión. Condiciones en las que se puede sustituir a los resguardos, separaciones o aislamiento por la puesta a tierra.

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

- a.** Estructuras y vías de grúas operadas eléctricamente.
- b.** La estructura metálica de elevadores movidos no eléctricamente, a las que están sujetos conductores eléctricos.
- c.** Los cables de acero de los elevadores eléctricos.
- d.** Partes metálicas de subestaciones de voltajes de más de 1 kV entre conductores.

En contrapartida, no debemos poner a tierra los siguientes circuitos:

- a. Los circuitos de grúas eléctricas que funcionen sobre fibras combustibles.
- b. Instituciones de salud (clínicas y hospitales).
- c. Celdas electrolíticas.

2.2.3.1 Conexión, colores, identificación

El equipo fijo, conectado por un alambrado permanente, requiere poner a tierra las partes metálicas no conductoras del equipo, canalizaciones u otros envolventes, haciéndose por el siguiente método: Mediante el conductor de puesta a tierra de equipo instalado dentro de la misma canalización, cable o tendido de cualquier otro modo con los conductores del circuito. Se permiten conductores de puesta a tierra de equipos desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores de puesta a tierra cubiertos o aislados individualmente deben tener un acabado exterior continuo, verde liso o verde con una o más franjas amarillas.

Excepción: Se permite que, durante la instalación, un conductor aislado o cubierto de tamaño nominal superior a 13.3 mm² (6 AWG), de cobre o de aluminio, se identifique permanentemente como conductor de puesta a tierra en

sus dos extremos y en todos los puntos en los que el conductor esté accesible, o cuando las condiciones de mantenimiento y de supervisión aseguren que la instalación está atendida solo por personal calificado, identificar permanentemente durante la instalación uno o más conductores aislados en un cable multipolar como conductores de puesta a tierra de equipo, en cada extremo y en todos los puntos en los que el conductor esté accesible, por los siguientes medios:

- Quitando el aislamiento o el recubrimiento en toda la parte expuesta.
- Pintando de verde el aislamiento o el recubrimiento expuesto.
- Marcando el aislamiento o el recubrimiento expuesto con una cinta o etiquetas adhesivas de color verde.

2.2.3.2 Conductores de electrodos

Los materiales del conductor del electrodo de puesta a tierra se especifican en los siguientes incisos:

- **Conductor del electrodo de puesta a tierra:** El conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser de cobre o aluminio. El material elegido debe ser resistente a la corrosión que se pueda producir en la instalación, y debe

estar adecuadamente protegido contra la corrosión. El conductor debe ser macizo o cableado, aislado, forrado o desnudo, y debe ser de un solo tramo continuo, sin empalmes ni uniones.

- **Tipos de conductores para la puesta a tierra de equipo:** El conductor de puesta a tierra de equipo tendido con los conductores del circuito o canalizado con ellos, debe ser de uno de los siguientes tipos o una combinación de varios de ellos: (1) un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Este conductor debe ser macizo o cableado, aislado, cubierto o desnudo y formar un cable o barra de cualquier forma; (2) un tubo metálico tipo pesado; (3) un tubo metálico tipo semipesado; (4) un tubo metálico tipo ligero; (5) un tubo metálico flexible, si tanto el tubo como sus accesorios están aprobados y listados para puesta a tierra; (6) la armadura de un cable de tipo AC; (7) el blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral; (8) el blindaje metálico de los conductores con blindaje metálico y los conductores de puesta a tierra que sean cables de tipo MC; (9) los soportes para cables tipo charola; (10) cable ductos; (11) otras canalizaciones metálicas con continuidad eléctrica, aprobadas para usarse para puesta a tierra.

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

2.2.3.3 Instalación

Los conductores de puesta a tierra se deben instalar como se indican a continuación.

Un conductor del electrodo de puesta a tierra o su envolvente debe sujetarse firmemente a la superficie sobre la que va instalado. Un conductor de cobre o aluminio de 21.15 mm² (4 AWG) o superior, se debe proteger, si está expuesto a daño físico severo. Se puede llevar un conductor de puesta a tierra de 13.3 mm² (6 AWG) que no esté expuesto a daño físico, a lo largo de la superficie del edificio sin tubería o protección metálica, cuando esté sujeto firmemente al edificio

Los conductores de puesta a tierra de tamaño nominal inferior a 13.3 mm² (6 AWG) deben alojarse en tubo metálico tipo pesado, semipesado, ligero, en tubo no metálico tipo pesado, o en cable armado.

No se deben usar como conductores de puesta a tierra, conductores aislados o desnudos de aluminio que estén en

contacto directo con materiales de albañilería o terreno natural, o si están sometidos a condiciones corrosivas.

Cuando se utilicen a la intemperie, los conductores de puesta a tierra de aluminio no se deben instalar a menos de 45 cm del terreno natural.

Las envolventes metálicas del conductor del electrodo de puesta a tierra deben ser eléctricamente continuas desde el punto de conexión a los envolventes o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, y deben estar sujetas firmemente a las abrazaderas o herrajes de tierra.

Las envolventes metálicas que no sean continuas físicamente desde el envoltorio o equipo hasta el electrodo de puesta a tierra, se deben hacer eléctricamente continuas mediante un puente de unión de sus dos extremos al conductor de puesta a tierra. Un conductor de puesta a tierra de equipo se debe instalar como sigue:

Cuando consista en una canalización, un soporte para cables tipo charola, armadura o forro de cables o cuando sea un conductor dentro de una canalización o cable, se debe instalar cumpliendo las disposiciones aplicables de esta norma usando accesorios para uniones y terminales que estén aprobados para usarlos con el tipo de canalización o cable utilizados.

Todas las conexiones, uniones y accesorios se deben fijar firmemente con los medios adecuados. Cuando haya un conductor independiente de tierra de equipo, se debe instalar de acuerdo con lo indicado en el inciso anterior en lo que respecta a las limitaciones del aluminio y a la posibilidad de daño físico. No es necesario que los cables inferiores a 13.3 mm² (6 AWG) se alojen dentro de una canalización o armadura cuando se instalen por los espacios huecos de una pared o cuando vayan instalados de modo que no sufran daño físico.

2.2.3.4 Tamaño de los conductores de puesta a tierra

El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la TABLA N° 02.

Cuando haya conductores en paralelo en varias canalizaciones o cables, el conductor de puesta a tierra de equipo, debe estar instalado en paralelo.

Cada conductor de puesta a tierra de equipo instalado en paralelo debe tener un tamaño nominal seleccionado sobre la base de la corriente eléctrica nominal del dispositivo de

protección contra sobrecorriente que proteja los conductores del circuito en la canalización o cable.

Cuando se usen varios grupos de conductores de entrada a la acometida, la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida se debe calcular por la mayor suma de las secciones transversales de los conductores de cada grupo.

Cuando no haya conductores de entrada a la acometida, la sección transversal del conductor al electrodo de puesta a tierra se debe calcular por la sección transversal equivalente del mayor conductor de entrada a la acometida de acuerdo con la corriente eléctrica de carga calculada.

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

Cuando solo haya un conductor de puesta a tierra de equipo con varios circuitos en el mismo tubo o cable, su tamaño nominal debe seleccionarse de acuerdo con el dispositivo de sobrecorriente de mayor corriente eléctrica

nominal de protección de los conductores en el mismo tubo o cable.

El dispositivo de sobrecorriente consiste en un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector de motor contra cortocircuitos, el tamaño nominal del conductor de puesta a tierra de equipo se puede seleccionar de acuerdo con la capacidad nominal del dispositivo de protección del motor contra sobrecorriente, pero no debe ser inferior a lo especificado en el TABLA N° 02.

2.2.3.4.1. Tamaño del conductor del electrodo de PST para CC

No debe ser de tamaño nominal inferior al del neutro. Cuando un sistema eléctrico de CC consista en un circuito balanceado de tres conductores o un devanado de equilibrio con protección contra sobrecorriente. El conductor del electrodo de puesta a tierra no debe ser de tamaño nominal inferior al del conductor de mayor tamaño nominal del suministro de energía.

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
15	2.082(15)	---
20	3.307(12)	---
30	5.26(10)	---
40	5.26(10)	---
60	5.26(10)	---
100	8.367(8)	13.3(6)
200	13.3(6)	21.15(4)
300	21.15(4)	33.62(2)
400	33.62(2)	42.41(1)
500	33.62(2)	53.48(1/0)
600	42.41(1)	67.3(2/0)
800	53.48(1/0)	85.01(3/0)
1000	67.3(2/0)	107.2(4/0)
1200	85.01(3/0)	126.7(250)
1600	107.2(4/0)	177.3(350)
2000	126.7(250)	202.7(400)
2500	177.3(350)	304(600)
3000	202.7(400)	304(600)
4000	253.4(500)	405.37(800)
5000	354.7(700)	608(1200)
6000	405.37(800)	608(1200)

Véase limitaciones de la instalación en 250-90(a)

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

TABLA N° 02: Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipo.

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm ² (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor al electrodo de tierra mm ² (AWG o kcmil)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33.62 (2) o menor	53.8 (1/0) o menor	8.367 (8)	13.3 (6)
42.41 ó 53.48 (1 ó 1/0)	67.43 ó 85.01 (2/0 ó 3/0)	13.3 (6)	21.15 (4)
67.43 ó 85.01 (2/0 ó 3/0)	4/0 ó 250 kcmil	21.15 (4)	33.62 (2)
Más de 85.01 a 177.3 (3/0 a 350)	Más de 126.7 a 253.4 (250 a 500)	33.62 (2)	53.48 (1/0)
Más de 177.3 a 304.0 (350 a 600)	Más de 253.4 a 456.04 (500 a 900)	53.48 (1/0)	85.01 (3/0)
Más de 304 a 557.38 (600 a 1100)	Más de 456.04 a 886.74 (900 a 1750)	67.43 (2/0)	107.2 (4/0)
Más de 557.38 (1100)	Más de 886.74 (1750)	85.01 (3/0)	126.7 (250)

TABLA N° 03: Conductor del electrodo de tierra de instalaciones.

En ningún caso el conductor del electrodo de puesta a tierra debe ser inferior a 8.367 mm² (8 AWG) de cobre o de 13.3 mm² (6 AWG) de aluminio.

2.2.3.5 Diseño de una malla de puesta a tierra

El procedimiento general debe incluir los siguientes pasos:

- Cálculo del área del terreno donde se va a instalar la malla.
- Cálculo del radio equivalente de esta área.
- Dibujar un rectángulo sobre esta área.
- Insertar una malla dentro de este rectángulo.
- Calcular la longitud del conductor requerido que se propone.
- Medir la longitud real del conductor resultante.
- Medir la resistividad del terreno.
- Cálculo de corrientes de cortocircuito.
- Cálculo de la corriente máxima de la malla.
- Análisis de las tensiones de paso y contacto.
- Medición de la resistencia de malla de puesta a tierra.

Las fórmulas para el diseño de la malla de puesta a tierra las establece el IEEE, las prácticas avaladas por el IEEE establece ciertos parámetros:

- Valor máximo de la resistencia de puesta a tierra.
- Corriente de falla.
- Tiempo máximo de duración de la malla en segundos.
- Resistividad del terreno.

El área (**A**) que ocupa la malla después de su configuración y el radio (**r**) de área circular equivalente a A de ésta se calcula con:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

La corriente de corto circuito (I_{cc}) se puede calcular aplicando la siguiente ecuación:

$$I_{cc} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times KV}$$

Donde:

- MVA potencia de corto circuito trifásica en MVA.
- KV tensión de suministro en KV.

El calibre del conductor depende del valor de la corriente de falla, el tiempo de duración de ésta y el material del que esté hecho el conductor. El cálculo del conductor de puesta a tierra se puede realizar de la siguiente manera:

$$A = I \cdot \sqrt{\frac{33 \cdot s}{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}}$$

Donde:

- A es el área en mil.
- I es la corriente máxima de falla a tierra en A.
- s es el tiempo durante el cual fluye la corriente de falla.
- T_m es la temperatura máxima de fusión, en °C.
- T_a es la temperatura ambiente.

El factor T_m, temperatura máxima de fusión, se puede obtener del TABLA N° 04.

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

TABLA N° 04: Temperatura máxima de fusión

Para el cálculo de la longitud al cual se debe enterrar el conductor, se requieren los siguientes factores, K_m y K_i :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16h \cdot d}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left[\frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \dots \frac{2n-3}{2(n-1)}\right]$$

Donde:

- D es la separación entre conductores de la malla en m.
- d es el diámetro del conductor en m.
- h es la profundidad de la zanja donde se entierra la malla en m.
- n es el número de conductores.

$$K_i = 0.656 + 0.172 \cdot n$$

Entonces, la longitud (L) para los conductores de la malla para mantener el potencial entre los límites de seguridad se realiza con:

$$L = \frac{K_m \times K_i \times \rho \times I \times \sqrt{t}}{116 + 0.17 \cdot \rho_s}$$

Donde:

- I es la corriente de falla en A.
- t el tiempo de duración de la corriente de falla en seg.
- ρ la resistividad del terreno en $\Omega - m$.
- ρ_s la resistividad superficial del terreno en $\Omega - m$.

Los potenciales tolerables por el cuerpo humano para los voltajes de paso y de contacto son:

$$V_{paso} = \frac{116 + 0.7 \cdot \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$V_{contacto} = \frac{116 + 0.17 \cdot \rho_s}{\sqrt{t}}$$

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

Cuando existen diferentes sistemas de electrodos de tierra, como tubería de agua, varilla y acero de refuerzo, se determina como un sistema de resistencia en paralelo.

Para la resistencia de una malla de tierra (R_m) con varillas es recomendable la fórmula de Swcharz:

$$R_m = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - R_{12}}$$

Donde:

- R_1 es la resistencia del conductor.
- R_2 es la resistencia de todas las varillas.

- R12 es la resistencia mutua entre R1 y R2.

$$R_1 = \left(\frac{\rho_1}{\pi \cdot l_1} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{h'} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

$$R_2 = \left(\frac{\rho_a}{2 \cdot n \cdot \pi \cdot l_2} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{8 \cdot l_2}{d_2} \right) - 1 + 2 \cdot K_1 \left(\frac{l_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

$$R_{12} = \left(\frac{\rho_a}{\pi \cdot l_1} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{l_2} \right) + K_1 \left(\frac{l_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right]$$

$$\rho_a = \frac{l_2 (\rho_1 \cdot \rho_2)}{\rho_2 (H - h)} + \rho_1 (l_2 + h - H)$$

Donde:

- ρ_1 la resistividad de los conductores de la malla a una profundidad h.
- ρ_a la resistividad aparente vista por las varillas.
- H es la profundidad de la capa superior.
- ρ_2 la resistividad desde H hacia la profundidad.
- l_1 es la longitud total de la malla.
- l_2 es el promedio de la longitud de las varillas.
- h es la profundidad de enterramiento de la malla.
- A es el área cubierta por la malla de dimensiones a x b en m².
- n es el número de varillas ubicadas en el área A.

- K1, K2 son las constantes que dependen de la geometría del terreno.
- d1 es el diámetro del conductor de la malla en m.
- d2 es el diámetro de las varillas en m.
- a es la longitud de lado largo de la malla.

Para el cálculo de la resistencia del sistema de tierras también se puede utilizar la siguiente fórmula de Laurent:

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot R} + \frac{\rho}{L}$$

Donde:

- R es el radio equivalente del sistema.
- L es la longitud total del conductor de la malla en m.
- ρ es la resistividad de terreno en $\Omega \cdot m$.

2.3 Marco conceptual

- **Acoplamiento:** Se forma entre dos circuitos cuando existe algún camino por el que uno de ellos pueda ceder energía al otro. El acoplamiento por conducción se da cuando dos circuitos tienen alguna impedancia común.
- **Blindajes:** Método que consiste en una superficie metálica dispuesta entre dos regiones del espacio, utilizada con el fin de atenuar la propagación de los campos electromagnéticos.
- **ESD:** Descargas electrostáticas. Son los fenómenos debidos a la presencia de cargas eléctricas estacionarias o móviles y a su interacción.

- **Filtrado:** Es necesario para el desacoplo de los circuitos para su correcto funcionamiento. Utilizados para combatir los transitorios y los sobrevoltajes, filtrando armónicos y perturbaciones.
- **Transitorios:** Son perturbaciones creadas por impulsos acopladas en los circuitos eléctricos, que se encuentran en forma conducida en los cables de alimentación y en las entradas de control y señalización.
- **MGB:** Master Ground Bar. Platina de aterrizaje de tierras, donde van conectados todos los equipos instalados en una caseta o contenedor, instalada inmediatamente debajo del pasamuro.
- **Puesta a tierra antiestática:** Sistema de puesta a tierra diseñado y construido para desviar hacia el suelo los potenciales originados por fenómenos de electricidad estática, por su gran riesgo de producir daños a equipos sensibles.
- **Bobina de choque:** Elemento acoplador que puede utilizarse para interconectar los sistemas de puesta a tierra de potencia y de equipo sensible, o para reducir ruidos eléctricos en la alimentación de equipo sensible.
- **Concesionario:** Es el titular de una concesión definitiva de distribución, otorgada al amparo de la ley de Concesiones Eléctricas.
- **Contratista:** Como la persona jurídica a la cual el Propietario otorgará el contrato de construcción del Edificio en lo relativo a éste proyecto.
- **OSINERGMIN:** Organismo de Supervisión de Inversión de la Energía y Minas
- **Usuario:** Persona natural o Jurídica que hace uso legal del suministro eléctrico correspondiente y, es responsable
- **CNE-Suministro:** Código Nacional de Electricidad Suministro.

- **CNE-Utilización:** Código Nacional de Electricidad Utilización
- **NTCSE:** Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos: Norma de procedimientos para la elaboración de proyectos y ejecución de obras en sistemas de distribución y sistemas de utilización en media tensión en zonas de distribución Resolución Directoral N° 018-2002-EM/DGE
- **Conductor de puesta a tierra:** Es aquel conductor de un circuito que se conecta a tierra intencionalmente. Este conductor garantiza la conexión física entre las partes metálicas expuestas a alguna falla y la tierra. Por medio de este conductor circula la corriente no deseada hacia la tierra.
- **Electrodo de puesta a tierra:** Es un cuerpo metálico conductor desnudo que va enterrado y su función es establecer el contacto con la tierra física.
- **Puente de unión:** Este puente es un conductor que nos sirve para proporcionar la conductividad eléctrica entre partes de metal que requieren ser conectadas eléctricamente.
- **Red de tierra:** Es la porción metálica subterránea de un sistema aterrizado que dispara hacia la tierra todo flujo de corriente no deseado. Esta red se puede componer de varias mallas interconectadas.
- **Resistencia de tierra:** Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores
- **Resistividad del terreno:** Es la propiedad del terreno que se opone al paso de la corriente eléctrica, la resistividad varía de acuerdo a las características del terreno.
- **Sistema de tierra:** Son varios conductores desnudos que se interconectan con una o varias mallas o electrodos enterrados.

- **Supresor de pico:** No son más que elementos de protección contra sobretensiones transitorias.
- **Tierra aislada:** Es un conductor de tierra con aislamiento que se conecta a algún equipo ,este conductor se coloca en el misma soporte donde se encuentran los cables de energía

Capítulo III

Diseño y descripción del sistema

3.1 Análisis de las características a considerar para el diseño de los pozos y malla a tierra según las condiciones del edificio de oficinas Swiss Tower

Con el objeto de conseguir que no existan diferencias de potencial peligrosas entre el conjunto de las instalaciones eléctricas y la superficie del terreno, se procedió a analizar las características a considerar para el diseño de los pozos y malla a tierra según las condiciones del Edificio de Oficinas Swiss Tower.

Partiendo de que todos los elementos metálicos sin tensión de los tableros de distribución, como son los soportes de los interruptores y la estructura metálica del tablero, estará unido al pozo de tierra mediante un conductor desnudo.

El recorrido de estos conductores son del modo que se puede realizar la inspección fácilmente y se asegurará a la superficie mediante grapas o abrazaderas. El sistema cumplirá íntegramente con las normas vigentes y el Código Eléctrico de Baja Tensión.

Se proveerán de una malla a tierra en el último sótano del edificio de viviendas para cada servicio requerido (cómputo, baja tensión y ascensores).

Dentro de la construcción, se conectarán a tierra todos los elementos metálicos de las estructuras metálicas, armaduras de muros, soportes de hormigón, instalaciones de fontanería y saneamiento, aire acondicionado, calefacción, guías de aparatos elevadores, masas y todos los elementos metálicos importantes de la instalación eléctrica en general, antenas, y cualquier otro elemento que por la reglamentación vigente, por seguridad o por desprenderse explícita o implícitamente del proyecto, se comprenda su necesidad de puesta a tierra.

Los circuitos de puesta a tierra formarán una línea eléctrica continua, en la que no se incluirán en serie masas, ni elementos metálicos, interruptores, seccionadores, etc. Su trazado será lo más recto posible, evitando curvas de radio pequeño.

Las uniones entre elementos de acero y cobre para evitar pares galvánicos, se efectuarán fuera del terreno y utilizando elementos bimetálicos. Todas

las uniones entre conductores principales, barras de cobre y derivaciones se realizarán con soldadura de termofusión tipo CADWELD.

Se considerarán cámaras de registros con puente de prueba desmontable para poder medir periódicamente la resistencia de la toma.

Desde los puentes de prueba de los puntos de puesta a tierra se llevarán líneas con conductores de cobre desnudos o aislados con PVC para 750 V, en color amarillo - verde, hasta las instalaciones respectivas.

Todas las salidas de los cuadros secundarios incorporan cable de tierra, del mismo tipo que las alimentaciones eléctricas, hasta los receptores, acompañando a dichas líneas.

El diseño de las puestas a tierra se realizará de acuerdo con las especificaciones técnicas de las siguientes normas: Standard IEC 62305-3 Ed. 1.0: Protection against lightning-Part 3: Physical damage to structures and life hazard.2006, NFPA 780-2000 Standard for lightning protection system, API 2003-1998 Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning and Spray currents, IEEE 1100-2005. IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment y IEEE Std 81- 1983- IEEE Guide for measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, IEEE Std 80-2000 (Revision of IEEEStd 80-1986) IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. Approved 30 January 2000.

A pesar de que en la simulación realizada para analizar la estratificación del terreno, se seleccionó el modelo de dos capas, pero teniendo en cuenta que la resistividad obtenida en la modelación no es lo suficientemente baja, se consideró utilizar el suelo artificial Favigel, el cual presenta un valor muy bajo de resistividad una vez humedecido.

3.2 Diseño del pozo y malla a tierra

3.2.1 Consideraciones para el diseño del pozo a tierra para Baja Tensión

Estará constituido por una malla de pozos de tierra que estarán unidos entre sí, según los planos, cuya resistencia será no mayor a 3 Ohm.

Todos los equipos de fuerza y no estabilizados se conectarán a esta malla de tierra, tales como electro-bombas, ascensores, aire acondicionado, etc.

Las secciones de cable de tierra no deben ser inferiores a la mitad del cable de mayor sección que protegen, no pudiéndose usar como conductor de tierra ni tubos ni envolventes metálicos que formen la canalización.

Los cables de protección que no lleven los colores amarillo y verde deberán señalizarse con cinta aislante amarillo - verde al menos en los últimos 50 cm. antes del borne de tierra.

Todas las armaduras de la instalación como guías de ascensores, tuberías, depósitos, antenas, etc., deberán conectarse al sistema de tierra de fuerza la red de tierras a través del correspondiente latiguillo y barra equipotencial, independiente de la conexión del conductor de protección empleando elementos bimetálicos si fuera menester para evitar la aparición de pares galvánicos.

En el caso de elementos que no forman parte del edificio como: depósitos, báculos, postes, etc., se pondrán a tierra mediante los elementos reglamentarios, evitando la unión de metales diferentes que puedan dar lugar a pares galvánicos.

Para el caso de los pozos a tierra para cómputo, Se proyecta un sistema de malla de tierra conformado nueve pozos de tierra, según la configuración de los planos, unido a la red general de tierras en dos puntos como mínimo, para dar tierra a la informática y estabilizado, debiendo ser la resistencia de este sistema inferior a 3Ω .

Las secciones de cable de tierra no deben ser inferiores a la mitad del cable de mayor sección que protegen, no pudiéndose usar como conductor de tierra ni tubos ni envolventes metálicos que formen la canalización. Los cables de protección que no lleven los colores amarillo y verde deberán señalizarse con cinta aislante amarillo - verde al menos en los últimos 50 cm. antes del borne de tierra.

3.2.2 Cálculo de la resistencia de los Pozos de puesta a Tierra

Según IEEE Std 142 - 1991 - Tabla 13

A. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA N°1 (contrapeso)	
1. Datos :	
Resistividad del terreno (GP)	1000 ohm - m
Longitud de contrapeso (L)	135.00 m
Profundidad (s/2)	0.60 cm
Sección del conductor	70.00 mm ²
Radio del conductor	0.0075 m
2. Cálculo de la resistencia (R1)	
$R1 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) + \ln\left(\frac{4L}{s}\right) - 2 + \left(\frac{s}{2L}\right) - \left(\frac{s}{4L}\right)^2 - 0,5\left(\frac{s}{2L}\right)^4 \right]$	
R1	= 9.02 ohm

TABLA N° 05: Cálculo de la Resistencia R1 – Baja Tensión, Cómputo y Ascensores

B. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA N°2 (vertical)	
1. Datos :	
Resistividad del terreno	1000 ohm - m
Longitud de varilla (L)	2.40 m
Cantidad de sistemas verticales	6.00
Radio de varilla (5/8")	0.0079 m
2. Cálculo de la resistencia (R2)	
$R2 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 \right]$	
R2	= 202.19 ohm
La resistencia total será entonces:	
$RT = \frac{1}{\left(\frac{1}{R1} + \frac{4}{R2}\right)}$	
RT	= 7.12 ohm
Si se considera aditivos para reducción del valor de la resistencia al 30%	
RT	= 2.13 ohm
NOTA: Para ascensores la resistencia mínima es de 5.00 Ohm.	

TABLA N° 06: Calculo de la Resistencia RT – Baja Tensión, Computo y Ascensores

A. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA N°1 (contrapeso)			
1. Datos :			
<i>Resistividad del terreno</i>		1000	ohm - m
<i>Longitud de contrapeso (L)</i>		10.00	m
<i>Profundidad (s/2)</i>		0.60	cm
<i>Sección del conductor</i>		70.00	mm ²
<i>Radio del conductor</i>		0.0075	m
2. Cálculo de la resistencia (R1)			
$R1 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[Ln\left(\frac{4L}{a}\right) + Ln\left(\frac{4L}{s}\right) - 2 + \left(\frac{s}{2L}\right) - \left(\frac{s}{4L}\right)^2 - 0,5\left(\frac{s}{2L}\right)^4 \right]$			
R1	=	81.24	ohm

TABLA N° 07: Cálculo de la Resistencia R1 – Sistema de Sub Estaciones Eléctricas MT

B. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA N°2 (vertical)			
1. Datos :			
<i>Resistividad del terreno</i>		1000	ohm - m
<i>Longitud de varilla (L)</i>		2.40	m
<i>Cantidad de sistemas verticales</i>		3.00	
<i>Radio de varilla (5/8")</i>		0.0079	m
2. Cálculo de la resistencia (R2)			
$R2 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[Ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 \right]$			
R2	=	202.19	ohm
La resistencia total será entonces:			
$RT = \frac{1}{\left(\frac{1}{R1} + \frac{4}{R2}\right)}$			
RT	=	36.84	ohm
Si se considera aditivos para reducción del valor de la resistencia al 30%			
RT	=	11.05	ohm
NOTA: Las Tierras de los equipos de MT y Neutros de los transformadores no deben superar los 15.00 Ohm.			

TABLA N° 08: Cálculo de la Resistencia RT – Sistema de Sub Estaciones Eléctricas MT

3.2.3 Materiales a usarse en pozos a tierra

3.2.3.1 Electrodo

El electrodo o jabalina será de cobre de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por 2.50 m de longitud, llevará sus respectivos conectores para ser enlazados con los cables de tierra.

Para la instalación del electrodo se excavará un hoyo de 1 m de diámetro por 3.0 m de profundidad, que luego será rellenado con tierra de tipo vegetal, adicionalmente se tratara éste pozo con dos dosis de sal y bentonita o con agregados tipo Thor gel o similar, de no llegarse a la resistencia requerida se tratará el pozo hasta conseguir el valor requerido.

3.2.3.2 Suelo artificial

Serán del tipo Favigel o similar. Deben garantizar una disminución de la Resistencia del pozo de Tierra inferior a 3 ohmios

3.2.4 Construcción del sistema de puesta a tierra

- Para las conexiones se debe emplear soldadura exotérmica o conectores que cumplan con las recomendaciones de las normas IEC 60364-5-54/542.3.2, NTC 4682 o la IEEE – 837, con el objeto de reducir las resistencias de contacto.
- Para la ejecución de la puesta a tierra hacer una excavación del ancho de una pala con una profundidad mínima de 50 cm.

- Compactar la base de la zanja y emparejar lo más horizontal posible.
- Colocar el cable lo más horizontal posible a lo largo de la zanja y colocar el FAVIGEL sobre el cable cubriéndolo, por cada 7 m de cable una bolsa de 25 kg.
- Colocar la misma tierra extraída de la zanja (sin piedras) sobre el FAVIGEL hasta cubrir con una capa de 10 a 15 cm.
- Humectar la zona y COMPACTAR lo más que se pueda. Cuanto mejor se compacte los resultados son mejores.
- Humectar el Favigel con 5 galones de agua por cada dosis de 25 kg que se utilice.

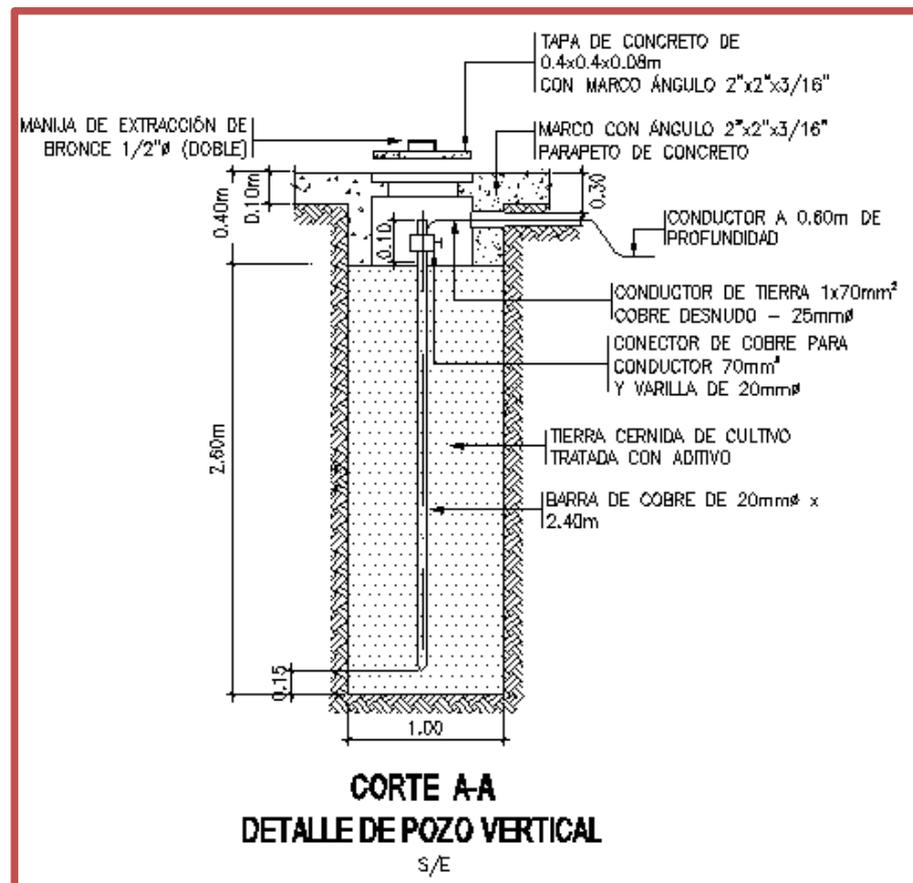


FIGURA N° 12: Dimensiones del Pozo a Tierra Vertical

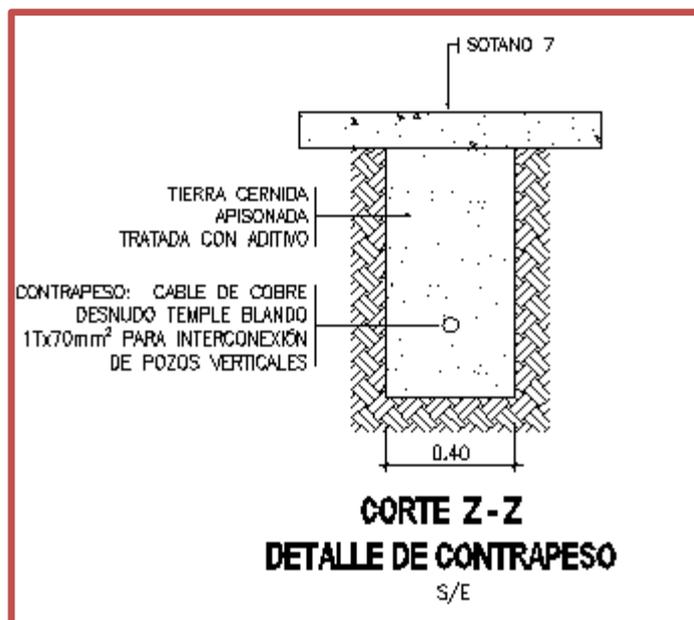


FIGURA N° 13: Esquema del Contrapeso

COLOCACION DE ELECTRODO TIPO CABLE 70mm(contrapeso)			
PASO	NOMBRE DEL PASO	ESQUEMA	DESCRIPCION
1	Aperturación de zanja		<p>La zanja puede ser aperturada con obreros o con retroexcavadora, por ello la variación en las alturas y anchos. De haber zona rocosa la zanja será de 30 cm de prof.</p>
2	Colocación de cable y favigel		<p>Se coloca el cable lo más recto posible en medio de la zanja, luego se coloca sobre el cable FAVIGEL cubriéndolo, una bolsa para 7m.</p>
3	Primera capa de tierra		<p>Hechar una capa de tierra de entre 10 a 15 cm de la misma zanja sin piedras, sobre el FAVIGEL, sin desparramarlo y de ser posible humedecer la zona.</p>
4	Segunda capa de tierra		<p>Hechar una capa del material de la zanja aperturada (con todo y piedras) hasta cubrir la zanja, de ser posible compactar y humedecer.</p>

TABLA N° 09: Pasos Seguidos para la colocación del electrodo Tipo Cable 70mm

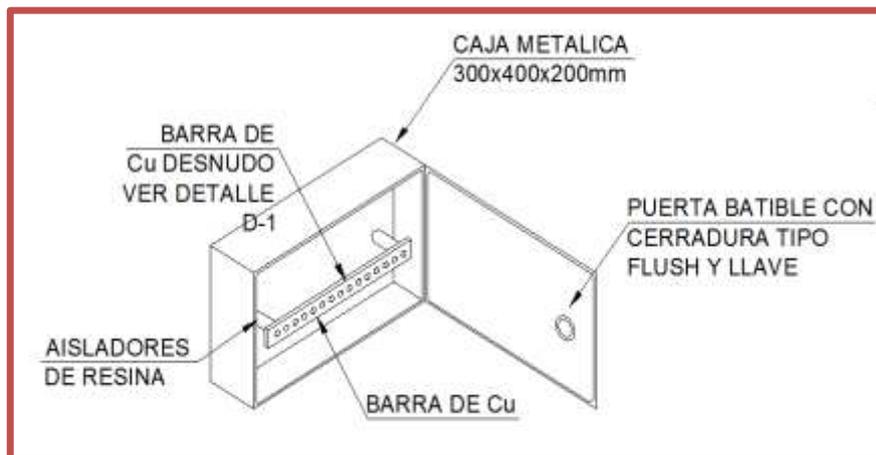


FIGURA N° 14: Caja de Barra Equipotencial

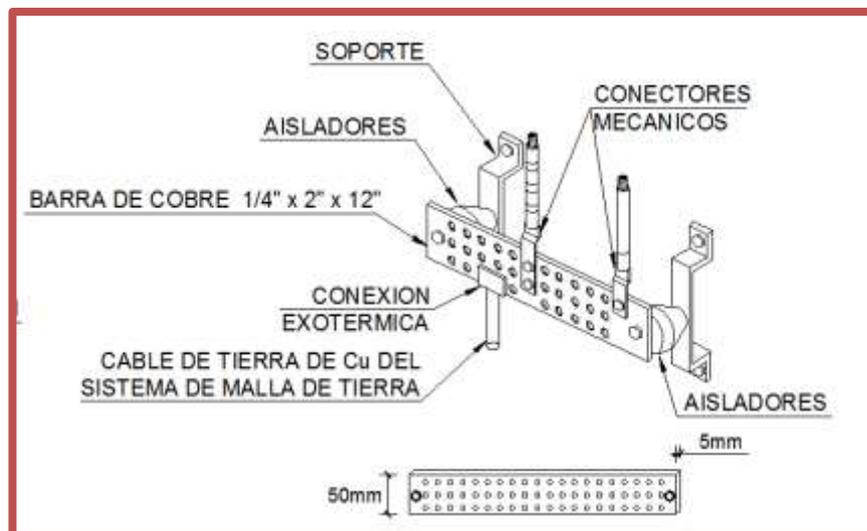


FIGURA N° 15: Barra Equipotencial

En el Anexo N° 01, se muestra la distribución de los Pozos a Tierra y la conformación de la Malla.

3.3 Revisión y consolidación de los resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en referencia a la medición de la resistencia en los 10 pozos a tierra, según los protocolos adjuntos:



PROTOCOLO - MEDICIÓN DE POZO A TIERRA



DATOS GENERALES

NOMBRE DEL PROYECTO:	OFICINAS SWISS TOWER	PROTOCOLO:	1
ESPECIALIDAD:	INSTALACIONES ELECTRICAS	UBICACION:	27/03/2015

VERIFICACION DE ELEMENTOS

Elemento a verificar:	Ubicación <input type="radio"/> Sotano 7	Marca: KYORITSU MODEL 4105A
	Nº de pozos <input type="radio"/> 10 pozos	Escala: 20 Ohmios

Verificación de trabajos previos a la instalación:

- Verificación de ubicación y número de pozos
- Verificación del teluometro y sus elementos
- Se verificó la varilla

NUMERO DE POZO	Resistencia (Ω)								Resultado
N°1	7.80	7.78	8.01	8.03	7.95	7.88	7.80	7.89	
N°2	8.13	7.96	9.50	7.52	8.06	8.00	7.87	8.15	
N°3	8.02	8.91	8.73	8.15	8.24	8.11	8.59	8.39	
N°4	5.02	4.65	4.32	3.30	4.86	4.21	5.06	4.49	
N°5	4.03	4.40	3.76	4.26	3.95	4.28	4.08	4.11	
N°6	7.36	7.39	7.57	7.33	7.28	7.46	7.35	7.39	
N°7	8.58	8.75	7.46	8.12	8.00	8.45	8.37	8.25	
N°8	9.00	9.45	9.33	8.66	8.93	9.15	8.88	9.06	
N°9	8.91	8.86	10.75	8.95	8.71	8.83	8.45	9.07	
N°10	6.71	6.60	7.72	7.00	7.39	7.46	7.11	7.14	

COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES

FIRMAS DE REPRESENTANTES

POR SUPERVISION		POR CONSTRUCTORA	
Empresa:		Empresa:	
Nombre :		Nombre :	
Cargo: Supervisor Instalaciones Electricas		Cargo: Ing Obras Electromecanicas	
Firma :		Firma :	
POR CONSTRUCTORA		POR CONSTRUCTORA	
Empresa:		Empresa:	
Nombre :		Nombre :	
Cargo: Ing Responsable de Ejecucion		Cargo: Ing Calidad	
Firma :		Firma :	

TABLA N° 10: Protocolo – Medición de Pozo a tierra

		PROTOCOLO - MEDICIÓN DE MALLA						
DATOS GENERALES								
NOMBRE DEL PROYECTO:		OFICINAS SWISS TOWER				PROTOCOLO:		1
ESPECIALIDAD:		INSTALACIONES ELECTRICAS				UBICACION:		27/03/2015
VERIFICACION DE ELEMENTOS								
Elemento a verificar:	Ubicación	<input type="radio"/>	Solano 7			Marca:	KYORITSU MODEL 4105A	
	Nº de pozos	<input type="radio"/>	10 pozos			Escala:	20 Ohmios	
Verificación de trabajos previos a la instalación:								
<input type="checkbox"/> Verificación de ubicación y recorrido de la malla								
<input type="checkbox"/> Verificación del telurómetro y sus elementos								
<input type="checkbox"/> Se verificó el terreno para anclar los puntos de medición								
Malla a tierra	Resistencia (Ω)							Resultado
	0.33	0.45	0.83	0.92	0.42	0.48	0.35	0.54
COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES								
FIRMAS DE REPRESENTANTES								
POR SUPERVISION				POR CONSTRUCTORA				
Empresa:				Empresa:				
Nombre :				Nombre :				
Cargo: Supervisor Instalaciones Electricas				Cargo: Ing Obras Electromecanicas				
Firma :				Firma :				
POR CONSTRUCTORA				POR CONSTRUCTORA				
Empresa:				Empresa:				
Nombre :				Nombre :				
Cargo: Ing Responsable de Ejecucion				Cargo: Ing Calidad				
Firma :				Firma :				

TABLA N° 11: Protocolo – Medición de Malla

Interpretación de resultados: Se observa que la resistencia resultante de la malla es de 0.54, por lo que cumple con no exceder el estándar recomendado; En ese sentido el diseño realizado es adecuado para eliminar las diferencias de potencial peligrosas.

A continuación se ilustran las mediciones realizadas para determinar la resistencia de la malla a tierra:



**FIGURA N° 16: Medición de la Resistencia con el Telurómetro
KYORITSU MODEL 4105A**



FIGURA N° 17: Trabajo a Nivel de Campo para la obtención de Resultados

CONCLUSIONES

- Se concluye que el diseño de pozos y malla a tierra según la configuración de planos y distribución de elementos metálicos en las instalaciones del edificio Swiss Tower de la ciudad de Lima, conllevaron a la obtención de parámetros óptimos de ohmiaje.
- Se concluye que se verificó que los parámetros de los pozos y malla a tierra para las instalaciones del edificio Swiss Tower de la Ciudad de Lima, presentan valores óptimos de resistencia.
- Finalmente se concluye que mediante la utilización de pozos y malla a tierra para las instalaciones del edificio Swiss Tower de la Ciudad de Lima, se llega a eliminar las diferencias de potencial peligrosas entre el conjunto de las instalaciones eléctricas y la superficie del terreno.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la prueba de resistividad de la malla de puesta a tierra debe realizarse en concordancia a los estándares aplicables (CNE), cuyos valores obtenidos deberán cumplir con los indicados en las especificaciones técnicas del proyecto.
- Se recomienda que todas las pruebas eléctricas se efectúen con equipos e instrumentos debidamente calibrados para lo cual, se debe disponer del certificado de calibración.
- Teniendo en cuenta que se ejecutarán partidas de excavación e instalaciones de manera simultánea, se recomienda determinar la secuencia de ejecución de manera que no se obstaculicen los accesos a cada una de las actividades y en las interferencias priorizar la ejecución de las instalaciones que se encuentran a mayor profundidad de excavación.

BIBLIOGRAFÍA

- VALENCIA V., Jaime. “Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra”. MEXICO. Editorial: LIMUSA. 2009
- HUETE S. Manuel. Tesis: “Sistemas de Puesta a tierras”. Universidad San Carlos. 2008.
- MORENO O. German. “Fundamentos de Ingeniería de las puesta a Tierra”. COLOMBIA. Editorial: Universidad de Antioquia. 2007
- CROFT A. Thomas. “Manual del Montador Electricista”. ESPAÑA. Editorial: Reverte. 2004.
- CHINCHILLA. D. Luis. Tesis: “Diseño del Sistema de Puesta a Tierra de una planta termoeléctrica de generación”. Universidad Central de Venezuela. 2008
- TORRES M. Luis. “Tratado de Anestesia y Reanimación”. ESPAÑA. Editorial: ARAN. 2001.
- OJEDA F., Nerio. Sistemas de Puesta a Tierra. (Guía). Curso de extensión de conocimientos. Caracas: Coordinación de extensión U.C.V. Facultad de Ingeniería.
- RAMÍREZ V., Manuel. Estaciones de Transformación y Distribución/ Protección de Sistemas Eléctricos, (Libro). Barcelona-España: Ediciones CEAC. 1981.
- MARTÍ G., José, Sistemas de Potencia Estudio de Fallas Asimétricas. Caracas: U.C.V. 1985.

- Standard IEC 62305-3 Ed. 1.0: Protection against lightning-Part 3: Physical damage to structures and life hazard.2006, NFPA 780-2000
- Standard for lightning protection system, API 2003-1998 Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning and Spray currents,
- IEEE 1100-2005. IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment
- IEEE Std 81- 1983- IEEE Guide for measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, IEEE Std 80-2000 (Revision of IEEEStd 80-1986) IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. Approved 30 January 2000.
- DÍAZ, Pablo. Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución, (Libro). México D.F-México: McGraw-Hill Interamericana editores. 2001.
- IEEE Std 80-2000. *Guide for Safety in AC Substation Grounding*, (Norma). New York: Estados Unidos. 2000.
- Código Nacional de Electricidad. Perú. 2006.
- OTEPI C.A., Diseño de la Protección Catódica para una Línea de Producción de Agua de Ø16". Caracas: 2002.

ANEXOS

Anexo N° 01: Plano de distribución de Pozo y malla a tierra

