



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA CASETAS DE TELECOMUNICACIÓN
(RADIO BASE).**

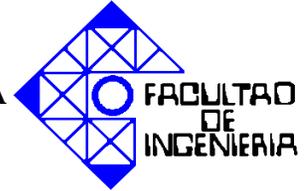
**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

Hernández, Nayla

Humbria, Mariuska



Valencia, Mayo del 2008
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA CASSETAS DE TELECOMUNICACIÓN
(RADIO BASE).**

Hernández, Nayla

Humbria, Mariuska

Valencia, Mayo del 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



RESUMEN

El presente trabajo se basó en la necesidad existente de contar con un procedimiento metodológico para la construcción de sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas para casetas de telecomunicación (radio base), presentándose como una alternativa para la unificación de criterios y estandarización de las normas ya existentes. La investigación se desarrolló bajo la forma de trabajo documental, porque los datos requeridos debieron ser extraídos de fuentes referidas a normativas, reglamentos, modelos, informes y métodos de procedimiento que fueron necesario para su posterior análisis. Las técnicas usadas en el presente estudio fueron la consulta bibliografía, la observación documental y el fichaje, para el procesamiento de los datos se usó la técnica del análisis de contenido. Los resultados al ser confrontados con la teoría expuesta por KRIPPENDORFF K. (1990), entre otros, que se obtuvieron a través de los mismos, propiciaron la realización de un diagnóstico de los procedimientos actuales en Venezuela para la construcción de sistemas de puesta a tierra, dónde se determinó la falta de una metodología de construcción y ejecución del sistema de puesta a tierra en sistemas de telecomunicaciones. Se elaboraron recomendaciones concernientes a la necesidad de adoptar la metodología propuesta para que se pueda obtener una puesta a tierra eficiente. La metodología desarrollada explica técnicas de medición de resistividad de terreno y resistencia de sistemas de puesta a tierra, así como criterios que se deben seguir durante la supervisión en la construcción del mismo.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de puesta tierra son componentes de seguridad a los que se les debe conectar según especificaciones de reglamento, a las partes pasivas o de potencial cero de las instalaciones eléctricas.

Un buen diseño para un Sistema de Puesta a Tierra consiste en un proceso de combinaciones y artes, es decir, es una prueba de soluciones que puede variar de acuerdo a los cálculos hechos en forma teórica, ya que para cada sitio en particular son muchos los factores de campo que pueden variar estos cálculos. Es por ello que mediante la visualización, evaluación y el uso procesos analíticos se puede obtener el diseño de puesta a tierra que debe proporcionar, entre otras cosas, la seguridad y salud de las personas que se encuentren en contacto con equipos que pueden ser energizados por desbalance de voltajes, debido a las corrientes parasitas o también por las corrientes producidas en las descargas atmosféricas.

Además de ser este el principal uso de los Sistemas de Puesta a Tierra, también es importante señalar que estos proporcionan la seguridad para el correcto desempeño de los equipos o componentes que operan con bajas tensiones, manteniendo el potencial de referencia cero con respecto a la presencia del suelo.

La correcta especificación de un Sistema de Puesta a Tierra, depende no solamente de su diseño e instalación, sino del terreno donde se instale, ya que según las características especiales de cada terreno donde se vaya a desarrollar pueden influir diferentes factores. Algunos de estos factores son: humedad, temperatura, variaciones estacionales, entre otros, que interviene en la resistividad del terreno, por lo que preparar el terreno con los materiales adecuados es clave para obtener la resistividad deseada.

Por todo lo antes expuesto es de suma importancia que todos los equipos o sistemas que operen con tensiones bajas, medias o altas tengan un buen Sistema de Puesta a Tierra para evitar daños, tanto al personal como a los equipos.

Por otra parte el Sistema de Puesta a Tierra debe proporcionar un camino seguro y expedito para protección contra descargas atmosféricas. De tal manera que debe tomarse en cuenta en la elaboración de la especificaciones para la protección contra tormentas eléctricas, rayos, entre otras, para las Casetas de Telecomunicación (Radio Base), ya que los equipos que operan allí, antenas, amplificadores, rectificadores, UPS, etc., se encuentran expuestos a este tipo de descargas, y es en ese caso donde los Sistemas de Puesta a Tierra deben ofrecer el camino seguro para que la corriente circule evitando que ocurran alteraciones que puedan afectar la vida útil de dicho equipos.

El trabajo especial de grado se desarrollo en cinco capítulos:

Capitulo I: Se refiere al contenido del planteamiento del problema, justificación, objetivos, alcances y limitaciones que se presentaron en el desarrollo de este trabajo.

Capitulo II: Muestra el contenido de los basamentos teóricos necesarios para el desarrollo del tema de investigación presente en la tesis.

Capitulo III: Contiene la metodología a usar en el desarrollo de la tesis.

Capitulo IV: En este capitulo se realiza el diagnostico que sustenta la propuesta, además de las conclusiones y recomendaciones.

Capitulo V: Descripción de la propuesta.

CAPITULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas de telecomunicación son parte fundamental en el desarrollo tecnológico a nivel mundial, y en nuestro país juegan un papel importante en el ámbito social, educativo y económico, debido al creciente aumento del desarrollo tecnológico. Además sirven para la transmisión de señales eléctricas, así como para la transmisión de señales telefónicas y equipos celulares. Existen diversos elementos que comprenden dichos sistemas como antenas de transmisión, equipos de comunicación, como por ejemplo, convertidores, rectificadores, entre otros, dichos equipos operan aproximadamente con tensiones: 48V DC, 120V AC y 220V AC, están expuestos a que sus partes metálicas puedan estar sometidas a un potencial distinto de cero y por lo tanto el personal que opera con ellos pueda sufrir riesgo de un choque eléctrico. Para evitar este tipo de peligro se usa el conductor de tierra, ya que su función principal es la de conducir las corrientes parásitas hacia la tierra de forma directa y segura.

En estos sistemas de telecomunicación las estaciones radio base tienen vital importancia, ya que mediante estas se transmiten los datos usados en la tecnología celular, señales eléctricas, etc., a través de sus antenas, equipos y casetas. Dichos elementos que componen estas estaciones bases deben cumplir con las normas de seguridad mínimas para su operación, donde una de las cuales es tener un adecuado sistema de puesta tierra (SPT).

Por otro lado los equipos de las estaciones radio base son considerados de operación electrónica sensible [1], por lo que lograr una buena referencia de potencial, como es establecido en las normas General Telephone and Electronics (GTE) [2], es el criterio fundamental usado para el diseño del sistema de puesta a tierra en este tipo de sistemas de comunicación.

En los actuales momentos dichas estaciones presentan problemas en los equipos debido a perturbaciones por ruido, interferencias electromagnéticas, cortocircuitos, fallas eléctricas, etc. Dentro de los principales aspectos que pueden generar este tipo de fallas se encuentran los siguientes aspectos:

- Preparación inadecuada del terreno, al usar materiales distintos al recomendado por la norma.
- Acciones vandálicas, hurto de las barras de cobre que se encuentran e la intemperie dejando así al sistema desprovisto de las conexiones necesarias para su buen funcionamiento.
- Falta de supervisión en las ejecuciones de la obras lo que origina que las normas no sean tomadas en cuenta a cabalidad.

Por ejemplo, en las estaciones radio base Laguneta, Topo Copetón, Terepaima y Begotes de EDELCA [3], se presentaron fallas en los equipos debido a que la construcción de ésta se realizó fuera de norma sin la adecuada supervisión. Entre las fallas encontradas en éstas estaciones se pueden enumerar las siguientes:

- La conexión de los 4 soportes de la torre al sistema de puesta a tierra se encuentra con conectores tipo zapato y/o perros y no con soldaduras exotérmica, como se recomienda en la norma.
 - Una de las conexiones de puesta a tierra del soporte de la torre 2 no se encuentra soldado a la malla de tierra.
 - Barras tipo conduit que se encuentran sobre salidas del terreno sin ningún tipo de protección.
 - El bajante del pararrayos de la torre 1 y 2 se encuentran anclados con conectores tipo perro directamente a la torre y no debidamente aislados de ésta, como lo establece la norma. Esto puede crear caminos de corriente a través de la torre y transferencia de potencial a la misma.
-

Por lo anteriormente expuesto se puede ver que al no cumplirse el diseño establecido en la norma para los SPT se puede dejar al sistema desprovisto de algunas conexiones que son necesarias para su adecuado funcionamiento, lo cual puede generar en un futuro daños a los equipos y riesgo al personal que labora en las estaciones base, por lo que desarrollar una metodología para la construcción y a su vez para la supervisión mejorara el rendimiento de los equipos, evitara el costo operativo que representa las reparaciones del SPT, equipos de la radio base e indemnizaciones laborales, entre otros.

Igualmente se debe proteger las Estaciones Radio Base contra descargas atmosféricas, ya que dichas descargas pueden generar corrientes circulatorias que afectan a los equipos de comunicación si no se tiene un adecuado Sistema de Puesta a Tierra. Este tipo de falla afecta la operatividad de dichos equipos y acorta su vida útil. Además se conoce que las corrientes producidas por este fenómeno buscan el camino de menos resistencia, lo que origina una alteración en los equipos presentes en La Estación Radio Base, lo cual produce daños en los mismos y aún más importante al personal que labora en ella. Para solucionar este problema se debe garantizar que exista un camino seguro para la corriente hacia tierra, siendo éste el que otorga los sistemas de puesta a tierra en conjunto con los sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

De acuerdo a lo antes planteado se puede apreciar que los sistemas de puesta a tierra y sistemas de protección contra descargas atmosféricas requieren una dedicada elaboración por ser la base fundamental para evitar las perturbaciones no deseadas en este tipo de instalaciones. El objetote esta investigación es diseñar un procedimiento metodológico para la construcción de puesta a tierra y sistemas de protección contra descargas atmosféricas en casetas de telecomunicaciones siguiendo los lineamientos establecidos en las normas GTE que permita de forma práctica servir de guía para profesionales, estudiantes o técnicos del área en la ejecución del diseño de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas.

1.2 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un procedimiento metodológico para la construcción del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en una caseta de telecomunicación (Radio Base) siguiendo los lineamientos establecidos en las normas GTE.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar los procedimientos actuales para la construcción del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en casetas de telecomunicaciones.
- Identificar las normas de construcción de los Sistemas de Puesta a Tierra actuales usados en Venezuela para las Estaciones Radio Base para analizar las diferencias y similitudes de las normativas que los rigen.
- Diseñar el manual de construcción de sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas para estaciones radio base con el fin de unificar criterios de ejecución en empresas de telecomunicaciones.
- Señalar el conjunto de actividades a seguir para la supervisión de la construcción del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en estaciones radio base con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se justifica debido a que actualmente en Venezuela se observa que a pesar de la existencia de normas que rigen el diseño de los sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en las estaciones Radio Base, se presentan problemas ya que en el momento de su construcción no se toman en cuenta todos los criterios presentes en la norma.

Lo expuesto anteriormente puede originar fallas en los equipos e instalaciones que pueden constituir un peligro para el personal que labora en ellas, así como también la reducción de la vida útil de los equipos, lo cual representa un incremento en cuanto a costos e indemnizaciones laborales para las compañías que trabajan operando estos sistemas de comunicación.

Por ultimo, la realización de este trabajo especial de grado busca la mejora del sistema de puesta a tierra de una radio base así como el sistema de protección contra descargas atmosféricas, con el fin de minimizar los costos operativos que se generan a raíz de fallas en los equipos que conforman las estaciones base.

1.5 ALCANCE Y DELIMITACIONES

La presente investigación desarrollará un procedimiento metodológico para la construcción de los sistemas de puesta a tierra y protecciones contra descargas atmosféricas de equipos eléctricos, electrónicos, voz y data presentes en una estación radio base.

El procedimiento metodológico se basará en el estudio de las normas GTE para los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas, incluyendo la realización de un manual basado en la norma de cómo deben conectarse a tierra los equipos que conforman la estación radio base, así mismo se elaboraran los planos para una estación de radio base típica en ellos se indicarán las guías o conexiones de los distintos elementos de la radio base al sistema de puesta a tierra según la norma.

Finalmente, se señalarán los criterios a seguir para la supervisión en la construcción del SPT y protección contra descargas atmosféricas con el fin de garantizar su funcionamiento.

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

ALCALA M., QUINTERO R. (1993). El problema de puesta a tierra en equipos de potencia en sistemas eléctricos. Universidad de Carabobo. Este proyecto abarca el estudio de las consideraciones básicas para el diseño de una puesta a tierra que sirva como referencia en la operación de las protecciones y garantía de seguridad a personas y equipos, donde se tomaran en cuenta las características del terreno, equipos, etc. La contribución de este trabajo a la presente investigación es el estudio de las características del terreno, sus componentes y materiales que son factores claves para determinar el método de medición de la resistividad y a su vez un adecuado sistema de puesta a tierra.

CASTILLO. A, GONZÁLEZ R. (1997). Criterios en el diseño de puesta a tierra en sistemas de telecomunicaciones. Universidad de Carabobo. Este trabajo de investigación comprende la evaluación de los distintos métodos de puesta a tierra que se utilizan en los sistemas de potencia (baja frecuencia), donde sus características primordiales se examinaron para determinar si cumplen con proveer un camino de baja impedancia para drenar las perturbaciones transitorias creadas por las interferencias electromagnéticas generadas dentro y fuera de las instalaciones. Además crear un potencial de referencia a lo largo de los conductores de drenaje a través de la realización de pruebas de campo que permitieron observar el comportamiento del suelo a diferentes frecuencias. El aporte de este proyecto a este trabajo son los criterios desarrollados que pueden contribuir con el desarrollo de la metodología de construcción de esta investigación.

MARTÍNEZ O. JUAN F. (2000). Desarrollo de una metodología para el diseño y ejecución de sistemas de puesta a tierra en estaciones radio base para la empresa Ingeniería de Servicios, C.A. Universidad Bicentenario de Aragua. Este trabajo se baso en la necesidad de la empresa Ingeniería de Servicios de contar con una metodología para el diseño y ejecución de sistemas de puesta a tierra en estaciones radio base. Dicha investigación se baso en un estudio de campo, en

el cual se utilizaron como técnica e instrumentos la recolección de datos, la observación directa y la entrevista. Además de explicar técnicas de medición de resistividad de terreno, y resistencias de puesta a tierra, así como los criterios que se deben seguir para diseñar un sistema de puesta a tierra. La contribución de esta investigación a este trabajo especial de grado es que permite conocer la metodología empleada para el diseño de los sistemas de puesta a tierra de la empresa Ingeniería de Servicios, C.A., y de esta forma compararla con la metodología a desarrollar por esta investigación.

PEÑAILILLO D., VARGAS E. (2003). Estudio de las características de los sistemas de puesta a tierra a nivel industrial, con criterios de calidad de servicio eléctrico. Universidad de Carabobo. El objetivo fundamental de esta investigación fue el estudio de las características de los Sistemas de Puesta a Tierra en las instalaciones industriales, desde el punto de vista de Calidad de la Energía Eléctrica. La investigación planteada, tomando en cuenta los objetivos perseguidos, es descriptiva, concebida dentro de una modalidad netamente documental, la cual permitió escudriñar los conceptos de puesta a tierra y calidad de energía eléctrica, para de esta manera llegar a establecer las características que deben tener los primeros en función de los requisitos del segundo. La forma como se recopiló la información fue mediante la revisión de libros, revistas, artículos de congresos, leyes, reglamentos, normativas, entre otros documentos relacionados con los sistemas de puesta a tierra y calidad de energía eléctrica, también, se realizaron visitas de observación, entrevistas a: encargados de los distintos departamentos de las empresas de suministro eléctrico de la región, expertos en empresas dedicadas a la fabricación y/o distribución de los equipos y accesorios de puesta a tierra y de medición de la calidad de la energía eléctrica así como en empresas dedicadas a la instalación de los sistemas de puesta a tierra. El principal aporte de dicha investigación a este trabajo especial de grado son los criterios planteados para los sistemas de puesta a tierra que pueden contribuir con la metodología a desarrollar.

2.2 ESTACIONES RADIO BASE (ERB)

Una radio base tiene como función la recepción y transmisión de señales de voz y datos a través de antenas que son recibidas en un equipo terminal. Las principales partes y componentes de una radio base son: la torre y la caseta de comunicación. En la torre están montadas las antenas y en la caseta se encuentran los equipos de radio transmisión.

2.2.1 TIPOS DE ERB

Existen dos tipos de estaciones radio base ó celdas: *Indoor* y *Outdoor*. La diferencia entre una y otra es que en las primeras los equipos están instalados dentro de una caseta prefabricada (conocida como Shelter), o dentro de edificaciones en un cuarto especialmente diseñado; y en la segunda los equipos se encuentran a la intemperie.

2.2.1.1 CELDAS INDOOR

Son aquellas que están formadas por equipos que se instalan dentro de una caseta prefabricada. Este tipo de celda se clasifican en: Celdas indoor digitales, debido a que consta de equipos digitales, y Celdas indoor analógicas, por tener equipos analógicos.

2.2.1.1.1 CELDAS INDOOR DIGITALES

Para este tipo de celdas se emplean gabinetes para la colocación de los equipos de alimentación, entre estos se encuentran rectificadores, baterías, etc. También se colocan aire acondicionados para mantener la temperatura de los quipos, además de las entradas de las guías hacia los gabinetes para facilitar el orden del cableado.

2.2.1.1.2 CELDAS INDOOR ANALOGICAS

Los equipos celulares analógicos que son instalados en las celdas indoor deben cumplir con los requisitos mínimos de espacio e instalación, como lo son: el cajetín de acometida, el sistema de enfriamiento por aire acondicionado, el sistema de alarma en la entrada de las guías, etc., su ubicación se realiza en racks, donde la instalación de los equipos en estos se realiza exactamente igual que en las indoor digitales.

2.2.2 EQUIPOS QUE CONFORMAN LA ERB

Los principales componentes de una Radio Base son: La Torre, que es donde se encuentran instaladas las antenas y la caseta de comunicación que es donde se encuentran los equipos electrónicos como rectificadores, conversores, multiplexores, así como también equipos de enfriamiento como el aire acondicionado, además del sistema de transferencia de carga, el generador de emergencia, ups, y el tanque de combustible.

La instalación de los equipos que conforman la radio base deben cumplir con las alarmas necesarias, para su buen funcionamiento, como lo son: el sistema contra incendio con su respectiva central de alarma, luces de emergencia, el sensor de puerta abierta, la regleta para el cableado de alarma, etc.

2.2.3 PUESTA A TIERRA PARA ERB

En los sistemas de telecomunicaciones es común la presencia de descargas atmosféricas, las cuales pueden ingresar a las instalaciones a través de diversos medios, por impacto directo o por corrientes inducidas. Esta energía busca su propio camino para llegar a tierra utilizando conexiones de alimentación de energía eléctrica, de voz y de datos, produciendo acciones destructivas, ya que se supera el aislamiento de dispositivos, tales como plaquetas, rectificadores, entre otros. Para evitar estos efectos, se deben instalar dispositivos de protección coordinados que

para el caso de sobre tensiones superiores a las nominales, formen un circuito alternativo a tierra, disipando dicha energía. A través de un sistema de puesta a tierra adecuado que asegure una capacidad de disipación adecuada. Finalmente otra fuente importante de disturbios son las redes de energía eléctrica, debido a la conmutación de sistemas y grandes cargas inductivas.

Un sistema de puesta a tierra para los sistemas de comunicaciones debe ofrecer un camino seguro para las descargas de las corrientes de falla, descargas de rayo, descargas estáticas y señales de interferencia electromagnética y radiofrecuencia.

Un sistema de puesta de tierra coordinado, debe reducir fundamentalmente la posibilidad de que aparezcan tensiones importantes entre los elementos metálicos adyacentes. No obstante, es necesario tomar medidas suplementarias, (protectores, descargadores, dispositivos activos de supresión de transitorios), en todo lo que este referido a cables, conexiones y posibles vías de ingresos de transitorios que pueden provocar daño en forma total o parcial de los equipos.

Siguiendo la definición de puesta a tierra de una instalación, como elemento fundamental en el sistema de puesta a tierra de una estación radio base se encuentra el anillo principal de puesta tierra encargado de captar y canalizar a tierra las corrientes de falla o de origen atmosférico, el cual se debe encontrar instalado alrededor de las torres, antenas y casetas.

Dentro de está instalación actúa el terreno como principal elemento disipador de las corrientes de defecto de tierra y los electrodos como elementos de unión entre el anillo de puesta a tierra y el terreno.

2.3 EL TERRENO

Es necesario conocer el terreno donde se va a construir para diseñar y valorar la puesta a tierra de una forma más eficaz y económicamente factible.

Se debe conocer el grado de humedad del terreno a lo largo de los diferentes meses del año, la temperatura de invierno y su situación, más o menos cerca de los márgenes de los ríos. Así mismo conocer los máximos valores de resistencia de puesta a tierra para los diferentes meses o épocas del año, y así construir la red de tierras de acuerdo a esos valores. El recurso de la sal o geles, como por ejemplo: Cloruro de Sodio + Carbón vegetal, Bentonita y Thor-Gel para mejorar la resistividad del terreno no debe emplearse en forma generalizada, solo en las ocasiones en que sea prácticamente imprescindible, ya que si se construye una tierra casi artificial, con un valor bajo de resistividad será necesario mantenerla a lo largo del tiempo.

2.3.1 RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Para conocer el comportamiento de un terreno se debe estudiar desde el punto de vista eléctrico, como elemento encargado de disipar las corrientes de defecto que lleguen a través de los electrodos, es decir, debemos conocer su resistividad.

La resistividad del terreno es la resistencia que presenta al paso de la corriente un cubo de terreno de 1 metro de arista. Se mide en $\Omega \cdot m$ y se representa con la letra ρ .

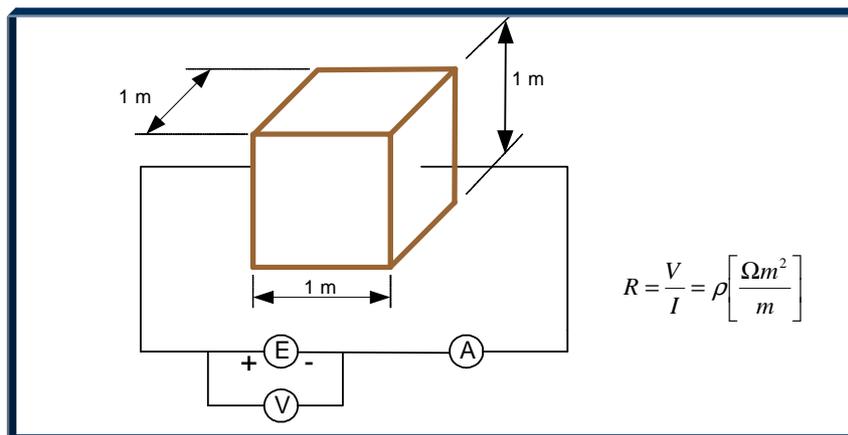


Figura 2.1. Resistividad del terreno.

Fuente: Elaboración propia

La expresión general de la resistencia es:

Para el caso de la figura, será:
$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad (2.19)$$

$$R(\Omega) = \rho \cdot \frac{l(m)}{1(m^2)} \quad (2.20)$$

De donde:

$$\rho = R \left(\frac{\Omega m^2}{m} \right) = R(\Omega \cdot m) \quad (2.21)$$

La resistividad del terreno depende de su naturaleza, su estratificación (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura. La resistividad de un terreno se ve afectada por las variaciones estacionales. Por otro lado, a medida que aumenta el tamaño de las partículas, aumenta el valor de la resistividad; por ello la grava tiene mayor resistividad que la arena, y esta mayor resistividad que la arcilla. La resistividad se ve asimismo afectada por el grado de compactación de forma inversamente proporcional.

Debido a la no uniformidad de sus diferentes capas, cuando queremos determinar la resistividad en un punto del terreno, por medio de un método de medida, lo que determinamos es la resistividad media de las capas comprendidas entre la superficie y una cierta profundidad, lo que a veces se denomina resistividad aparente ρ_a .

2.3.1.1 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

- Naturaleza del terreno.
- Humedad
- Temperatura
- Salinidad
- Estratigrafía
- Variaciones estacionales
- Factores de naturaleza eléctrica
- Compactación

2.3.1.1.1 NATURALEZA DEL TERRENO

Según su naturaleza los terrenos pueden ser buenos, regulares o malos conductores, el conocimiento de ella es el primer paso para una adecuada toma de tierra.

Tabla 2.1. Valores medios de la resistividad

Naturaleza del Terreno	Resistividad en $\Omega.m$
Terrenos Pantanosos	De algunas Unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Margas y Arcillas Compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena Arcillosa	50 a 500
Arena Silíceo	200 a 3000
Suelo Pedregoso cubierto de Césped	300 a 500
Suelo Pedregoso Desnudo	1500 a 3000
Calizas Blandas	100 a 300
Calizas Compactas	1000 a 5000
Calizas Agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de Mica y Cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de Alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hormigón	2000 a 3000
Balasto o Grava	3000 a 5000
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles, terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeable	3000

Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar de acuerdo a la tabla que a medida que la roca es más compacta y antigua, la resistividad es mayor.

2.3.1.1.2 HUMEDAD

El contenido de humedad de los suelos es otro factor importante que influye en la resistividad, y su efecto no es constante puesto que varía con la época del año. Su efecto también cambia dependiendo del tipo de material que constituye al terreno, siendo diferente para el caso de una arena que para una arcilla.

En la figura 2.2 se muestra el efecto de la humedad en la resistividad para tres diferentes tipos de suelos.

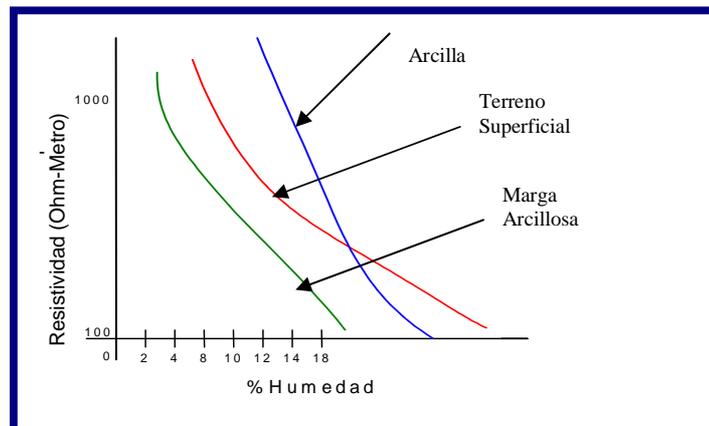


Figura 2.2. Efecto de la humedad

Fuente: Elaboración Propia

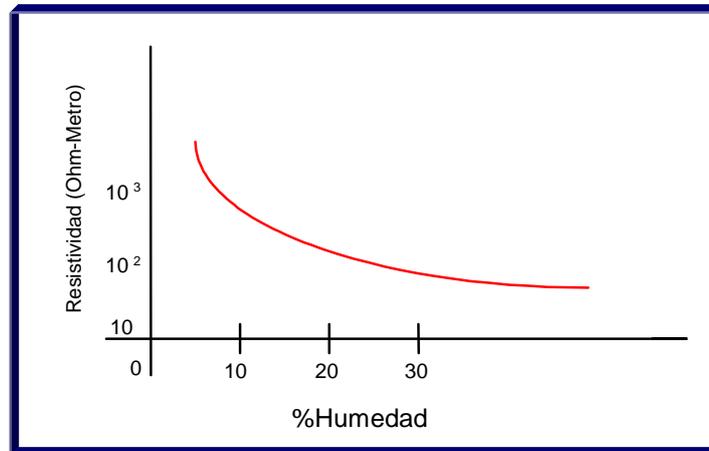


Figura 2.3. Variación de la Resistividad con la Humedad.

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se muestra en la figura 2.3, la disminución considerable en la resistividad de un terreno, motivado al aumento del contenido de humedad, se puede apreciar hasta un 15%, ya que a partir de ese valor, la disminución en resistividad se torna lenta.

2.3.1.1.3. TEMPERATURA

La temperatura es un factor natural, el cual influye en la resistividad, de tal manera que la resistividad del terreno aumenta a medida que desciende la temperatura y ese aumento se incrementa rápidamente por debajo de los 0 °C, y se incrementa ligeramente con reducciones de temperaturas de 25 °C hasta 0 °C.

Para sitios de climas tropicales como Venezuela, no es necesario enterrar un electrodo a grandes profundidades, procedimiento muy común en países donde generalmente no les conviene colocar conductores enterrados horizontalmente a poca profundidad porque los primeros uno ó dos metros de la superficie del suelo se congelan en invierno, lo que produce un aumento de la resistividad. También cabe decir, que existen lugares donde la resistividad puede bajar y subir a medida que aumenta la profundidad, o sea, un comportamiento de suelo estratificado.

2.3.1.1.4 SALINIDAD

La concentración de sales disueltas en el agua contenida en los suelos es uno de los factores más influyentes en su resistividad, cuyo valor disminuye a medida que se aumenta el contenido soluble del suelo, en vista de que las sales y el agua contenida en el suelo actúan como un electrolítico al paso de la corriente. Un terreno puede mejorar sensiblemente su valor de resistividad aparente e incluso puede hacerse bueno un terreno de alta resistividad simplemente añadiéndole sales.

En la gráfica de la figura 2.4, se ilustra como varia la resistividad con los diferentes tipos de sales en función de la concentración.

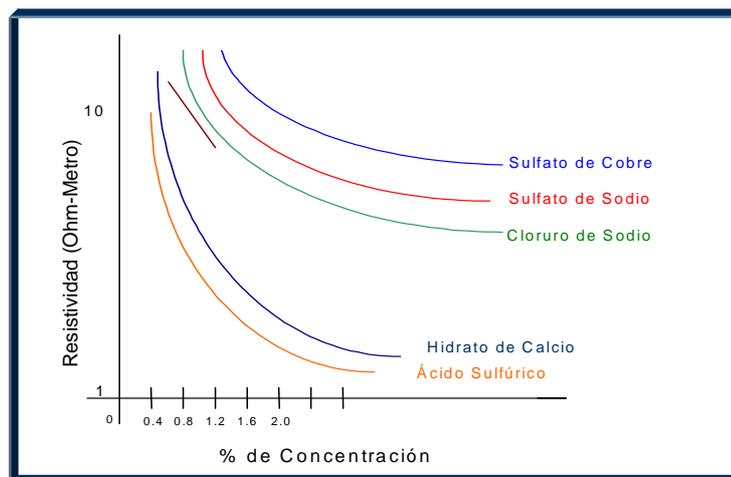


Figura 2.4. Variación de la Resistividad.

Fuente: Elaboración Propia

2.3.1.1.5 ESTRATIGRAFÍA

Los suelos están formados por estratos o capas de combinación de materiales, con una composición casi homogénea, pero que al variar la profundidad se puedan encontrar diferentes

capas superpuestas de diversa naturaleza, lo que indica que en la formación de un terreno determinado, existe una superposición de dos o más estratos, tal como se indica en la figura 2.5 fenómeno conocido como estratificación.

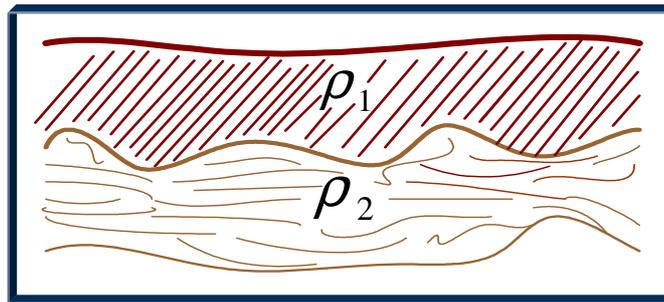


Figura 2.5. Estratificación de dos capas.
Fuente: Elaboración Propia

Es importante señalar que en la formación de los terrenos, la variación de los estratos no solamente se produce en el sentido vertical, sino que también puede ser en sentido horizontal, tal como se ilustra en la figura 2.6, como consecuencia de los rellenos, cortes del terreno, desplazamiento, hundimientos, etc.

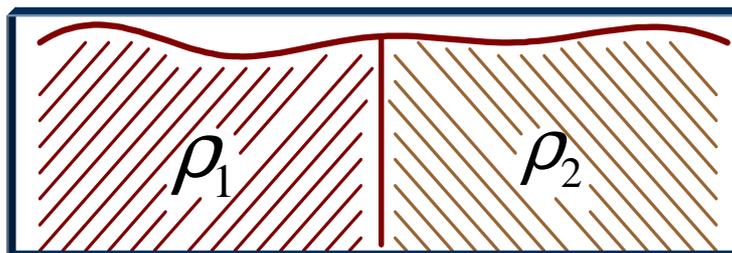


Figura 2.6. Variación lateral del Terreno
Fuente: Elaboración Propia

La resistividad media o resistividad aparente será una combinación de las resistividades de todas las capas que componen el terreno. El conocimiento de los diferentes tipos de estratos que conforman los terrenos es importante, ya que con la ayuda de los datos de las tablas obtenidas

mediante la práctica, se puede estimar la resistividad aproximada de los mismos, su resistividad será una combinación de la resistividad de las diferentes capas y del espesor de cada una de ellas.

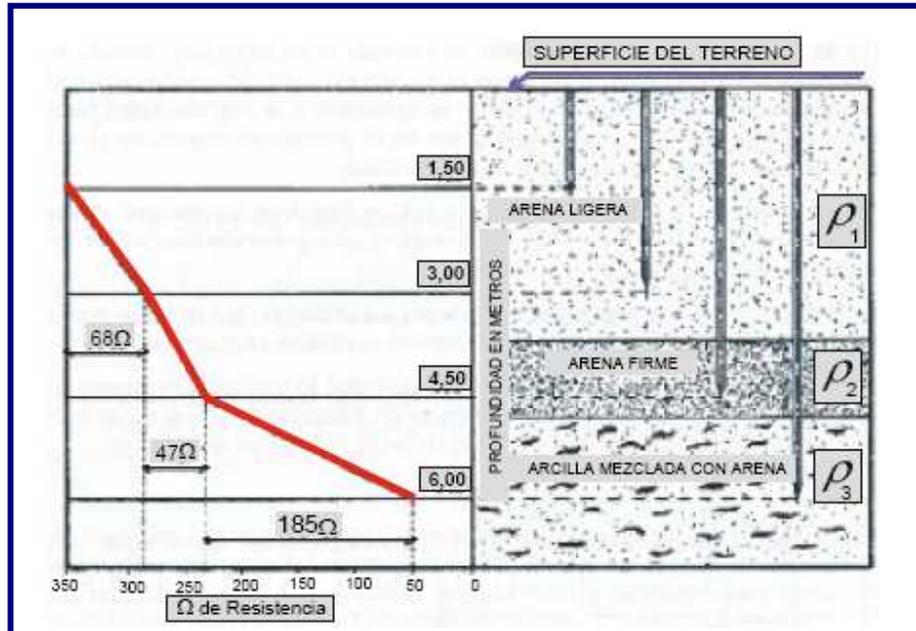


Figura 2.7. Variación de la Resistividad en función de la estratigrafía del terreno
Fuente: Estándar IEEE 80-2000

2.3.1.1.6 VARIACIONES ESTACIONALES

En épocas de lluvia el nivel freático se aproxima a la superficie del terreno, presentando éste una resistividad menor que en el período de sequía, en el que el nivel freático se aleja en profundidad de la superficie. En los apartados anteriores, se ha descrito una serie de factores que influyen en la resistividad del terreno y que generalmente suelen tener variaciones estacionales que son más acusadas cuanto más próximos a la superficie del terreno se encuentra el electrodo.

Para conseguir mantener el valor de la resistividad lo más uniforme posible a lo largo del año, es conveniente instalar profundamente los electrodos en el terreno y proteger lo más posible el terreno de las inclemencias del tiempo.

2.3.1.1.7 FACTORES DE NATURALEZA ELÉCTRICA

Hay varios factores de naturaleza eléctrica que pueden modificar la resistividad de un terreno. Los más significativos son el gradiente de potencial y la magnitud de las corrientes de falla a tierra. El primero afecta al terreno cuando el gradiente de tensión alcanza un valor crítico, de algunos kV/cm., lo que puede originar la formación de pequeñas áreas eléctricas en el suelo que hacen que el electrodo se comporte como si fuera de mayor tamaño. El segundo, la magnitud de la corriente de falla a tierra, puede también modificar el comportamiento del electrodo de tierra si su valor es muy elevado, por provocar gradientes excesivos, o dar lugar a calentamientos alrededor de los conductores enterrados lo cual produce la evaporación del agua.

Otro fenómeno que hay que tener en cuenta es el deterioro más o menos significativo de los electrodos o del conjunto de puesta a tierra, en el caso de un cortocircuito franco o la caída de un rayo que se canalice a través de la puesta a tierra. En estos casos es reglamentaria la comprobación de la red de tierra la instalación ya que puede llegar a deteriorarse o fundirse si la intensidad es muy elevada (cientos o miles de amperios).

2.3.1.1.8 COMPACTACIÓN

Un factor también a mencionar, debido a la influencia que tiene a en el comportamiento de la resistividad de los terrenos, es la compactación, ya que mediante este proceso se logra un mayor acercamiento entre las partículas o granos que conforman el material, lográndose así una mejor conducción a través del líquido contenida en ella. Sin embargo, al aumentar la humedad, se alcanza una cierta saturación, como se muestra en el gráfico de la figura 2.8.

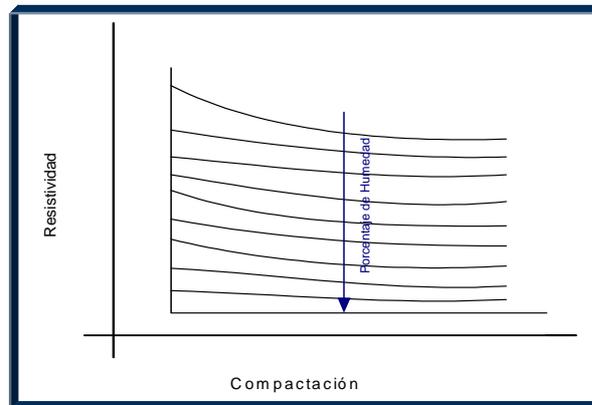


Figura 2.8. Variación de la resistividad con la compactación
Fuente: Elaboración Propia

La figura muestra sólo en forma cualitativa la influencia de la compactación del suelo en la resistividad de éste. Una mayor compactación disminuye la distancia entre partículas y se logra una mejor conducción a través del líquido contenido. A medida que se aumenta el contenido de humedad, se alcanza una especie de saturación ya que el agua envuelve la mayoría de las partículas y un mayor acercamiento entre éstas no afecta la conducción. Esta está determinada esencialmente por las características del material y agua contenida.

Tomando en cuenta lo antes mencionado se han realizado muchas clasificaciones de los suelos, en función de sus resistividades para los diferentes tipos de terreno, siendo una de ellas, la tabla de Rudenberg, que se muestra a continuación:

Tabla 2.2. Clasificación de los suelos según Rudenberg

Formación	Ohm – m
Suelo Orgánico Mojado	10
Suelo Húmedo	100
Suelo Seco	1000
Suelo Rocoso	10000

Fuente: Elaboración Propia

2.3.2 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

El conocimiento, lo más exacto posible, de las características eléctricas de un terreno, es de importancia fundamental para el éxito de un proyecto, o de una puesta a tierra. Algunos ingenieros proyectistas de sistemas de puesta a tierra, pretenden obtener un conocimiento de la resistividad de un terreno por simple inspección ocular de la zona. Aún suponiendo una vasta experiencia en cuanto a la resistividad de un terreno, de acuerdo con sus características generales, esta inspección ocular condiciona a conclusiones válidas para el terreno visible. Hay otros casos donde se pretende extrapolar experiencias obtenidas de las mediciones en zonas adyacentes o consideradas como similares a las zonas de referencia, lo cual por experiencia, conducen a valores que por general no son reales.

2.3.2.1 OBJETO DE LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD

El objetivo de la medición de la resistividad es conocer las resistividades y espesores (o profundidades) de los diferentes estratos hasta una profundidad adecuada. Esta profundidad dependerá de la zona de influencia de la puesta a tierra a diseñar.

2.3.2.2 MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

En la mayoría de los terrenos su compactación no es homogénea por razones geológicas, su constitución se encuentra formada por capas de diferentes materiales, los cuales se encuentran con una disposición más o menos paralela a la superficie del terreno, como se indica en la figura 2.9.

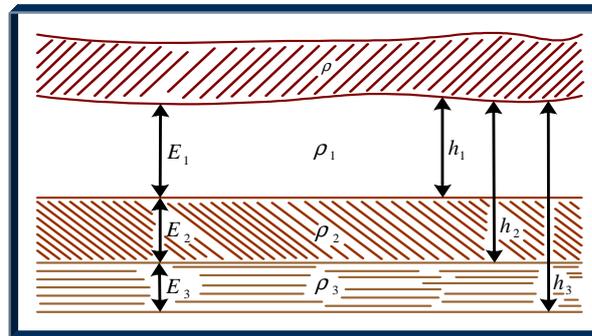


Figura 2.9. Disposición paralela de las estratificaciones
Fuente: Estándar IEEE 80-2000

Las teorías de las mediciones que se tratarán en los diferentes métodos de medición que a continuación se describen, suponen la existencia de estratos paralelos.

2.3.2.2.1 MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS

La conexión de los cuatro terminales es mostrada en la Fig. 2.10. Cuatro huecos son hechos en la tierra, uniformemente espaciados en una línea recta. El diámetro de los huecos no debe ser más del 10% de la distancia entre ellos, y todos llevados a aproximadamente la misma profundidad. Un electrodo es colocado en cada hueco, haciendo el contacto eléctrico con la tierra solo con la parte final del electrodo, como se muestra en la Fig. 2.10. Estos componen un conductor de cuatro terminales cuya resistencia depende de la distancia entre los electrodos y la resistividad del suelo, pero no depende apreciablemente del tamaño de los electrodos ni de la clase de conexión eléctrica que ellos hacen con la tierra.

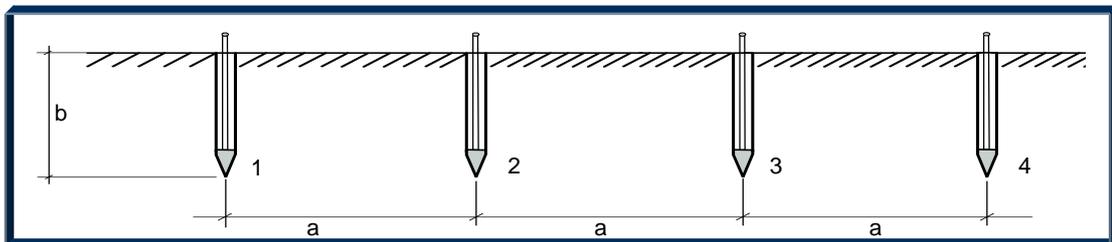


Figura 2.10. Conexión de los cuatro terminales

Fuente: Estándar IEEE 80-2000

Si la profundidad de los huecos, la distancia y la resistencia entre ellos (usando 1 y 4 como terminales de corriente y 2 y 3 como terminales de potencial ó 2 y 3 como los de corriente y 1 y 4 como los de potencial) son medidas, es posible calcular la resistividad efectiva de la tierra.

Si a = Distancia entre los huecos (1 a 2, 2 a 3, y 3 a 4) en m.
 b = Profundidad de los huecos en m
 ρ = Resistividad en $\Omega \cdot m$
 R = Resistencia Medida Ω

Entonces,

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} = \frac{4 \pi a R}{n} \quad (2.24)$$

Donde n tiene un valor entre 1 y 2 dependiendo de la proporción b/a . Donde $b = a$, $n = 1.187$;
 $b = 2a$, $n = 1.038$; $b = 4a$, $n = 1.003$.

En el mismo caso cuando b es mucho mayor que a ,

$$\text{Y si } b \text{ es mucho menor que } a, \quad \rho = 4 \pi a R \quad (2.25)$$

$$\rho = 2 \pi a R \quad (2.26)$$

Si los huecos no están en una línea recta, o si estos no están enterrados o separados uniformemente, la resistividad es fácilmente calculada cuando todas las dimensiones necesarias son conocidas.

Las ecuaciones anteriores son derivadas como sigue. En la figura 2.11, la cual representa partes de un conductor infinito de resistividad uniforme. Suponga a una unidad de corriente que entra en el punto marcado como 1. Esta corriente fluirá radialmente desde el punto de entrada y a una distancia r del punto 1, la densidad de corriente será $\frac{1}{4} \pi r^2$. Esto es debido al hecho de que a un radio r , la corriente estará uniformemente distribuida sobre una esfera de radio r y de área $4\pi r^2$.

Ahora el gradiente de potencial es igual a la densidad de corriente multiplicada por la resistividad, así:

$$-\frac{\partial e}{\partial r} = \frac{\rho}{4\pi r^2}$$

Donde e es el potencial a una distancia r desde el punto 1.

La diferencia en potencial ($e_1 - e_2$) entre dos puntos a una distancia r_1 y r_2 del punto 1 es obtenida integrando el gradiente de potencial desde $r = r_1$ hasta $r = r_2$,

$$e_1 - e_2 = \frac{\rho}{4\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \tag{2.28}$$

Si e_x es la diferencia de potencial entre los puntos 2 y 3 distantes a y 2a del punto 1 respectivamente, causada por la unidad de corriente fluyendo desde 1, la ecuación anterior da:

$$e_x = \frac{\rho}{8\pi a} \tag{2.29}$$

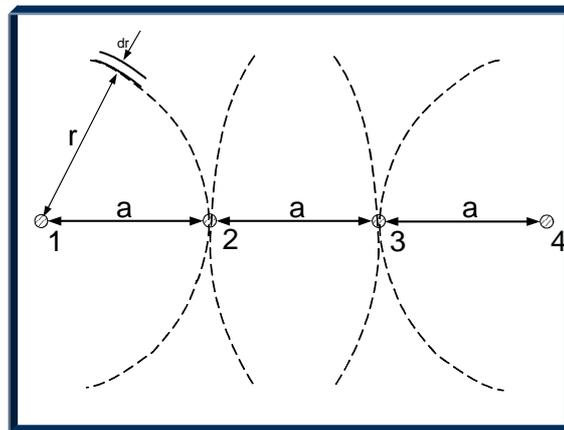


Figura 2.11. Diagrama usado para mostrar la relación entre la resistividad, resistencia y distancia entre terminales en un conductor infinito
Fuente: Estándar IEEE 80-2000

Así mismo, si e_y es la diferencia de potencial entre 2 y 3 causada por la unidad de corriente que fluye radialmente hacia 4, la unidad de corriente entra en el conductor 1 y sale por

el conductor 4, la densidad de corriente en cualquier punto es el vector suma debido a la unidad de corriente que entra por 1 y debido a la unidad de corriente que sale por 4.

$$e_y = \frac{\rho}{8\pi a} \quad (2.30)$$

Además, la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera es la suma de la que resulta de la unidad corriente que entra en 1 y la que resulta de la unidad de corriente que sale en 4.

Así pues la diferencia de potencial entre los puntos 2 y 3 debida a la corriente que entra en 1 y sale en 4 es:

$$e_x + e_y = \frac{\rho}{4\pi a} \quad (2.31)$$

Entonces la diferencia de potencial por una unidad de corriente usando 1 y 4 como terminales de corriente y 2 y 3 como terminales de potencial, es la resistencia R. Como sigue en la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho}{4\pi a} \quad (2.32)$$

Donde R es realmente la resistencia entre las superficies equipotencial en la cual los electrodos de potencial están colocados.

En un caso práctico sin embargo no es posible asumir un conductor infinito a menos que la distancia entre los electrodos sea pequeña comparada con sus distancias debajo de la superficie, y la ecuación anterior no es aplicable.

Para tratar un caso práctico, considere el arreglo de la figura 2.12, el cual representa un conductor infinito nuevamente. Si ahora e_1 es la diferencia de potencial entre los puntos 2 y 3 causada por la unidad de corriente entrando al conductor 1, entonces de la ecuación 2.28 se obtiene:

$$e_1 = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{13}} \right) \quad (2.33)$$

También si la diferencia de potencial entre 2 y 3 causada por una unidad de corriente saliendo en 4 es e_4 , la causada por la unidad de corriente entrando en 5 es e_5 , y la causada por la unidad de corriente saliendo en 6 es e_6 , entonces:

$$e_4 = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_{43}} - \frac{1}{r_{42}} \right) \quad (2.34)$$

$$e_5 = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_{52}} - \frac{1}{r_{53}} \right) \quad (2.35)$$

$$e_6 = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_{63}} - \frac{1}{r_{62}} \right) \quad (2.36)$$

Ahora si una corriente I entra en 1 sale en 4 y al mismo tiempo una corriente igual entra en 5 y sale en 6, la diferencia de potencial E , entre 2 y 3 es $I(e_1 + e_4 + e_5 + e_6)$ ó:

$$E = \frac{I\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{13}} + \frac{1}{r_{43}} - \frac{1}{r_{42}} + \frac{1}{r_{52}} - \frac{1}{r_{53}} + \frac{1}{r_{63}} - \frac{1}{r_{62}} \right) \quad (2.37)$$

En resumen, en ésta ecuación ha sido asumido que 1, 2, 3, 4, 5 y 6 representan puntos. La ecuación 2.37 puede sin embargo ser usada sin error apreciable donde estos seis puntos representen electrodos o terminales metálicos en un conductor de resistividad relativamente alta, con tal de que la dimensión de los electrodos sea pequeña en comparación con la distancia entre ellos.

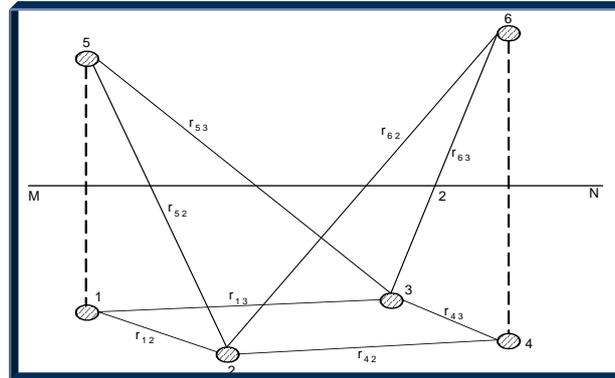


Figura 2.12. Diagrama usado para mostrar la relación entre la resistividad, resistencia y distancia entre terminales o electrodos en un conductor semi-infinito
Fuente: Estándar IEEE 80-2000

Si los puntos 5 y 6 son colocados estratégicamente de tal manera que es posible seleccionar un plano (representado por la línea MN en la figura 2.12) a través del conductor, tal que si se unen los puntos 1 y 5, y 4 y 6, mediante líneas, estas resultan ser normales a la bisección hecha por la línea MN, será evidente la simetría del arreglo, lo que hace que no pasa corriente a través del plano. Por eso, la parte del conductores un lado del plano puede ser removida sin cambiar las condiciones en el otro lado.

De este modo, la ecuación aplica sobre a un conductor de cuatro terminales semi-infinito, tomando en cuenta la existencia de terminales de corriente considerados como imágenes, y que la distancia de estos a los terminales de potencial son tomadas en cuenta, al igual que las distancias de los terminales de potencial a los terminales de corriente. Esto, sin embargo, no requiere que los terminales de potencial estén en el mismo plano como los terminales de corriente y sus imágenes, como se indica en la figura 2.12.

Ya que la caída de potencial E entre 2 y 3 dividido por la corriente I que entra en 1 y sale en 4 es la resistencia R, entonces, la ecuación 2.37 queda de la siguiente forma:

$$R = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{13}} + \frac{1}{r_{43}} - \frac{1}{r_{42}} + \frac{1}{r_{52}} - \frac{1}{r_{53}} + \frac{1}{r_{63}} - \frac{1}{r_{62}} \right) \quad (2.38)$$

Por consiguiente, será evidente que la ecuación da la relación entre la resistividad, la resistencia, la profundidad y la distancia entre pequeños electrodos en la tierra como se muestra en la figura 2.27, o en un caso más general, donde los electrodos no están en una línea recta.

Si los electrodos están todos a una misma profundidad b , y a una distancia de separación uniforme a en una línea recta, entonces, $r_{12} = a$, $r_{13} = 2a$, $r_{43} = a$, $r_{42} = 2a$, $r_{52} = \sqrt{4b^2 + a^2}$, $r_{53} = \sqrt{4b^2 + 4a^2}$, $r_{63} = \sqrt{4b^2 + a^2}$ y $r_{62} = \sqrt{4b^2 + 4a^2}$

Entonces:

$$R = \frac{\rho}{4\pi} \left[\frac{2}{a} - \frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{2}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}} \right] \tag{2.39}$$

2.3.2.2 CONFIGURACIÓN DE WENNER

En esta configuración los cuatro electrodos ubicados sobre una línea recta están separados a igual distancia “ a ” entre ellos, y enterrados a la misma profundidad, como lo indica la figura 2.13.

Al usar esta configuración, si la distancia entre los electrodos y la resistencia que se opone al paso de la corriente son conocidas, siempre que en la medición los electrodos 1 y 4 sean utilizados para inyectar corriente, y la diferencia de potencial se mida entre los electrodos 2 y 3; la resistividad específica del suelo estará expresada por la siguiente ecuación:

$$\rho = 2\pi a R \quad \text{si } b \ll a \tag{2.40}$$

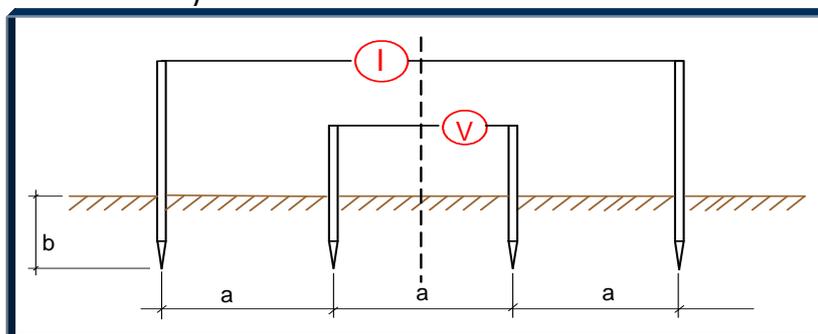


Figura 2.13. Configuración Wenner
Fuente: Estándar IEEE 80-2000

Con un número de lecturas, tomadas a diferentes separaciones entre electrodos, se obtienen varios valores de resistividad con lo cual al graficar la resistividad contra la separación de los electrodos, como se observa en la figuras 2.14, 2.15, 2.16; se pueden obtener una indicación de la composición del terreno en estudio y una idea de la resistividad en dicho terreno de acuerdo a la variedad del estrato del suelo.

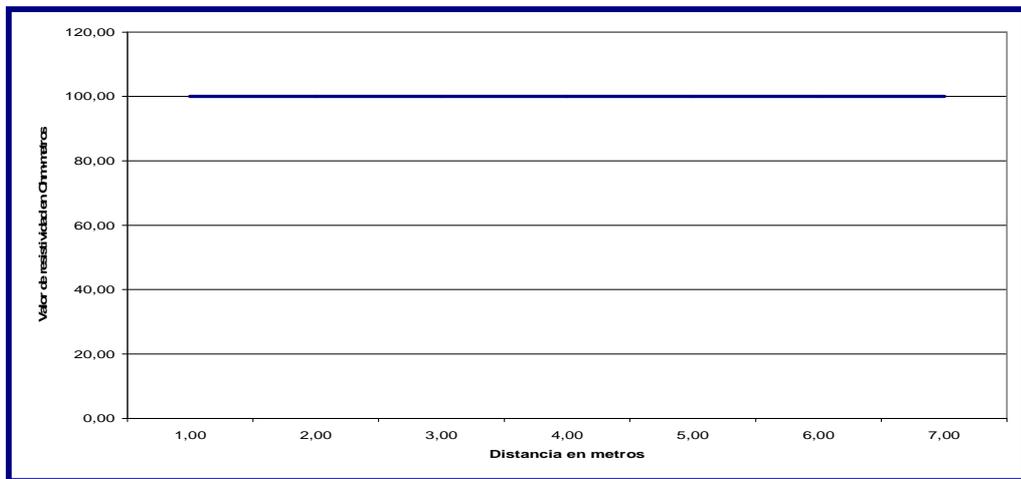


Figura 2.14. Gráfico de Resistividad para un suelo de estrato uniforme
Fuente: Elaboración Propia

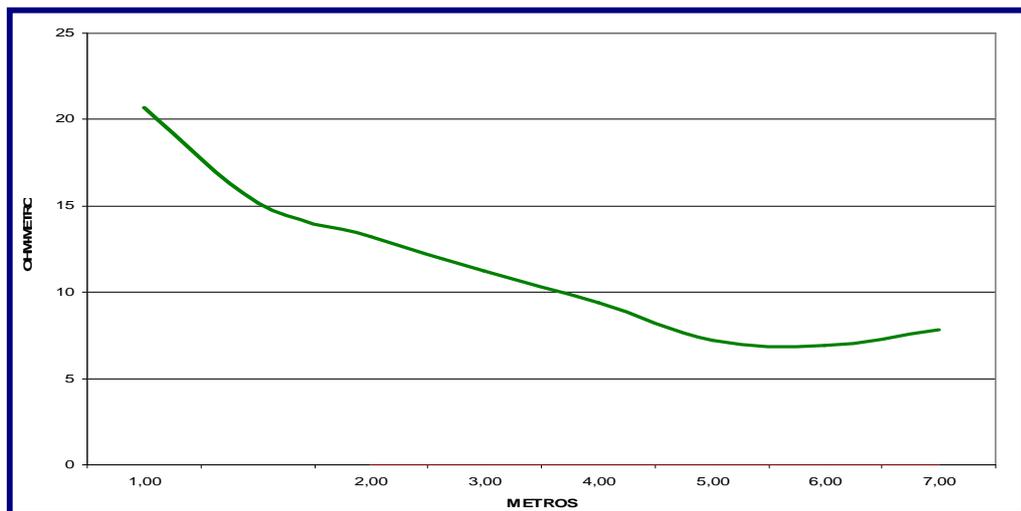


Figura 2.15. Gráfico de Resistividad para un suelo biestrato
Fuente: Elaboración Propia

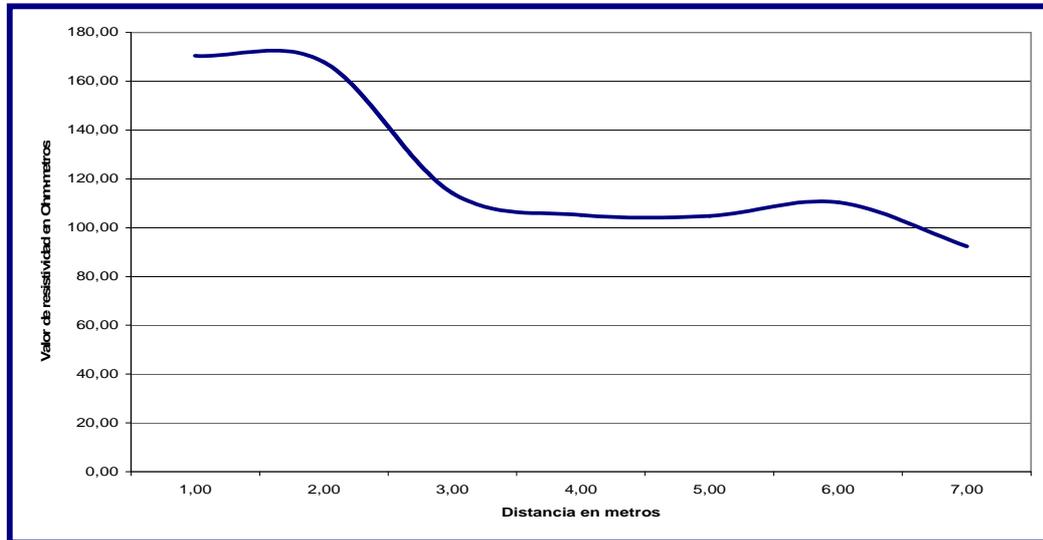


Figura 2.16. Gráfico de Resistividad para un suelo multiestrato
Fuente: Elaboración Propia

2.3.2.3 FORMAS DE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD

Existen dos formas fundamentales de realizar la medición de la resistividad de terrenos; el perfil eléctrico y el sondeo eléctrico. Ambas formas son ejecutadas con cualquiera de las configuraciones posibles de electrodos.

2.3.2.3.1 PERFIL ELÉCTRICO

Se entiende como el conjunto de mediciones eléctricas obtenidas a lo largo de una trayectoria lineal con diversas separaciones entre los electrodos. Dichos electrodos actúan como electrodos de corriente o de potencial. Lo cual permite una distribución bidimensional de la resistividad eléctrica del subsuelo.

Se trazan gráficos del tipo indicado en la figura 2.17. Esta forma de medición no es de gran utilidad para la determinación de las resistividades de las diferentes capas del terreno. Sirve para detectar la presencia de variaciones laterales del terreno.

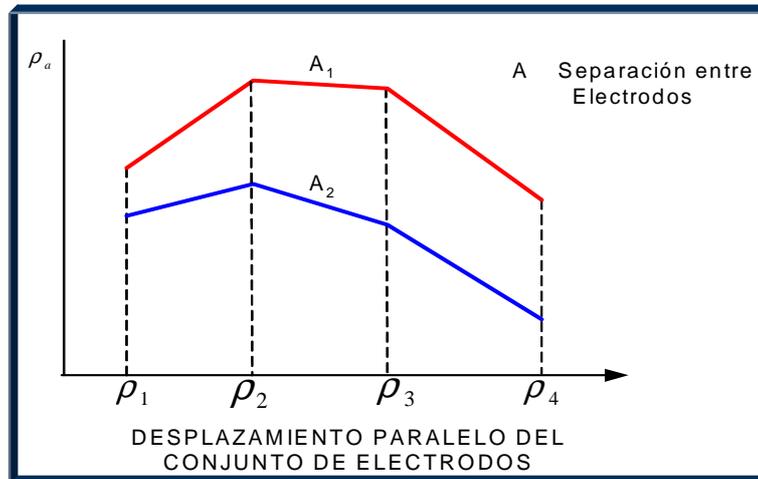


Figura 2.17. Curvas obtenidas con el perfil eléctrico
Fuente: Elaboración Propia

2.3.2.3.2 SONDEO ELÉCTRICO

El sondeo eléctrico es la forma de medición utilizada casi exclusivamente para determinar las diferentes capas que conforman un terreno, su resistividad y ubicación. En esta forma de medición, con cualquiera configuración de electrodos utilizada, el centro y eje de medición permanecen fijos mientras se aumenta la separación entre electrodos con los valores obtenidos del sondeo se construyen gráficos como los indicados en la figura 2.18.

Una forma errada a veces frecuente de realizar el sondeo eléctrico con la configuración wenner, es dejar fijo uno de los electrodos de corriente y desplazar los tres electrodos restantes.

Con esto se respeta el centro de medición y si el terreno presenta variaciones laterales, lo que es normal, la interpretación de las medidas se hace difícil.

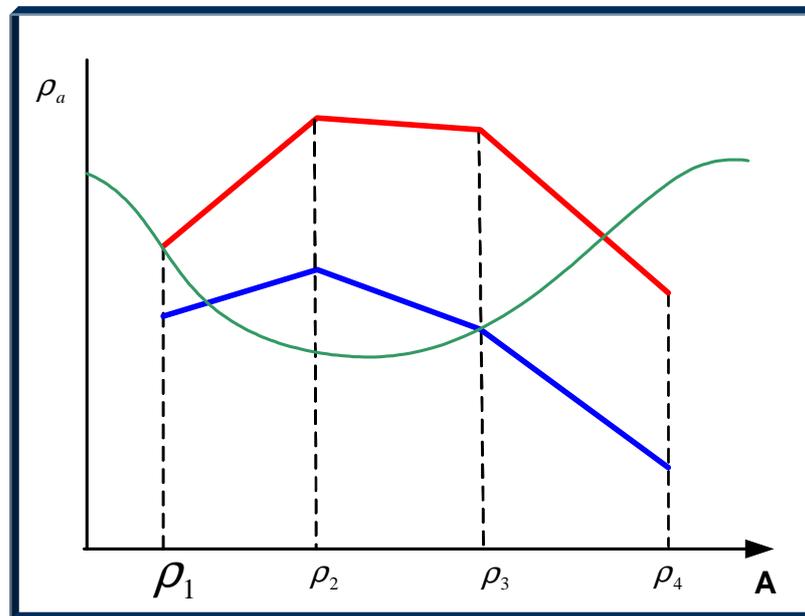


Figura 2.18. Gráficas obtenidas mediante el sondeo eléctrico
Fuente: Elaboración Propia

2.3.2.4 INTERPRETACIÓN Y UTILIZACIÓN PRÁCTICA DE LAS MEDIDAS

La bondad de una buena toma de puesta tierra nos la va a dar el valor de la resistencia de puesta a tierra que, es el valor de la resistencia que se opondrá al paso de la corriente eléctrica cuando se utiliza un electrodo introducido en el terreno. La combinación de la resistividad del terreno, el tipo de electrodo y el contacto electrodo-terreno será lo que nos definirá el valor de la resistencia de puesta a tierra.

2.3.3 TOMAS DE TIERRA

Se define como el elemento de unión entre el terreno y el circuito instalado en el interior del edificio.

2.3.4 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

El electrodo de tierra es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el terreno y así proporciona un medio para drenar cualquier tipo de corrientes de fuga a tierra. En sistemas puestos a tierra se requerirá normalmente llevar una corriente de falla bastante grande por un corto período de tiempo y, en consecuencia, se necesitará tener una sección suficientemente grande como para ser capaz de llevar esta corriente en forma segura. Los electrodos deben tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para continuar respondiendo las solicitudes durante un periodo de tiempo relativamente largo, en el cual es difícil efectuar ensayos reales o inspección. El material debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro de un amplio rango de condiciones de suelo. Los materiales usados incluyen cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y hierro fundido. El cobre generalmente es el material preferido debido a las características químicas que posee y que ofrece menor grado de corrosión, el aluminio se usa en algunas veces para conexiones fuera del terreno, pero la mayoría de los estándares prohíben su uso como electrodo de tierra debido al riesgo de corrosión acelerada. El producto corrosivo –una placa de óxido- deja de ser conductivo y reduce la efectividad de la puesta a tierra. Los electrodos más utilizados son picas, varillas, flejes, tubos, cables, placas, pilares, armaduras metálicas, etc.

2.3.4.1 INFLUENCIA ELECTROQUÍMICA DE LOS ELECTRODOS

Todo metal convertido en electrodo e introducido en un terreno se corroe debido a las siguientes causas:

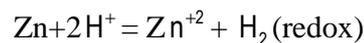
- Reacción química entre el agua del terreno y el electrodo.
 - Ataque de los agentes químicos.
 - Corrientes eléctricas que atraviesan el terreno.
 - Corrientes galvánica.
-

Puede definirse como corrosión al conjunto de procesos de deterioro que sufre un material metálico bajo efecto de las afecciones físicas, químicas o electroquímicas, del medio gaseoso o líquido que lo envuelve.

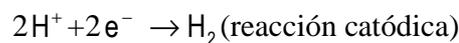
El mecanismo de corrosión es muy complejo, es la consecuencia de la reacción entre el metal base y un agente de oxidación en circunstancias muy diversas, en las que pueden intervenir factores como la concentración, la humedad, la temperatura, la composición química del metal, su pureza, su estructura, etc.

Cuando una corriente fluye entre el ánodo y el cátodo, los potenciales de ambos cambian, este cambio se denomina polarización o también el cambio de potencial de un electrodo debido al paso de una corriente.

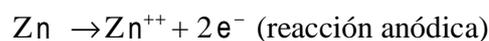
La mayoría de las reacciones por corrosión son reacciones electroquímicas. La naturaleza electroquímica puede explicarse fácilmente considerando el ataque del zinc por ácido clorhídrico. Cuando el zinc (Zn) se introduce en ácido clorhídrico diluido (HCl), tiene lugar un desprendimiento de hidrogeno gaseoso y una disolución de zinc, de acuerdo con la reacción:



Oxidante: aceptador de electrones (se reduce)



Reductor: dador de electrones (se oxida)



Las corrientes, tanto continuas como alternas, no producen daños por corrosión y solo pueden verse afectadas en las proximidades de la red de distribución de corriente continua (de metros, ferrocarriles, tranvías, etc.) siendo la solución más empleada contra este fenómeno la protección

catódica. Los agentes químicos, junto con la humedad, pueden corroer rápidamente los electrodos, si estos no estén protegidos convenientemente.

Los tipos de corrosión son:

- **Corrosión uniforme:** Se caracteriza por una pérdida irregular de la superficie del metal que se corroe.
 - **Corrosión galvánica o bimetalica:** se produce cuando un metal o aleación está conectado eléctricamente a otro distinto.
 - **Corrosión en hendiduras:** es el ataque localizado del metal en delgadas ranuras, resquicios o hendiduras existentes en el propio metal, entre dos superficies metálicas o entre el metal y un material no metálico.
 - **Corrosión por picaduras:** caso de ataque localizado que se concentra en zonas muy pequeñas de la superficie metálica, las picaduras pueden ser estrechas, profundas, elípticas, anchas superficiales, cortantes, horizontales o verticales.
 - **Corrosión irregular:** consiste en el ataque preferente de los límites de grano del metal o de las zonas adyacentes o los límites de grano.
 - **Disolución selectiva o desaleación:** corrosión en la que uno o más componentes de la aleación se ataca preferentemente, quedando su residuo poroso que puede conservar la forma primitiva de la aleación.
 - **Corrosión erosión:** es el incremento en la velocidad de deterioro de un metal o aleación debido al movimiento relativo entre estos y un fluido corrosivo.
 - **Corrosión bajo tensión:** son productos de la acción simultánea de un agente corrosivo específico y de tensiones de tracción. Las tensiones que causan el agrietamiento pueden originarse en deformaciones en frío, soldadura, etc.
-

2.3.4.2 AGRESIVIDAD DEL ELECTRÓLITO

La velocidad de penetración de la oxidación en el metal está ligada al grado de agresividad del electrólito frente al electrolito utilizado. La agresividad se mide por el conocimiento del potencial de disolución del metal del electrodo en el medio considerado y por el conocimiento del ph de acidez real del electrodo. En la Figura 2.19 están representados los potenciales de disolución de algunos metales en medios de diferente agresividad.

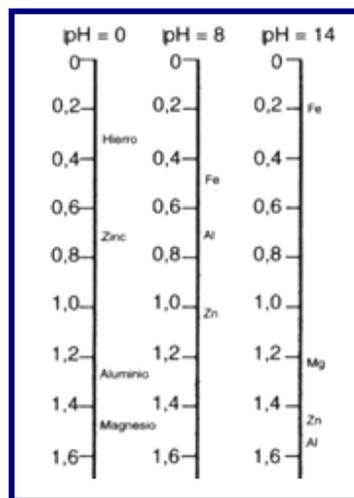


Figura 2.19. Potenciales de disolución de algunos metales en medios con diferente agresividad

Fuente: Vargas y Peñaliyllo

2.3.4.3 CORROSIÓN DE LOS MATERIALES DE LAS TOMAS DE TIERRA

Aunque se prevé que las tomas de tierra deben resistir más la acción corrosiva del terreno, éste es un medio electrolítico en el que las tomas de tierra interconectada, formada por diferentes metales, forman pares galvánicos. El metal más electronegativo tiende a degradarse disolviéndose en el electrolito. Así ocurre con los pares cobre-hierro, cobre-zinc, cobre- plomo.

2.3.5 LOS TERRENOS Y LA CORROSIÓN

La corrosión es más importante en suelos poco aireados, reductores, suelos muy ácidos o que contiene grandes concentraciones de sales solubles. Bandas ligeramente colocadas en el subsuelo de arcilla compacta son señal de un suelo reductor muy corrosivo. Se ha observado que las resistividades de los terrenos muy corrosivos son inferiores a 70 Ω .m.

El riesgo de ataque de los metales más electronegativos depende naturalmente de la importancia relativa de aguante del metal más noble con relación al de los otros metales. A mayor superficie del metal noble, mayor es el riesgo de corrosión de los demás metales. La tabla 2.3 muestra la clasificación de los terrenos por su resistividad a efecto de la corrosión y la tabla 2.4 muestra el ph y corrosividad.

Tabla 2.3. Grado de corrosión de los terrenos según su resistividad

Resistividad Ω . Cm	Terreno
0-900	Altamente corrosivos
900-5000	Severamente corrosivos
5000-10000	Moderadamente corrosivos
10000-20000	Ligeramente corrosivos
>20000	Muy pocos corrosivos

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.4. PH medio grado de agresividad

PH	Medio	Agresividad
< 4,0	Acido muy fuerte	Muy agresivo
4,0-4,5	Muy acido	
4,5-5,0	Acido	
5,0-6,0	Moderadamente acido	
6,0-6,5	Poco acido	Agresivo
6.5-7.5	Neutro	No agresivo
7,5-8,5	Poco alcalino	
>8,5	Alcalino	
		Condicionado

Fuente: Elaboración Propia

2.3.5.1 CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

Causa la formación del ánodo y el cátodo, por causas intrínsecas al metal.

Pares galvánicos: Cuando se ponen en contacto dos metales diferentes a través de un electrolito se establece un par galvánico (pila), como se muestra en la figura 2.20.

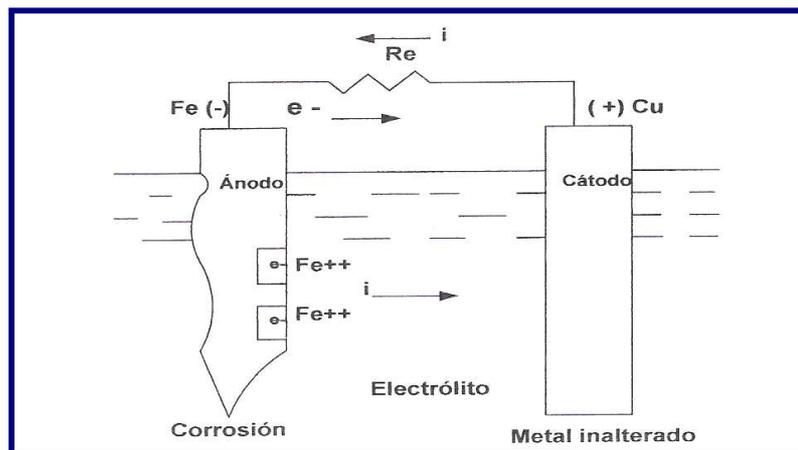
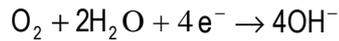
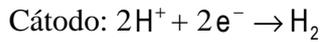
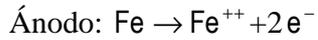


Figura 2.20. Par galvánico Fe-Cu sufre los efectos de la corrosión

Tabla 2.4. PH medio grado de agresividad

Reacciones:



Metal + activo ÁNODO se corroerá

Metal+ noble CÁTODO permanecerá inalterado

2.3.5.2 CORROSIÓN POR CORRIENTES VAGABUNDAS

Se llaman corrientes vagabundas aquellas que, abandonaron su medio de conducción previsto, entran en el terreno y se propagan en él. Cuando se encuentran una pica de tierra en el paso de una corriente a través de un electrolito de ésta, penetrara en ella.

2.3.5.3 PILAS DE AIREACIÓN DIFERENCIAL

La corrosión depende del tipo de terreno y de la humedad, que juega también un papel importante. La heterogeneidad del terreno (arcillosos, silíceos, calizos, etc.) es un lugar idóneo de formación de pilas de aireación diferencial. Las zonas de más fácil acceso para el oxígeno serán cátodos y las pobres en oxígeno serán ánodos. La corrosión se localiza en la zona de la pica rodeada por el terreno menos aireado.

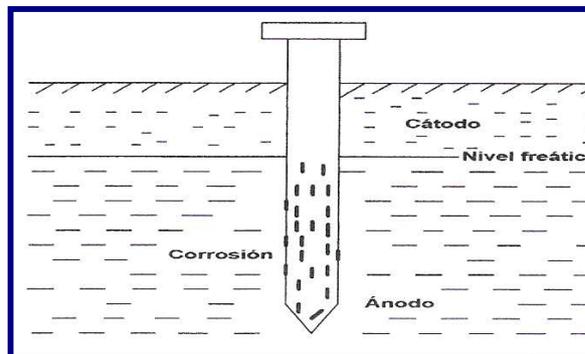


Figura 2.21. Corrosión producida por pilas de aireación diferencial en una pica de tierra
Fuente: Vargas y Peñalillo

2.3.5.4 PROTECCIÓN CATÓDICA

Se basa en la existencia de un potencial de inmunidad al cual es suficiente llevar el metal a proteger para detener la corrosión. (Figura 2.22)

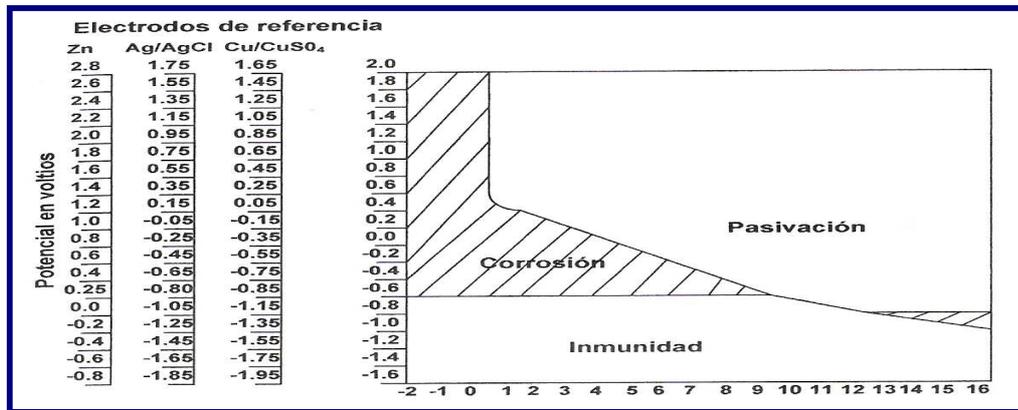
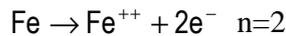


Figura 2.22. Diagrama de Pourbaix
Fuente: Vargas y Peñaliyllo

Potencial de protección del hierro:

$$\text{Fórmula de NERNST } E = E_0 + \frac{0.058}{n} \log C \tag{2.41}$$



Según la serie electroquímica de los metales $E_0 = -0.44V$ según Pourbaix $C = 10^{-6}$ ión gr. /litro

$$E \text{ protección} = -0.44 + \frac{0.058}{2} \log 10^{-6} = -0.61V \tag{2.42}$$

2.3.5.5 PROTECCIÓN POR ÁNODOS DE SACRIFICIOS

La estructura por proteger se pone en contacto electrolítico con un metal o aleación de potencial más bajo que se corroe. Podrán proteger al Fe, todos los metales que estén situados en la serie

electroquímica de los metales, por encima de él, habrá que elegir aquellos que tengan una fuerte sobre tensión de hidrogeno y tendencia muy débil a la pasividad. (Tabla 2.5). Un metal tendrá carácter anódico con relación a otro, si se encuentra por encima de él en esta serie. Así el hierro será anódico con relación al cobre y catódico con relación al Zinc.

Tabla 2.5. Ion en solución

Ion en solución	Eo [V]
Li ⁺⁺	-3,02
Rb ⁺	-2,92
K ⁺	-2,92
Ca ⁺⁺	-2,87
Na ⁺⁺	-2,71
Mg ⁺⁺	-1,86
Al ⁺⁺	-1,67
Zn ⁺⁺	-0,76
Cr ⁺⁺	-0,71
Fe ⁺⁺	-0,44
Cd ⁺⁺	-0,39
Ti ⁺⁺	-0,33
Co ⁺⁺	-0,29
Ni ⁺⁺	-0,22
Sn ⁺⁺	-0,14
H ⁺⁺	-0,0
Bi ⁺⁺⁺	+0,22
Cu ⁺⁺	+0,34
Te ⁺⁺⁺	+0,56
Hg ⁺⁺	+0,80
Ag ⁺⁺	+0,80
Pt ⁺⁺	+1,20
Au ⁺⁺⁺	+1,42

Fuente: Elaboración Propia

2.3.6 TIPOS DE ELECTRODOS DE TIERRA

El electrodo puede tomar diversas formas: barras verticales, placas y conductores horizontales. Las formas más comunes se describen a continuación.

2.3.6.1 ELECTRODOS VERTICALES

Esta es la forma más común de electrodos, porque su costo de instalación es relativamente barato y puede usarse para alcanzar en profundidad, suelo de baja resistividad, sólo con excavación limitada y relleno. Están disponibles en diversos tamaños, longitudes, diámetros y materiales. La barra es de cobre puro o de acero recubierto de cobre. El tipo recubierto se usa cuando la barra se entierra por medios mecánicos (impacto) ya que el acero usado tiene alta resistencia mecánica. La capa de cobre debe ser de alta pureza y aplicada electrolíticamente. Esto último asegura que el cobre no deslice al enterrar la barra. En condiciones de suelo más agresivo, por ejemplo cuando hay alto contenido de sal, se usan barras de cobre sólido. Barras de acero inoxidable son más anódicas que el cobre y se usan ante riesgo de corrosión galvánica. Sin embargo, debe considerarse el hecho que el acero inoxidable tiene baja capacidad de transporte en comparación con el cobre.

En cada extremo de la barra hay sectores tratados que permiten disponer de un extremo aguzado, un extremo con una cabeza endurecida o con un hilo para atornillar barras adicionales. Es importante en el caso de las barras recubiertas, que la capa de cobre se mantenga intacta en la sección fileteada (con hilo). Algunos fabricantes también tienen una barra taladradora de cabeza de cruz, que es particularmente útil si los acoplamientos de barra tienen un diámetro mayor que la barra. Se asegura que este tipo de cabeza permite enterrar hasta mayor profundidad. Las barras están disponibles en diámetros de 15 mm (cobre sólido) y 9,5 a 20 mm (acero recubierto de cobre). Las barras individuales tienen longitudes de 1, 2 a 3 metros.

También se dispone de secciones apantalladas de barra para uso, por ejemplo, cuando hay una capa de suelo altamente corrosivo, a través de la cual debe atravesar una barra profunda. La pantalla debe ser por ejemplo de PVC para prevenir contacto entre la barra y el suelo corrosivo. Por supuesto esta sección no contribuye a reducir el valor de impedancia, puesto que no está en contacto con el suelo.

La resistencia de un electrodo vertical de longitud L y diámetro d , como se muestra en la figura 2.23, según ANSI/IEEE std 80-1986, viene dada de la siguiente manera:

$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \text{Log} \left(\frac{3L}{d} \right) \quad (2.44)$$

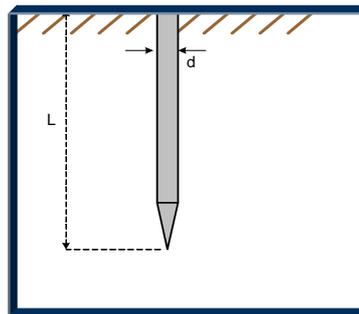


Figura 2.23. Electrodo Vertical enterrado en Suelo Homogéneo
Fuente: Vargas y Peñaliyllo

2.3.6.2 PLACAS

Se usa varios tipos de placas para propósitos de puesta a tierra, pero el único tipo que se considera generalmente como electrodo debe ser sólido y de tamaño sustancial. Las placas tipo enrejado, se usan para graduar potenciales y no se espera que permitan el paso de niveles de corriente de falla significativos. Se hacen normalmente de una malla de cobre o de acero.

Los electrodos de placa son de cobre o de hierro fundido. Las planchas de hierro fundido tienen un mínimo de 12mm de espesor y son cuadradas de 915 ó 1220 mm por lado. Las planchas de

cobre son típicamente cuadradas de 600 mm o 900 mm de lado y entre 1,6 mm y 3 mm de espesor. Cuando se usan varias planchas, deben instalarse a cierta distancia para prevenir una interacción. Esta distancia es mínimo de 2 m expandiéndose hasta 9 m.

Una placa circular de radio r , enterrada horizontal o verticalmente, a una profundidad h , con la conexión aislada, como se muestra en la figura siguiente, según ANSI/IEEE std 80-1986, tiene una resistencia aproximada de:

$$R = \frac{\rho}{8r} \left(1 + \frac{r}{2,5h + r} \right) \quad (2.45)$$

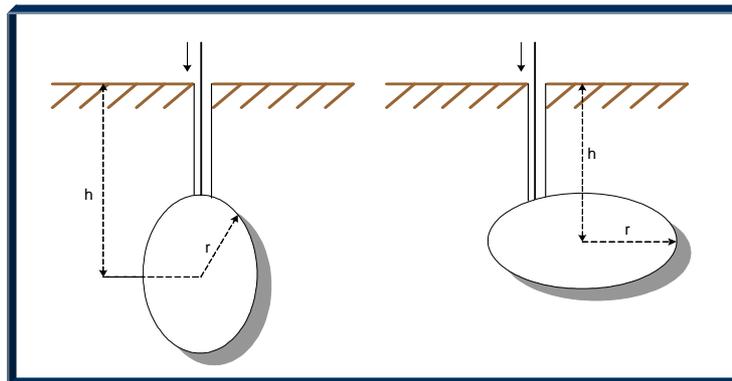


Figura 2.24. Placas enterradas en suelo homogéneo

Fuente: Vargas y Peñaliylo

2.3.6.3 ELECTRODOS HORIZONTALES

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

Para reducir costos globales, la cinta se puede usar para los electrodos que llevarán la mayor corriente (por ejemplo, electrodos del perímetro y conexiones principales a los equipos) mientras que el conductor retorcido puede usarse en otra parte. La cinta que se instala bajo tierra es totalmente recocida de modo que puede ser plegada fácilmente.

Para conexiones exteriores al terreno están disponibles cinta cubierta de PVC, conductores sólidos o retorcidos. También se dispone de cinta de cobre cubierta de plomo o estaño para aplicaciones especiales.

La resistencia de un electrodo enterrado horizontalmente, de longitud L y diámetro d , a una profundidad h , como se muestra en la figura 2.25, según ANSI/IEEE std 80-1986, tiene una resistencia aproximada de:

$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \left(\text{Log} \left(\frac{3L}{2D} \right) + \text{Log} \left(\frac{3L}{8h} \right) \right) \quad (2.46)$$

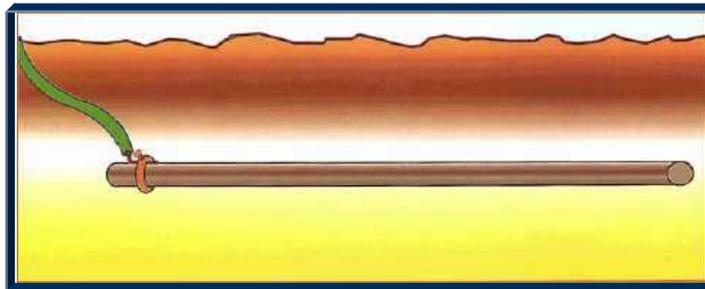


Figura 2.25. Electrodo enterrado Horizontalmente
Fuente: Procobre

2.3.6.4 MALLAS DE TIERRA

Es un reticulado formado por la unión de conductores horizontales, normalmente según direcciones perpendiculares y uniformemente espaciados, incluyendo eventualmente conductores verticales (barras). Se utiliza especialmente cuando el objetivo principal de la puesta a tierra es

mantener un control de potenciales en la superficie del terreno, con un valor de resistencia bajo, según Procobre. En la figura 2.26 se ilustra un ejemplo de mallas de tierra.

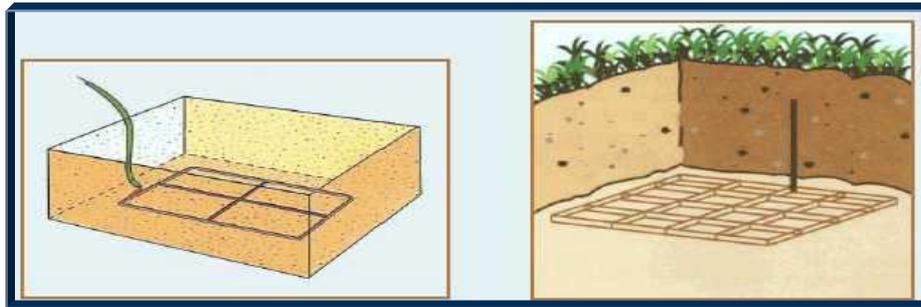


Figura 2.26. Mallas de Tierra

Fuente: Procobre

Para efectuar un cálculo aproximado de su resistencia de puesta a tierra, se utiliza la expresión de Laurent:

$$R = \frac{\rho_e}{4\sqrt{S/\pi}} + \frac{\rho_e}{L} \quad (2.47)$$

Donde:

- ρ_e : Resistividad equivalente del terreno en ohm – metro
- S : Superficie que cubre la malla en m^2
- L : Longitud total del conductor de la malla en metros.

2.3.6.5 ELECTRODOS SECUNDARIOS

Existen algunos tipos interesantes de electrodos secundarios, cuyo propósito es mejorar el comportamiento de un electrodo de tierra, ellos incluyen pozos de tierra y embalses de terreno.

Un pozo de tierra puede comprender varias tuberías largas enterradas verticalmente en el suelo. Están conectadas entre sí y rodeadas por un material de baja resistividad.

Un embalse de tierra es típicamente una cavidad en una ubicación donde se pueda mantener la humedad, que está llena con desechos metálicos y otro material conductivo.

Un ejemplo de electrodo secundario consiste de un tubo de cobre de 50 mm de diámetro, disponible en longitudes de hasta 6 metros. El cañón interior se llena parcialmente con sales metálicas en bruto y los extremos superior e inferior del tubo se sellan con tapas. Se perfora el tubo en la parte superior para ventilación y también para drenaje en la parte inferior. El material de relleno recomendado es bentonita. El dispositivo funciona del siguiente modo:

Producto de los cambios en la presión atmosférica y del movimiento natural del aire, se bombea aire a través de los huecos de ventilación, en la parte superior del tubo. La humedad existente en el aire absorbido entra en contacto con la sal y se forman gotas de agua vía un proceso higroscópico. Al acumularse la humedad, se forma una solución electrolítica que escurre hacia la parte inferior del tubo.

Con el tiempo se forma suficiente electrolito el cual fluye a través de las perforaciones inferiores de drenaje hacia el suelo circundante, mediante osmosis. De este modo, el electrolito forma “raíces” en el terreno que lo rodea, las cuales ayudan a mantener su impedancia en un nivel bajo.

2.3.6.6 MÉTODOS DE INSTALACIÓN

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

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

El método de instalación, relleno y conexiones que se detalla en los siguientes párrafos dependerá del tipo de sistema de electrodos que se usará y de las condiciones del terreno. Donde se pueda, debiera hacerse uso de trabajo de excavaciones comunes. Invariantemente, se necesitará apoyo mecánico y herramientas para apoyar la instalación.

2.3.6.6.1 ELECTRODOS VERTICALES

Las barras generalmente ofrecen la forma más conveniente y económica de instalar un electrodo. A menudo se requiere modificar poca superficie (tal como romper superficies de concreto), pero por supuesto es necesario inspeccionar para asegurarse que no hay equipo o instalaciones enterradas “tales como tuberías de agua o gas”, que puedan ser dañadas al enterrar las barras. Los métodos de instalación incluyen accionamiento manual, accionamiento mecánico y perforadora. Las barras cortas (típicamente hasta 3 metros de largo) se instalan a menudo empleando un martillo pesado operado manualmente. Los golpes relativamente cortos y frecuentes son más efectivos normalmente. Las barras están acondicionadas con una cabeza endurecida y una punta de acero para asegurar que la barra misma no se dañe durante el proceso.

Las barras más largas se manejan en forma similar, pero usando un martillo neumático que requiere mucho menos esfuerzo físico y proporciona una inercia directa mayor. Se usan también exitosamente para este propósito herramientas eléctricas, a petróleo, hidráulicas de aceite o aire. Debido a su peso, estas herramientas algunas veces requieren de un aparejo para sostenerlas. Un martillo eléctrico típico podría tener un consumo de 500 watts y proporcionar aproximadamente 1500 golpes por minuto. Es posible enterrar barras hasta una profundidad de 10 metros o más usando este método, dependiendo por supuesto, de las condiciones reales del suelo. Se ha informado también que barras hasta 30 metros han sido instaladas de esta manera, pero no se sabe cuan derechas quedaron. Se sabe que algunas veces se doblan y quiebran a cierta profundidad. El tiempo que demora instalar la barra varía con el tipo de suelo. Por ejemplo, en arena o gravilla suelta, la tasa de penetración de una barra de 11 mm de diámetro puede ser de 3.5 m por minuto, pero ésta cae a 0.5 m por minuto en arcilla firme.

El diámetro de la barra es el principal factor que incide en el esfuerzo necesario para instalarla. Las barras delgadas (9 mm de diámetro) se instalan relativamente fácil, pero a medida que la longitud de la barra aumenta, el diámetro de la barra debe incrementarse para asegurar que la barra tenga suficiente resistencia mecánica –particularmente en los puntos de unión-. Al doblar el diámetro de la barra de 12 mm a 24 mm, aumenta la resistencia mecánica para impacto en más de tres veces. Cuando las barras tienen que ser muy profundas, normalmente son soldadas o acopladas mecánicamente. El acoplamiento debe ser tal que el diámetro de la barra no se incremente significativamente, de otro modo la instalación se dificultará y al penetrar la unión se producirá un espacio con un diámetro mayor que el de la barra. El acoplamiento debiera también apantallar la sección tratada, para ayudar a prevenir la corrosión.

Las barras de acero recubiertas de cobre son significativamente más resistentes que las barras de cobre sólido, las cuales se doblan muy fácilmente y pueden quebrarse cuando se intenta introducir las en el suelo rocoso.

Cuando se requiere barras más profundas o en condiciones de suelo difícil donde hay roca subyacente, la forma más efectiva es taladrar una perforación estrecha en la cual se instala el electrodo de barra con material de relleno adecuado. Este método es a menudo sorprendentemente económico, ya que puede realizarse un número significativo de perforaciones profundas en un día usando equipos de bajo costo. Las barras pueden instalarse en forma rutinaria a profundidades de hasta 20 metros y con equipos más especializados a una profundidad significativamente mayor. Además de la ventaja de obtener una gran profundidad y una trayectoria más controlada del electrodo, otro beneficio es que de esta manera puede instalarse electrodos de cobre sólido significativamente delgados.

Debido a que la barra de cobre sólido tiene una mejor conductividad que la barra recubierta de cobre, esto mejora aún más el beneficio obtenido por el uso de barras largas. Si se entierran mecánicamente a dicha profundidad, las barras necesitarían ser de mucho mayor diámetro y

puede ser necesaria una barra de acero recubierta de cobre para proveer la resistencia mecánica adecuada. En el pasado se usaron varias formas diferentes de sección, tales como sección transversal en forma de estrella para incrementar la resistencia de la barra y hacer menos probable que se doblara en suelo rocoso. Sin embargo, no están disponibles ahora. La forma diferente sólo tiene un efecto marginal sobre la resistencia eléctrica obtenida, pero podría requerir menos material para la misma área superficial.

Las barras verticales largas pueden proporcionar una solución económica en muchas situaciones. Existe también equipo disponible que usa conductor de cobre retorcido enterrado en profundidad para provocar un efecto similar al de una barra convencional, pero evita uniones mecánicas. Una barra de acero se entierra, arrastrando el conductor retorcido detrás de ella. Con el tiempo, el acero probablemente se corroa, dejando sólo al conductor de cobre como electrodo permanente.

2.3.6.6.2 PLACAS

Originalmente, a comienzos de siglo, las placas eran tan comunes que a todos los electrodos de tierra se les llamaba planchas de tierra. Cuando se incrementó el uso de la electricidad, las planchas debían manejar corrientes mayores, lo cual significó aumentar las dimensiones de la placa. Su uso continuó por un tiempo considerable, principalmente debido a la costumbre y a la práctica, a pesar de que tenían algunas desventajas. Por ejemplo, generalmente requieren excavación manual o mecánica y, por lo tanto, el costo de instalación puede ser muy alto. Para reducir la magnitud de la excavación requerida, las planchas se instalan normalmente en un plano vertical, desde aproximadamente 0.5 metros bajo la superficie. Es fácil compactar el terreno contra la placa cuando se rellena, si está instalada verticalmente. Otra desventaja se debe a la ubicación escogida para las placas de tierra. A menudo se ubican demasiado próximas entre sí y sus zonas de influencia se solapaban. Esto aumenta la resistencia combinada a un valor mayor que el esperado. Si las placas tienen que llevar una cantidad importante de corriente, entonces su resistencia necesita ser de bajo valor. En la práctica, la resistencia combinada no era aún lo suficiente baja y las corrientes de fallas generalmente seguían otras rutas. Por lo tanto, en esta

situación no se cumplía la mejor densidad de corriente, señalada como una ventaja para las placas. Usualmente podía lograrse un arreglo mejor usando barras y electrodos horizontales.

Debido al costo de instalación relativamente alto, poco se justifica usar placas ahora y las existentes, cuando se detecta deterioro, son reemplazadas normalmente por una agrupación de barras.

2.3.6.6.3 ELECTRODOS HORIZONTALES

Los electrodos horizontales pueden ser instalados en surcos directamente en el terreno o más frecuentemente en zanjas de hasta un metro de profundidad. El uso de equipos de excavación mecánica de pala angosta puede resultar en costos de instalación menores, en sitios donde esto es posible. La profundidad de instalación tiene un mínimo de 0.5 metros y más si es necesario pasar bajo nivel de cultivo o escarcha en zonas heladas.

En muchos proyectos grandes, toda el área puede ser excavada para permitir obras civiles. Esto presenta a menudo una buena oportunidad para minimizar costos tendiendo el conductor del electrodo de tierra en ese momento. Debe tenerse cuidado de prevenir daños o robo del conductor del cable tendido.

2.3.6.6.4 RELLENO

En todos los casos, el material de relleno debe ser no corrosivo, de un tamaño de partículas relativamente pequeñas y si fuera posible, que ayude a retener la humedad. Muy a menudo, el material previamente excavado es apropiado como relleno, pero debiera ser cernida para remover piedras antes de rellanar, asegurándose de que quede bien compactado. El suelo debiera tener un índice de pH entre 6.0 (ácido) y 10.0 (alcalino). La arcilla dura no es un material de relleno conveniente ya que si es fuertemente compactada, puede llegar a ser casi impermeable al agua y

podría permanecer relativamente seca. También puede formar grandes terrones que no se afianzan alrededor del conductor.

Los materiales que no debieran ser usados como relleno incluyen arena, polvo de coque, ceniza, muchos de los cuales son ácidos y corrosivos.

2.3.6.6.5 CONEXIONES

Los electrodos de tierra tienen que ser conectados entre sí de alguna manera y es normal que sea vía cobre desnudo si es posible, ya que esto ayudará a reducir el valor de impedancia global. Las conexiones entre los diferentes componentes deben ser mecánicamente robustas, tener buena resistencia a la corrosión y baja resistividad eléctrica. Es prudente evitar uniones y conexiones innecesarias. Debe considerarse el valor de corriente de falla y la duración de la falla que se espera que soporte el sistema de tierra. Varios estándares indican especificaciones para los materiales que son mínimos aceptables, por ejemplo, establecen que las coplas para barras de cobre necesitan un contenido mínimo de cobre del 80%. A continuación se explican en más detalle los métodos de unión que se emplean, incluyendo métodos mecánicos, bronceados (soldadura en fuerte), soldadura exotérmica y soldados por fusión autógena.

Como referencia visual para las conexiones ver anexo K.

2.3.6.6.5.1 CONEXIONES MECÁNICAS

Se usan comúnmente y pueden ser mecánicas (conexión apornada) o hidráulicas (compresión). Los conectores deben satisfacer los requerimientos de los estándares aplicables. El proceso de probar el cumplimiento de las normas involucra habitualmente una serie de pruebas debido durante las cuales el conector es sometido a impacto mecánico, eléctrico y térmico. En consecuencia son factores importantes el diseño, tamaño y material usado, particularmente ya que tales conectores pueden permanecer invisibles en el terreno por cierto número de años, antes de que sean solicitados para operar. Es esencial una conexión eléctrica a baja resistencia,

especialmente en sistemas de electrodos del tipo radial. Durante la mantención, se han descubierto conexiones con resistencia de más de 20 ohmios. Claramente esto perjudica el comportamiento del sistema de electrodos.

Cuando se apernan entre si cintas de cobre, debe tenerse cuidado con el tamaño de las perforaciones efectuadas para acomodar el perno. Si son demasiado grandes, la capacidad de transporte de corriente de la cinta se perjudicará. Por esta razón, los estándares y reglamentos de práctica normalmente limitan el diámetro de la perforación a un tercio del ancho de la cinta o menos.

Cuando se apernan metales diferentes (por ejemplo cintas de cobre y aluminio), las superficies deben ser minuciosamente limpiadas y protegidas por un inhibidor de óxido. Una vez efectuada la conexión, el exterior debe ser cubierto por pintura bituminosa u algún otro medio para proteger contra el ingreso de humedad. Cuando se une cobre y aluminio, el cobre primero debe ser estañado. Una unión apernada de este tipo es actualmente el método recomendado preferentemente en los estándares para conectar metales diferentes, en el caso de instalaciones exteriores y en subestaciones eléctricas. Estas conexiones deben estar a una mínima distancia sobre tierra y no pueden estar enterradas.

Para unir distintos tipos de conductores, por ejemplo, barra de tierra a cinta o cable, se dispone de abrazaderas apropiadas. Estas deben tener un alto contenido de cobre. No deben usarse bandas metálicas.

En alguna oportunidad se usó uniones de tipo estañada y remachada. La cinta de cobre se perforaba, luego era estañada y remachada. Sin embargo, los remaches algunas veces se rompen y sueltan debido a vibración, entre otros. Este método de unión no es recomendado para tratar los altos valores de corriente de falla encontrados ahora.

2.3.6.6.5.2 CONEXIONES BRONCEADAS (SOLDADAS EN FUERTE)

La conexión bronceada se aplica ampliamente al cobre y aleaciones de cobre. Este método tiene la ventaja de proporcionar una baja resistencia de unión la cual no se corroe. Actualmente, es el método preferido descrito por los estándares para conectar cintas de cobre en el interior de subestaciones. Sin embargo, es esencial que el bronceado sea efectivo. Puede ser difícil hacer una buena unión en terreno, particularmente donde están involucradas grandes áreas de sección transversal. Son esenciales las superficies planas limpias pues los materiales de bronceado generalmente no fluyen como la soldadura. Existe así la posibilidad de conexiones adecuadas solo en los puntos de contacto, pero con vacíos importantes que quedan sin llenar. Para este trabajo es esencial una fuente de calor, particularmente para conectores grandes.

2.3.6.6.5.3 UNIONES EXOTÉRMICAS

Estas uniones se realizan mediante un molde de grafito que se diseñan para ajustar el tipo específico de unión y el tamaño de los conductores. Usando una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvo de aluminio y óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre virtualmente puro entorno a los conductores. La reacción de alta temperatura se produce en el interior del molde de grafito. Si se ocupa y mantiene adecuadamente, cada molde puede usarse para realizar entre 50 y 70 uniones. Este tipo de unión asegura los siguientes beneficios:

- Proporciona una unión permanente, de baja resistencia eléctrica y resistente a la corrosión.
 - La técnica empleada no requiere adiestramiento, relativamente.
 - Puede operar a altas temperaturas, permitiendo eventualmente reducir el calibre del conductor.
-

Este tipo de unión no es actualmente siempre permitido para conectar cobre y aluminio en subestaciones. Los metales que pueden conectarse son acero inoxidable, bronce, cobre, acero con cubierta de cobre, acero galvanizado, bronce y riel de acero. Hay algunos aspectos de seguridad involucrados con este tipo de unión, pero la técnica se ha desarrollado rápidamente para controlarlo, por ejemplo, reduciendo la emisión de gas.

2.3.6.6.5.4 CONEXIONES SOLDADAS EN FORMA AUTÓGENAS

El cobre puede unirse por soldadura de bronce o soldadura al arco en presencia de gas. La técnica de unión por soldadura de bronce es efectiva y de bajo costo, empleada primariamente para realizar uniones en terreno (por ejemplo en trabajos con tuberías de cobre). En esta técnica clásica, se usa bronce como metal de relleno para formar un enlace superficial entre las partes de cobre. La técnica emplea alta temperatura y un material de relleno que es el que más se ajusta al cobre. A pesar de que la soldadura de bronce puede usarse para conectar cobre a metales ferrosos, esto normalmente no se cumple para puestas a tierra.

Cuando necesitan unirse componentes de cobre de mayor medida, entonces se usa soldadura autógena en ambiente gaseoso. 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, helio o nitrógeno. Esto reduce la oxidación que toma lugar durante el proceso de soldadura. El nitrógeno se usa ampliamente como el “Gas inerte” cuando se solda cobre. Se requieren materiales de relleno especialmente desarrolladas, que son reconocidos por su buen comportamiento al soldar cobre.

El aluminio puede ser soldado vía arco de gas de inerte de tungsteno o arco de gas inerte de metal. La soldadura en frío a presión se usa algunas veces para unión entre aluminio.

2.3.7 DESCARGA ATMOSFÉRICA

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

Estas pueden causar grandes diferencias de potencial en sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas. Pero, aún sin la descarga, una nube cargada electrostáticamente crea diferencias de potencial en la tierra directamente debajo de ella.



Figura 2.27. Descarga atmosférica
Fuente: Martínez y Ramírez

2.3.7.1 EL RAYO

El rayo es una poderosa descarga electrostática natural, producida durante una tormenta eléctrica. La descarga eléctrica precipitada del rayo es acompañada por la emisión de luz, conocido como relámpago, causada por el paso de corriente eléctrica que ioniza las moléculas de aire. La corriente eléctrica que pasa a través de la atmósfera calienta y expande rápidamente el aire, produciendo el ruido característico del rayo; es decir, el trueno.



Figura 2.28. El rayo
Fuente: Martínez y Ramírez

Muchos científicos como Isaac Newton y Benjamín Franklin investigaron al rayo, su naturaleza, su causa, su origen, y, sobre todo Franklin, diseñaron sistemas que atraen estas cargas eléctricas hacia la tierra (pararrayos), de manera de evitar que se acumulara en grandes proporciones y evitar sus efectos indeseables.

2.3.7.1.1 CARACTERISTICAS DE LAS DESCARGAS DEL RAYO.

Los parámetros de las descargas de rayos a tierra son muy importantes en el diseño de esquemas de protección contra rayos. Los parámetros más importantes son:

- Voltaje
- Corriente eléctrica
- Forma de onda
- Frecuencia de ocurrencia

El voltaje entre una nube de tormenta y la tierra antes de una descarga al terreno se ha estimado de 10 MV a 1000MV. Sin embargo, para trabajo de diseño, al ingeniero de protección le interesa el voltaje que aparece en el aparato de energía en que ocurre la incidencia. Este voltaje será igual al producto de la impedancia por la corriente de la descarga.

Se acepta, en general, que la corriente de descarga al terreno es independiente de la impedancia de terminación. La razón es que la impedancia de terminación es mucho mas baja que la resistencia del canal de descarga del rayo, la cual es del orden de unos cuantos miles de ohms. En consecuencia, una descarga a tierra se considera normalmente como una fuente ideal de corriente en el punto de incidencia. La cresta de la corriente eléctrica de la descarga puede variar sobre un amplio intervalo: 1 a 200 KA.

La frecuencia de ocurrencia es también un parámetro muy importante. Para poder cuantificar la actividad del rayo, se ha introducido la medida tosca del día de tormenta. Un día de tormenta se define como un periodo de 24 h en el cual se ha oído por lo menos un trueno. La recolección de datos históricos de actividad de tormenta eléctrica hecha por el Nacional Weather Service dio como resultado mapas de curvas de igual intensidad de los días de tormenta. Estos mapas se conocen como mapas isoceraunicos. Es muy importante hacer notar que este mapa, por definición, proporciona solo una medida referencial de la actividad de descargas eléctricas. Específicamente, por definición, un día de tormenta no proporciona información alguna acerca de la frecuencia y la actividad total de las descargas. No obstante, al no disponer de mejores datos, se emplean los mapas isoceraunicos para la estimación de la actividad mencionada en un área determinada.

2.3.8 EFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA EN EL CUERPO HUMANO Y EN LAS PROPIEDADES

La corriente eléctrica, al circular a través de cualquier objeto produce un aumento de temperatura que crece cuadráticamente con su magnitud, es decir, que cada vez que se duplica la corriente, se cuadruplica la energía producida. Esta corriente, dependiendo del material por el cual circule, puede causar desde un insignificante aumento en la temperatura de un alambre conductor hasta graves quemaduras en el cuerpo humano o un incendio en un bosque o en una edificación.

Por otra parte, en la protección contra choques eléctricos, el criterio es el límite admisible de la tensión de contacto (producto de la intensidad de corriente que atraviesa el cuerpo humano por su impedancia) en función del tiempo.

2.3.8.1 PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN EL EFECTO ELÉCTRICO

2.3.8.1.1 INTENSIDAD DE LA CORRIENTE

Es uno de los factores que más inciden en los efectos y lesiones ocasionados por el accidente eléctrico. En relación con la intensidad de corriente, son relevantes los conceptos que se indican a continuación.

- **Umbral de percepción:** es el valor mínimo de la corriente que provoca una sensación en una persona, a través de la que pasa esta corriente. En corriente alterna esta sensación de paso de la corriente se percibe durante todo el tiempo de paso de la misma; sin embargo, con corriente continua solo se percibe cuando varía la intensidad, por ello son fundamentales el inicio y la interrupción de paso de la corriente, ya que entre dichos instantes no se percibe el paso de la corriente, salvo por los efectos térmicos de la misma. Generalizando, la Norma CEI 479-11994 considera un valor de 0,5 mA en corriente alterna y 2 mA en corriente continua, cualquiera que sea el tiempo de exposición.
-

- **Umbral de reacción:** es el valor mínimo de la corriente que provoca una contracción muscular.
- **Umbral de no soltar:** cuando una persona tiene sujetos unos electrodos, es el valor máximo de la corriente que permite a esa persona soltarlos. En corriente alterna se considera un valor máximo de 10 mA , cualquiera que sea el tiempo de exposición. En corriente continua, es difícil establecer el umbral de no soltar ya que solo el comienzo y la interrupción del paso de la corriente provoca el dolor y las contracciones musculares.
- **Umbral de fibrilación ventricular:** es el valor mínimo de la corriente que puede provocar la fibrilación ventricular. En corriente alterna, el umbral de fibrilación ventricular decrece considerablemente si la duración del paso de la corriente se prolonga más allá de un ciclo cardíaco. Adecuando los resultados de las experiencias efectuadas sobre animales a los seres humanos, se han establecido unas curvas, por debajo de las cuales no es susceptible de producirse. La fibrilación ventricular está considerada como la causa principal de muerte por choque eléctrico.

En corriente continua, si el polo negativo está en los pies (corriente descendente), el umbral de fibrilación es de aproximadamente el doble de lo que sería si el polo positivo estuviese en los pies (corriente ascendente). Si en lugar de las corrientes longitudinales antes descritas fuese una corriente transversal, la experiencia sobre animales hace suponer que, solo se producirá la fibrilación ventricular con intensidades considerablemente más elevadas.

En la figura 2.29 se representan los efectos de una corriente continua ascendente con trayecto mano izquierda-los dos pies; se puede apreciar que para una duración de choque superior a un ciclo cardíaco el umbral de fibrilación en corriente continua es muy superior que en corriente alterna.

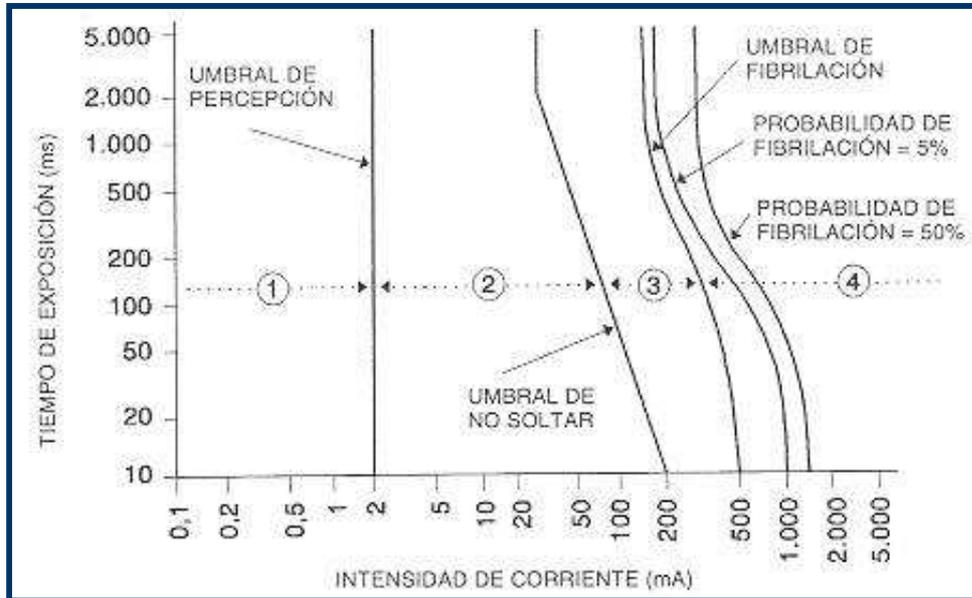


Figura 2.29. Corriente continua, efecto en el organismo

Fuente: Martínez Juan.

2.3.8.1.2 VALORES DE LA IMPEDANCIA TOTAL DEL CUERPO HUMANO

Los valores de esta impedancia dependen fundamentalmente del trayecto de la corriente, de la tensión de contacto, de la duración del paso de corriente, de la frecuencia de la corriente, del estado de humedad de la piel, de la superficie de contacto, de la presión ejercida y de la temperatura.

Tabla 2.6. Impedancia del cuerpo humano frente a la corriente alterna

Tensión de contacto (V)	Trayectoria mano-mano, piel seca, c. alterna, frecuencia 50-60 Hz, superficie de contacto 50-100 cm ²		
	Impedancia total (Ω) del cuerpo humano que no son sobrepasados por el		
	5% de las personas	50% de las personas	95% de las personas
25	1.750	3.250	6.100
50	1.450	2.625	4.375
75	1.250	2.200	3.500
100	1.200	1.875	3.200
125	1.125	1.625	2.875
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500
valor asintótico	650	750	850

Fuente: Martínez Juan.

2.3.9 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

La consulta a las normas y estándares vigentes relacionados con la protección contra descargas atmosféricas, establece recomendaciones y técnicas de protecciones específicas, dependiendo de la instalación a ser protegida. El sistema comúnmente usado para la protección contra las descargas atmosféricas son los pararrayos, estos se definen como los dispositivos destinados a descargar las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas. Es un dispositivo formado por una o mas barras metálicas terminadas en punta, unidas entres si con la tierra o con el agua, mediante conductores metálicos, y que se coloca sobre la parte alta de las edificaciones a proteger para preservarlos de los efectos del rayo. La mayoría de los pararrayos están fundados en el efecto de las puntas, o las tendencias de las cargas a escapar por las regiones de máxima curvatura; en este efecto se baso el pararrayos de Benjamín Franklin. El campo eléctrico en el extremo del pararrayos es lo suficiente intenso para ionizar el aire.

Tradicionalmente, las normas que rigen los sistemas de protección contra descargas atmosféricas están basadas en el conocido pararrayo Franklin y en la llamada jaula de Faraday. Sin embargo, el desarrollo creciente y acelerado del conocimiento de los fenómenos vinculados al comportamiento de las descargas eléctricas, el comportamiento de los sistemas de puesta a tierra permanente y las investigaciones específicas sobre este fenómeno, han llevado a la conclusión de que los sistemas pueden ser protegidos por otro medio que no sea el sistema punta Franklin o jaula de Faraday.

Con la finalidad de entender el fenómeno de protección, a continuación a vamos a describir brevemente los sistemas de protección existentes en el mercado.

2.3.9.1 PUNTA FRANKLIN

La punta Franklin basa su funcionamiento en el llamado efecto punta. Es de todo conocido que entre la tierra y la atmósfera existe en todo momento un intercambio de carga eléctrica. Este intercambio se canaliza siempre a través de elementos en contacto con tierra y que ocupan un lugar prominente sobre la misma, personas, árboles, edificios, montículos, etc. Esto es debido a que estos objetos, al estar elevados sobre el terreno se encuentran sometidos a una mayor diferencia de potencial con la atmósfera., favoreciendo por tanto el desprendimiento de carga eléctrica y su transmisión por el aire. Al existir una tormenta y un rayo incipiente, y por tanto una gran concentración de carga en la atmósfera, el campo eléctrico entre la nube cargada en la atmósfera es muy elevada, facilitando su transmisión de carga entre la tierra y la atmósfera. Esta transmisión en el caso de una insipiente descarga que inicia su descenso a tierra, se hace tan elevada que puede desencadenar la formación de un canal de aire ionizado ascendente que partiendo de la punta del pararrayo va a encontrarse con la descarga principal, cortocircuitando el rayo a tierra. Este sistema ha sido ampliamente utilizado durante dos siglos.

Las descargas atmosféricas van a parar a la cabeza de captación, que debe estar más alta que los elementos a proteger. La cobertura de protección de este pararrayo es un cono cuya altura es la distancia entre el terreno y la punta de captación y de superficie, un círculo de radio igual a la altura antes descrita y con centro en la proyección sobre el terreno de la cabeza de captación. Este tipo de pararrayos es muy adecuado para construcciones aisladas de gran altura y que tengan salientes destacados del resto del edificio. La imagen más típica es el pararrayo del campanario de una iglesia.



Figura 2.30. Pararrayo Punta de Franklin

Fuente: Vargas y Peñaylillo

2.3.9.2 PARARRAYOS DE JAULA DE FARADAY

Este principio de la física con este nombre tan particular, asegura que el interior de una caja cerrada por paredes metálicas y en perfecta continuidad eléctrica no se ve afectando por ninguna variación del campo eléctrico externo. Sin embargo, dado que desde el punto de vista práctico es imposible meter un edificio dentro de una caja metálica conectada a tierra, la protección con jaula de Faraday se realiza formando una malla muy tupida de pletina o cable de cobre en el techo y paredes, conectados solidamente entre sí y con pequeñas puntas de descargas y llevadas a tierra lo cual hace elevadísimo el costo, aparte del resultado estético, el cual suele ser deplorable. Son adecuados para edificios en los que predomina la superficie en planta sobre la altura.

2.3.9.3 PARARRAYOS DE EFECTO DIELECTRICO

Estos pararrayos incorporan aros o planchas paralelas aisladas entre sí constituyéndose como armadura de un condensador. Una de estas planchas o electrodos se encuentran conectadas a tierra y mantienen un número determinado de puntas metálicas enfrentadas a otro electrodo.

2.3.9.4 PARARRAYO IONIZANTE

La función específica de este pararrayo es la de ionizar el aire que circula en la parte superior del pararrayo, hasta lograr capacidades de protección muy elevadas, tanto más elevadas cuando alto sea el gradiente de potencial eléctrico y por tanto cuanto más cerca se encuentre la descarga eléctrica atmosférica.

2.3.9.5 PARARRAYO ION CORONA SOLAR

El pararrayo Ion corona solar proporciona mediante un dispositivo electrónico productor de ionización una gran cantidad de cargas libres necesarias para que el proceso de carga-descarga del condensador no se vea en ningún momento retrasado o interrumpido. Este tipo de descarga de pararrayo dispone de un sistema de electrodos de geometrías adecuadas, entre las que se genera el efecto corona ionizante independiente de las condiciones eléctricas de la atmósfera. La magnitud de ionización producida por este tipo de pararrayo es muy superior a la que genera cualquier otro pararrayo que utiliza la ionización como medio de atrapar cargas libres del espacio (pararrayo radiactivo, piezo eléctrico y de efectos electro atmosféricos). Para su alimentación dispone de un panel solar. El dispositivo electrónico generador de efecto ionizante, corona artificial está encapsulado en resina de poliuretano antihumedad y protegido de las descargas eléctricas atmosféricas por el montaje del mismo en forma de jaula de Faraday. El pararrayo Ion- corona solar, puede funcionar por efecto dieléctrico- condensador natural, gracias a su distribución de condensadores planos electroestáticos.

2.3.9.6 PARARRAYO CON ACELERADOR ATMOSFÉRICO

Mediante un dispositivo de aceleración, ha sido posible aumentar enormemente la cantidad de electricidad que el pararrayo es capaz de dispersar en la atmósfera respecto a la punta convencional o pararrayo de Franklin, superando en mucho la de los pararrayos radiactivos, que hasta ahora se venían instalando y logrando por lo tanto, una acción preventiva eficaz. La función

específica de este pararrayo es la de producir una ionización dirigida hacia arriba, a fin de neutralizar las cargas eléctricas de las nubes, canalizando la posible descarga. Entre el conjunto excitador, que se encuentra al mismo potencial que el aire circundante, la punta y el deflector que se hallan a igual potencial que la tierra, se establece una diferencia de potencial que es tanto más elevada cuanto más alto es el gradiente de potencial atmosférico y, por ende, cuanto más próxima se halla la formación de un rayo. Esta diferencia de potencial, acelera considerablemente a los iones y electrones que se encuentran entre los dos conjuntos, hasta el punto de provocar una ionización por choque, y por consiguiente un flujo iónico dirigido hacia la nube. La característica principal de este pararrayo radica pues, en la producción ionización, ya que mientras más intensa es ésta, más probable es la formación del rayo, lo que se denomina acción proporcional preventiva.

2.3.10 DEFINICION DE TÉRMINOS

- **Ánodo:** electrodo o parte heterogénea de una toma de tierra que la corriente abandona para penetrar a un conductor iónico. En un elemento de corrosión, el ánodo presenta siempre el potencial más negativo. En el ánodo la reacción de oxidación iónica metal-metal es predominante y el metal se transforma en productos de corrosión.
 - **Cátodo:** electrodo o una parte de toma de tierra mixta heterogénea donde la corriente continua proviene de un conductor iónico. En un elemento de corrosión, el cátodo presenta siempre el potencial menos negativo. La reacción de reoxidación catódica es predominante. En los medios acuosos, el valor del pH en la proximidad del cátodo aumenta generalmente.
 - **Corrosión libre:** fracción de corrosión sin pérdida de peso que se produce sobre los electrodos en soluciones electrolíticas homogéneas y que no se debe a una corriente anódica de malla.
 - **Solución electrolítica:** solución que presenta una conductividad iónica (por ejemplo soluciones arenosas, suelos pantanosos).
-

- **Elemento de corrosión:** célula galvánica que funciona en caso de corrosión del material metálico en un medio electrolítico (por ejemplo terreno) y que conduce a una corrosión localizada.
 - **Riesgo de corrosión:** riesgo de destrucción de los materiales seguido de una reacción química o electroquímica de los materiales con su medio circundante.
 - **Polarización:** Modificación del potencial libre de corrosión.
 - **Corrosión del cobre:** Resiste la corrosión en casi todos los tipos de terreno, a excepción de los terrenos alcalinos o en medios amoniacales (agua de estiércol).
 - **Corrosión del hierro:** en el hierro galvanizado suelen corroerse más las partes enterradas en profundidad que las superficiales, y de estas, la zona inmediata bajo la superficie más rápidamente que la que se encuentra al aire libre.
 - **Corrosión del aluminio:** la corrosión del aluminio suele ser rápida en suelos alcalinos, su utilización como toma de tierra debe hacerse con reservas y previo detallado análisis del terreno.
 - **Corrosión del plomo:** en terrenos de gran resistividad, su corrosión suele ser rápida, aunque puede paliarse dando a las partes enterradas un potencial negativo por medio de un dispositivo adecuado de protección catódica.
 - **Corrosión microbiana:** se define como el proceso metabólico bacteriano que origina o acelera la destrucción de los metales.
 - **Corrosión bacteriana:** se define como un fenómeno de degradación de los metales en los que intervienen microorganismos actuando bien directa o indirectamente sobre los mismos.
 - **Corrosión anaeróbica:** esta corrosión esta formada por el desulfobibrio, poseen la propiedad de oxidar el hidrógeno, no soportan el oxígeno.
 - **Corrosión aerobia:** este tipo de bacterias también pueden originar fuertes corrosiones sobre todo en suelos piritosos, trabajan únicamente en el aire.
 - **Potencial de protección:** valor del umbral del potencial de corrosión que hay que alcanzar para entrar en el campo de inmunidad del material.
-

- **Tensión real del elemento:** Tensión de los metales unidos entre si, que puede ser medida después de la desconexión de los metales. Esto no es más que la diferencia entre los potenciales de corrosión de los materiales.
 - **SPT:** Sistema de Puesta a Tierra.
 - **ERB:** Estación Radio Base.
-

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo es de tipo documental, ya que la mayoría de los datos fueron extraídos de fuentes documentales primarias y secundarias. A respecto, Tamayo y Tamayo (2006), la define como: “La Investigación documental es aquella, que comprende la consulta, revisión y análisis de tipo bibliográficos, de los diversos autores referente a un tema en concreto.”

3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio es de tipo descriptivo porque el conocimiento a obtener del objeto de estudio de los investigadores es la descripción de elementos y procesos para la construcción del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en una caseta de telecomunicaciones (Radio Base).

A los efectos Balestrini (2004), define “una **investigación de tipo descriptiva** precisa de los componentes, elementos y características del proceso de investigación”. Esta definición fundamenta lo señalado anteriormente respecto al nivel de la investigación que se requiere.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El diseño utilizado en la presente investigación es de tipo bibliográfico, porque los datos requeridos debieron ser extraídos de fuentes referidas a normativas, reglamentos, modelos, informes y métodos de procedimiento que fueron necesario para su posterior análisis. Al respecto: Sabino, C. (1992), señala:

Cuando los datos a emplear han sido ya recolectados en otras investigaciones y son conocidos mediante los informes correspondientes nos referimos a datos secundarios, porque han sido obtenidos por otros y nos llegan elaborados y procesados de acuerdo con los fines de

quienes inicialmente los obtuvieron y manipularon. Como estas informaciones proceden siempre de documentos escritos, pues esa es la forma uniforme en que se emiten los informes científicos, damos a estos diseños el nombre de bibliográficos.

3.4 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas usadas en el presente estudio fueron las siguientes:

- Consulta bibliografía: consiste en la revisión de documentos escritos relacionados directamente con el tema investigado.
- Observación documental: la cual consiste en una lectura general de los textos, revistas, informes, etc., donde se tomaron los hechos presentes en los materiales escritos consultados que son de interés para esta investigación. A esta lectura inicial siguieron otras más detenidas y rigurosas de los textos, a fin de captar planteamientos esenciales y aspectos lógicos de contenido y propuestas a propósito de extraer los datos bibliográficos útiles para el estudio realizado. La aplicación de presentación resumida de un texto, permitió dar cuenta de las ideas básicas que contienen las obras consultadas.
- Fichaje: para el presente estudio se utilizó la técnica del fichaje con el fin de registrar todos los datos que fueron extraídos de la observación documental.

3.4.1 INSTRUMENTOS

Para la recolección de datos del presente estudio se utilizó como instrumentos:

La ficha: de tipo mixta, porque se requirió de organización de la información de varios aspectos relacionados con el procedimiento metodológico, a los cuales las autoras requerían. Igualmente la textual, ya que fue necesario recoger los datos tal cual lo plantea el autor.

3.5 METODO DE ANALISIS

Para el procesamiento de los datos documentales se utilizó el método de análisis de contenido, el cual KRIPPENDORFF, K. (1990), lo define como: “La técnica del análisis de contenido está destinada a formular, a partir de ciertos datos, inferencias reproducibles y válidas que puedan aplicarse a su contexto. Como técnica de investigación, esta herramienta proporciona conocimientos, nuevas intelecciones y una representación de los hechos, estos resultados deben ser reproducibles para que sea fiable.”

3.6 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para el presente estudio se procedió a cumplir con las siguientes etapas:

Etapas I: recopilar información técnica relacionada con las normas y reglamentos usados en Venezuela para el diseño de la puesta a tierra en los sistemas de comunicación.

Etapas II: clasificar la información en relación a como se deben desarrollar los diseños de puesta a tierra para una estación Radio Base.

Etapas III: desarrollo de los procedimientos actuales para la construcción del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en casetas de telecomunicación, además de la factibilidad de un diseño estandar.

Etapas IV: realizar el manual de construcción de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas para una caseta de telecomunicación (Radio Base).

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.1 EVALUAR LOS PROCEDIMIENTOS ACTUALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN CASETAS DE TELECOMUNICACIONES.

La evaluación de los procedimientos se centrará básicamente en el estudio del informe de ejecución del Sistema de Puesta a Tierra de las R/E Laguneta, Topo Copeton, Terepaima y Begotes, caso concreto R/E Laguneta, de la empresa EDELCA ubicada en los Teques, Sector Lagunetica, Edo Miranda. Es importante destacar que la Radio-Estación bajo estudio se encuentra ubicada en un área de montaña donde existen otras estaciones de telecomunicaciones.

En el sistema de puesta a tierra de la Radio Estación se encontraron a la vista 2 barras química, una boca de visita con una barra Copperweld.

4.1.1 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA RADIO ESTACIÓN

Se encontró que no fue posible destapar las barras químicas del sistema debido a que el diámetro de las bocas de visitas [*] en donde se encuentran ubicadas no es lo suficientemente amplio para poder remover los pasadores que permiten destapar dichas barras lo que dificulta que se realice el mantenimiento adecuado.

Las barras copperweld se encuentran conectadas al sistema mediante conectores y no por medio de soldadura exotérmicas, para garantizar una buena conexión en un sistema de puesta a tierra, los estándares internacionales para el área de protecciones eléctricas en un Centro de Telecomunicaciones y sus equipos asociados recomiendan el uso de las conexiones exotérmicas

debido a que las mismas presentan una altísima conductividad ya que el paso de la corriente se produce sin discontinuidad eléctrica, proveen muy baja impedancia, poseen de 20 a 30 años de garantía por conexión, se pueden usar entre conductores y barras de diferentes calibres y son de bajo mantenimiento.

4.1.1.1 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LAS TORRES

La torre 1 de 12 mts se encuentra conectada al SPT en sus cuatro soportes (patas) por medio de conductores de cobre calibre 2/0 y conectores tipo zapato, este tipo de conexión no garantiza la continuidad adecuada ante eventos transitorios del tipo descarga atmosféricas, siendo lo recomendado usar uniones exotérmicas.

4.1.1.1 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tanto bajante de la torre 1 como el de la torre 2, se encuentran anclados con conectores tipo perro directamente a la torre y no debidamente aislados de esta, pudiendo crear caminos de corriente a través de la torre y transferencia de potencial a la misma.

4.1.1.3 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LAS PANTALLAS DE LAS GUÍAS DE ONDA

La torre 1 (12mts.) posee una MGB a 3 metros de altura, observándose que la misma se encuentra aislada de la torre de manera efectiva mediante dos aisladores tipo AB-R en donde la resina de los aisladores se encuentra cubierta de pintura, disminuyendo su nivel de aislamiento. La MGB se encuentra conectada al sistema en dos puntos, en uno de los puntos a través de un conductor con chaqueta mediante un conector 2 ojos y en el otro punto a través de un conductor de cobre desnudo calibre 2/0 mediante un conector 1 ojo. El conductor desnudo se encuentra cubierto con la misma pintura de la torre, creando un falso contacto con la misma. En este caso solo debería

haber una conexión a tierra ya que de esta forma se eliminan caminos de retorno para corrientes parásitas.

La base de la bandeja porta cables tanto de la torre 1 como de la torre 2 (30 mts.) no se encuentran conectadas al arreglo de puesta a tierra, pudiéndose generar diferencias de potencial entre las bandejas y las guías, lo correcto sería la conexión de las mismas al sistema de puesta a tierra.

4.1.1.4 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LA CASETA DE TELECOMUNICACIONES

La caseta de telecomunicaciones no se encuentra conectada al sistema de puesta a tierra estructuralmente, es decir, la estructura de refuerzo (cabillas de las columnas y vigas) no han sido equipotencializados con el sistema de puesta a tierra.

4.1.1.5 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS, RACK, ESCALERILLAS, ETC.

En el interior de la caseta de telecomunicaciones existe una MGB principal conectada al arreglo de puesta a tierra mediante un conductor de cobre calibre 2/0 AWG a través de un conector de dos ojos. El conductor de tierra llega a la caseta a través de una tubería, de esta barra se derivan las conexiones de puesta a tierra de los racks y de las carcasas de algunos equipos electrónicos existentes en la sala.

Además se observó la existencia de una MGB ubicada en el interior de la caseta y la MGB de una de los racks, la cual se encuentra conectada directamente al sistema de puesta a tierra mediante un conductor de cobre desnudo calibre 2/0 que llega a la caseta de telecomunicaciones por la misma tubería que llega la conexión de la barra principal de dicha caseta. La existencia dentro de la caseta de dos barras equipotencializadoras con conductores propios a tierra ocasiona que se

cierren anillos a través de algunos equipos lo cual puede generar daños severos a los mismos productos de la circulación de corrientes parásitas a través de ellos. La barra MGB racks debe estar conectada al sistema a través de la MGB principal de la caseta y no de manera independiente.

Algunas de las carcasas de los equipos electrónicos, los marcos de las puertas, las tuberías para las canalizaciones eléctricas, la carcasa de aire acondicionado y las escalerillas no se encuentran conectados al sistema de puesta a tierra, lo cual genera diferencias de potencial hacia los mismos. También se pudo apreciar que el conductor con chaqueta verde presenta un empate con el conductor desnudo mediante un conector tipo KS; el conductor original de puesta a tierra con chaqueta verde, el conductor desnudo y la continuación del conductor de tierra son tres cables de calibre diferentes, además el compresor KS no brinda una compresión mecánica firme.

El conductor desnudo puede causar interferencia electromagnética al producirse un falso contacto con alguno de los racks o equipos electrónicos cercanos.

4.1.1.6 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DEL CUARTO DE BATERÍAS

En el cuarto de baterías existen tres racks de baterías, uno con 24, otro con 12 y otro con 6 baterías, ninguna de las bases de los rack de las baterías se encuentra conectada al sistema de puesta a tierra, además el conductor verde destinado a la conexión efectiva a tierra de la base del rack de 6 baterías se encuentra suelto en el suelo.

4.1.1.7 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DEL CUARTO DEL GENERADOR.

En el cuarto del generador se emergencia se encontró una barra MGB a 2 metros de altura fijada de la pared, la barra se encuentra conectada al sistema de puesta a tierra mediante un conductor de cobre calibre 2/0 AWG que llega por una tubería.

La carcasa del generador de emergencia se encuentra conectada al sistema de puesta a tierra, mientras que algunas de las partes metálicas existentes en el interior del cuarto del generador de emergencia, como la base del rack de baterías y la carcasa del transfer, del cargador de baterías y del tanque de combustible primario no se encuentran conectadas al sistema.

4.1.1.8 CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA DE DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CASETA

El sistema eléctrico se encuentra conectado a tierra a través del tablero principal de la caseta. El tablero principal de la caseta se encuentra en posición normal, no tiene barra de tierra y posee una barra de neutro conectada mediante conductor calibre 4. La carcasa del tablero no se encuentra puesta a tierra.

La conexión del tablero al sistema de puesta a tierra es a través de un conductor calibre 4 mediante un conector tipo KS. Toda la canalización eléctrica para la distribución de conductores en el interior de la caseta es por tuberías metálicas y no presentan conexión al sistema de puesta a tierra.

4.1.2 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.1.2.1 SISTEMA DE ATRACCIÓN DE RAYOS (PARARRAYOS)

La torre 1 es de 12 metros de altura y en su tope se encuentra una punta franklin, del tipo tridente de 15 centímetros de largo, sujeta por un mástil de 50 cm. de altura. La torre 2, es de 30 metros y en su tope se encuentra una punta franklin de 15 cm. de largo sujeta por un mástil de 1 m de altura.

Se pudo observar que la punta del pararrayos de la torre 2 no está lo suficientemente elevada como para apantallar la antena que se encuentra en la torre, y

el vértice opuesto en el que se encuentra ubicado dicho pararrayos. Se debe corregir esta falla realizando un nuevo sistema de apantallamiento.

4.1.2.2 BAJANTE DEL SISTEMA

En ambas torres la punta franklin se conecta al sistema de puesta a tierra mediante un conductor desnudo de cobre calibre 2/0 AWG, el cual baja por un vértice de la torre, para ambas torres los bajantes se encuentran anclados mediante conectores tipo perro directamente y no debidamente aislados de ésta, pudiendo crear caminos de corriente a la través de la torre y transferencia de potencial a la misma.

4.1.2.3 CONEXIÓN AL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La conexión del bajante al sistema de puesta a tierra es por medio de soldaduras exotérmicas.

4.1.3 CONCLUSIONES

Las condiciones en las que se encontraban las uniones del sistema de puesta a tierra no son las recomendadas, se debe realizar el diseño de un sistema de puesta a tierra adecuado para este tipo de instalaciones que le permita a la radio estación mantener un nivel de referencia cero ante cualquier perturbación que pueda ocurrir en el mismo.

Se recomiendo ejecutar las recomendaciones expuestas con el fin que la R/E cumpla los estándares de protección y calidad existentes a nivel mundial, así como la revisión periódicamente de los supresores de potencia con el fin de verificar su estado de operación, en el caso de daño en alguno debe reemplazarse a la brevedad posible.

Se recomienda la elaboración y ejecución de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la R/E con el fin de mantener la misma en condiciones óptimas de operación.

4.2 IDENTIFICAR LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA ACTUALES USADOS EN VENEZUELA PARA LAS ESTACIONES RADIO BASE PARA ANALIZAR LAS DIFERENCIAS Y SIMILITUDES DE LAS NORMATIVAS QUE LOS RIGEN.

En Venezuela existen diversas empresas que trabajan con sistemas de telecomunicaciones como por ejemplo MOVISTAR, CANTV, MOVILNET, así como empresas que requieren de estos sistemas para su comunicación interna, como PDVSA, CVG EDELCA, CORPOVEN, etc.; las cuales tienen normativas propias para la construcción de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas, todas éstas basadas en normas internacionales que cumplen con lo requisitos mínimos de seguridad para la protección del personal y equipos. A continuación se describirán los principales aspectos que conforman las normas para puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de las empresas MOVISTAR y CORPOVEN, con el fin de analizar sus semejanzas y diferencias

4.2.1 NORMAS DE INSTALACIÓN PARA PROTECCIONES RADIOLECTRICAS, Y ATERRAMIENTOS DE LA EMPRESA CORPOVEN.

4.2.1.1 ANILLO PRINCIPAL DE PUESTA A TIERRA

Diseñado de acuerdo a la resistividad del terreno. Puede ser de tres tipos, anillo circular, que rodea la estructura o edificio, en “L” ó en “U”, los cuales cubren solo parte del edificio cuando existen obstrucciones que no permiten colocar un anillo completo. Está constituido por un conductor de cobre, estañado, sólido, desnudo, calibre # 2 AWG. (Ver figura 4.31)

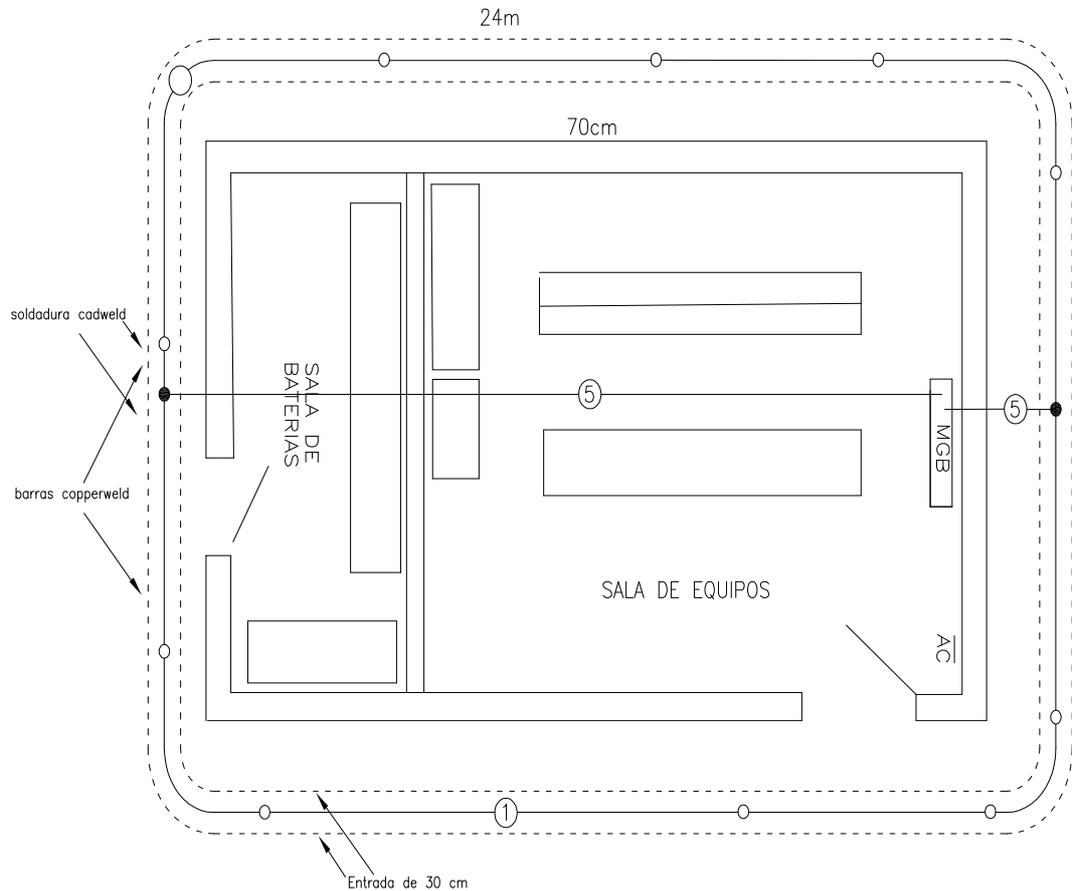


Fig. 4.31 Anillo principal de aterramiento

Fuente: Normas Corpoven

4.2.1.2 BARRA PRINCIPAL DE PUESTA A TIERRA Ò MGB (MASTER GROUDN BAR)

Es una barra de cobre electrolítico con orificios para fijar a la misma terminal de doble ojo, sirve como punto de terminación principal del sistema de puesta a tierra. Puede tener diferentes dimensiones, dependiendo de los requerimientos de la central. En caso de necesitarse mayor capacidad se colocará una barra auxiliar de aterramiento. (Ver figura 4.32)

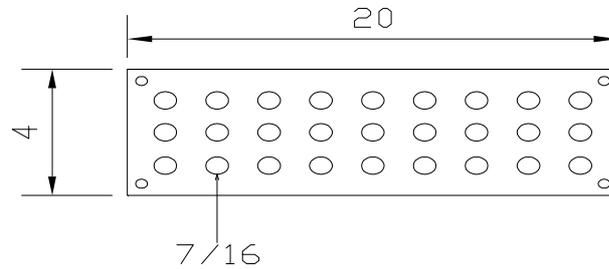


Figura 4.32 Dimensiones en pulgadas de la MGB

Fuente: Normas Corpoven

Cuando se conectan las líneas a la MGB se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Limpiar la superficie de contacto entre los conectores y la MGB.
- Aplicar una capa delgada de grasa antioxidante.
- Etiquetar las líneas con el número que las identifica.
- Todas las conexiones de la MGB se deben realizar con terminales de cobre de dos orificios. Pueden hacerse a ambos lados de la barra.

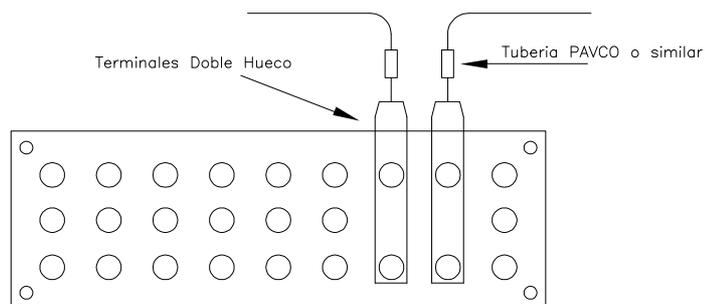


Figura 4.33 Conexiones de las líneas a la MGB

Fuente: Normas Corpoven

4.2.1.3 ANILLO INTERIOR DE PUESTA A TIERRA DE LA CASETA.

Este anillo está formado por un conductor de cobre, aislado calibre # 2 AWG, que recorre el interior de la caseta de equipos. Debe ubicarse a una distancia mínima de 30 cm. del techo, con aisladores de porcelana separados entre sí una distancia mínima de 1 m.

Los extremos del anillo se conectarán a la MGB mediante un terminal de doble ojo. El anillo interior de la caseta deberá presentar curvas suaves en las esquinas teniendo las mismas un radio no menor de 20 cm.

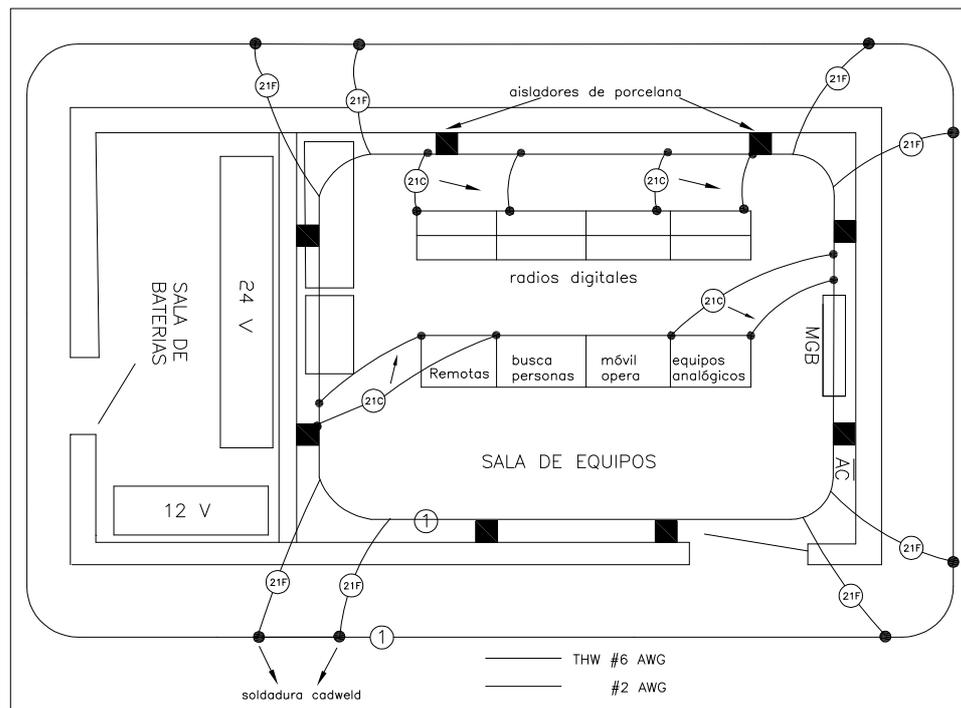


Figura 4.34 Anillo interior de puesta a tierra de la caseta

Fuente: Normas Corpoven

4.2.1.4 PUESTA A TIERRA DE LAS TORRES

Si la torre es autoportada se debe conectar al anillo de tierra de la torre (línea 1) cada una de las patas, antenas, guías de ondas y cables coaxiales a través de la CGB (Barra de aterramiento de coaxiales). Además del sistema de balizaje y de tierra del pararrayo.

Si se trata de torres venteadas de gran altura, con vientos separados más de 20 m de la línea principal de puesta a tierra, a cada anclaje se le hará su propio anillo de tierra que lo rodee.

Es necesario destacar que ninguna de las antenas ubicadas en la torre deberá sobresalirse del cono de la sombra del pararrayos.

4.2.1.5 BAJANTE DEL PARARRAYOS.

Esta línea baja desde el sistema de pararrayos y se conecta al anillo de tierra. El conductor a utilizar es de cobre desnudo, sólido y estañado, calibre # 2 AWG. El mismo está conectado a presión dentro del pararrayos y se fija a la estructura de la torre utilizando aisladores de porcelana. Estas uniones se hacen cada 2.5 m aproximadamente

4.2.2 NORMATIVAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMA DE PUESTA TIERRA DE LA COMPAÑÍA MOVISTAR.

A continuación se presenta los principales aspectos del diseño de puesta a tierra de la compañía MOVISTAR.

4.2.2.1 ATERRAMIENTO DE LAS TORRES

Las torres deben estar unidas al anillo de aterramiento de las torres (un anillo que bordee la torre), el cual debe estar conectado en al menos un punto al anillo externo de la instalación.

El anillo de la torre debe estar conectado al anillo de la caseta justa debajo del trayecto de las guías y se realizará una segunda conexión entre anillos en caso de querer tener redundancia en el sistema de aterramiento.

Con esta conexión la instalación estará protegida con un sistema perimetral de tierra que forma un plano equipotencial. Todas las piezas metálicas que se encuentren en la instalación como escalerillas, soportes, guías, aires acondicionados, rejas, cobertores de ventanas, generador, así como la barra de aterramiento interno debe estar conectado por lo menos en algún punto al anillo exterior de aterramiento.

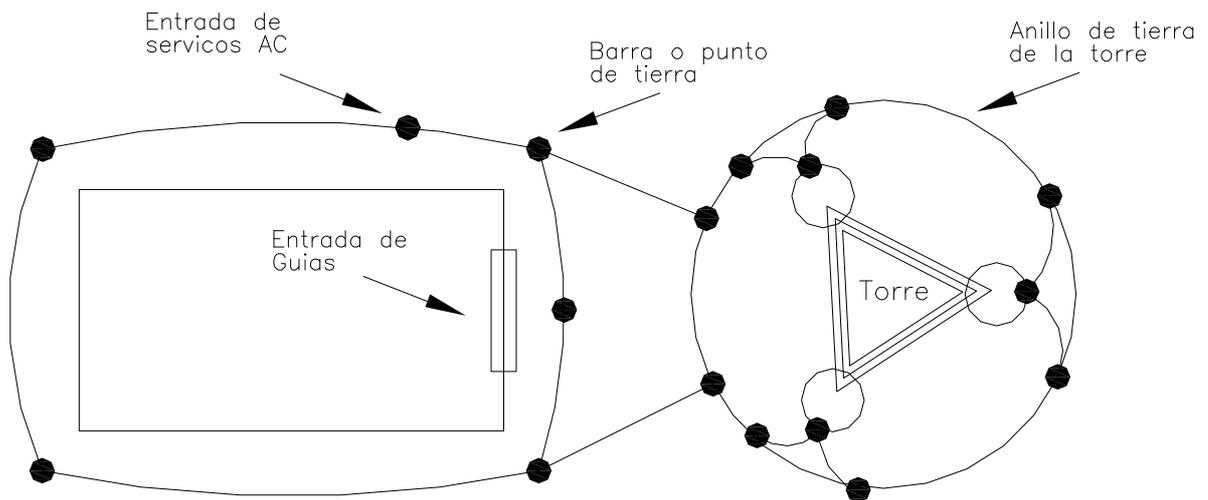


Figura 4.35 Anillo de aterramiento externo

Fuente: Normas Movistar

4.2.2.2 BARRA PRINCIPAL DE ATERRAMIENTO

Es el área donde terminan las conexiones a tierra provenientes de los equipos, guías, etc. Físicamente es una barra de cobre con huecos que tiene una configuración que permite soportar conexiones del tipo doble ojo.

En exteriores es necesaria una barra de aterramiento conectada en el punto donde las guías entren al shelter, edificio, áreas, etc. Esta barra debe ubicarse lo más cerca posible a la ventana de acceso de manera que permita la conexión de las líneas de transmisión que se encuentran en la parte superior de la misma. Esta barra estará conectada a un punto de tierra del anillo exterior con un conductor # 2 AWG o mayor de cobre que posea una chaqueta de color verde, además de ir por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde.

Cada conexión a la barra de tierra debe estar cubierta en los puntos de contacto con grasa antioxidante y no se debe colocar más de un conector en cada hueco de la barra. En caso de que no exista espacio disponible en la existente se debe colocar la cual debe estar eléctricamente al anillo exterior y a la barra principal.

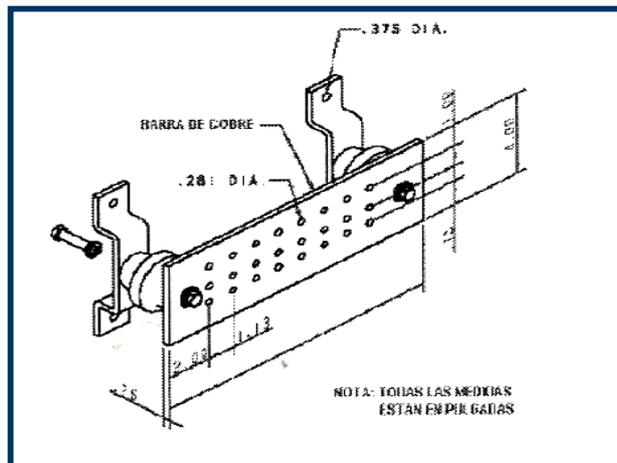


Figura 4.36 Barra de aterramiento (MGB)

Fuente: Normas Movistar

4.2.2.3 ATERRAMIENTO EN INTERIORES

El sistema de aterramiento interno debe estar conectado al menos en un punto al anillo exterior. Esta conexión debe ser con un conductor de calibre #2 AWG o mayor que posee una chaqueta de

color verde. La penetración a las paredes debe hacerse con un ángulo de 45° para evitar curvaturas bruscas en el recorrido del conductor.

4.2.2.3.1 ANILLO DE ATERRAMIENTO DE LA CASETA

El propósito principal del anillo es proveer un trayecto de aterramiento para periféricos o aparatos de soporte dentro del sistema de comunicaciones o áreas de equipos. Está formado por un conductor calibre # 2 AWG o mayor con chaqueta de color verde y debe instalarse de tal manera que rodee el interior del shelter o caseta donde estén instalados los equipos. Ambas puntas del anillo se deben conectar a la barra de aterramiento interno. Este anillo debe estar instalado a 2,43 mts desde el piso y 15,24 cm. debajo del techo.

Al anillo deben conectarse todas las piezas metálicas de equipos secundarios que se encuentren dentro de la instalación, como son: puertas y marcos metálicos, tableros de breakers, soportes de aire acondicionado, etc. Todas estas conexiones deben hacerse con un conductor calibre # 6 AWG e igualmente con chaqueta de color verde.

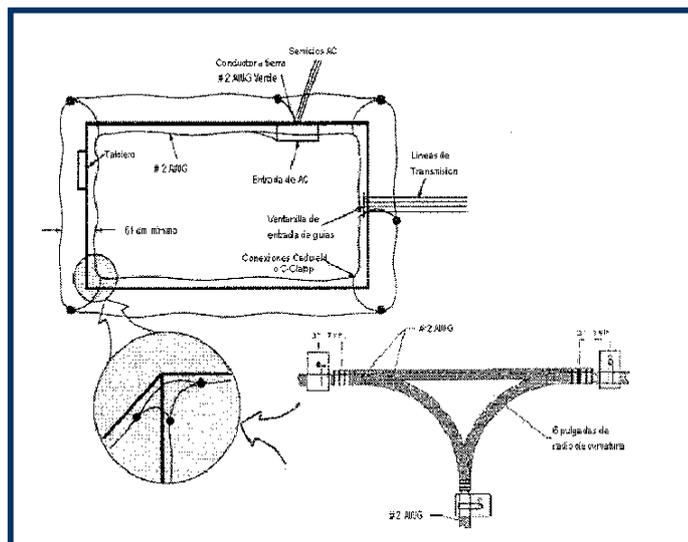


Figura 4.37 Anillo de aterramiento interno

Fuente: Normas Movistar

4.2.2.3.2 ATERRAMIENTO DE EQUIPOS UBICADOS EN RACKS.

Las partes descubiertas de equipos fijos, no destinadas a transportar corrientes y que tengan probabilidades de entrar en contacto con partes activas bajo tensión en condiciones anormales, serán puestas a tierra cuando exista cualquiera de las conexiones especificadas a continuación:

- Cuando estén dentro de una distancia de 2,40 m verticalmente o de 1,50 m horizontalmente de la tierra, o de objetos metálicos puestos a tierra y expuestos a contactos de personas.
- Cuando estén instalados en lugares mojados o húmedos y no estén aislados, como por ejemplo en torres.
- Cuando estén en contacto eléctrico con metales.
- Cuando se cumplan algunas de las condiciones anteriores los equipos deberán conectarse a tierra. Esta conexión debe hacerse a la barra de tierra del rack que soporta al equipo mediante un conector de chaqueta verde y un calibre sugerido por el fabricante.

4.2.3 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

La presencia de una antena y su estructura de soporte puede que no incremente la probabilidad de que caiga un rayo en una localización en particular. Sin embargo, si el sitio o el área circundante es alcanzado por un rayo, la antena y su estructura soporte puede convertirse, en el punto focal del rayo. Por lo tanto las consideraciones de puesta a tierra para protección de las estaciones radioeléctricas son extremadamente importantes.

Deben colocarse puntas de pararrayos en la parte más alta de las torres y soportes, las mismas serán de un material adecuado que permita atraer al rayo sin que este cause daño alguno a las antenas y equipos que se encuentren en las estructuras.

Las puntas de pararrayos deben tener por lo menos 45,72 cm. de separación vertical de las antenas o equipos a ser protegidos ubicados en la torre o estructura que lo soporta. Debe colocarse un conductor de pararrayos de calibre # 2 AWG o mayor que este conectado directamente al anillo de aterramiento de la torre mediante una soldadura exotérmica.

4.2.4 CONCLUSIONES

Después de estudiar los aspectos más resaltantes de las normas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de las empresas MOVISTAR y CORPOVEN, se puede concluir que las mismas presentan similitud en cuanto a la ejecución del diseño de puesta a tierra para estaciones radio base, ya que en ambas se usan los mismos criterios en cuanto a los componentes principales del sistema, como son el anillo principal, el anillo interno de la caseta, barra principal de aterramiento, aterramiento de equipos, torres, etc.

En cuanto a sus diferencias se puede señalar las que se refieren a aspectos como tipo de conductor, calibre, como por ejemplo en el caso de la norma de MOVISTAR los conductores deben ser de chaqueta y según la norma CORPOVEN los mismos se usan desnudos. Además de presentar diferencias en aspectos como dimensiones de las MGB, formas de instalación, entre otros.

A pesar de que existen similitudes también se debe tener en cuenta las diferencias entre ellas, por lo que se propone la unificación de criterios mediante la elaboración de un manual para la ejecución de sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas en estaciones radio base.

PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA

5.1 ELABORACIÓN DEL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA ESTACIONES RADIO BASE.

En las estaciones radio base se hace evidente la importancia de un efectivo sistema de puesta a tierra, siendo este al que se le confía la seguridad personal y la protección de equipos que son fundamentales para una satisfactoria operación de la estación.

Durante el diseño de un SPT se requiere conocer las características del sistema de comunicaciones eléctricas y electrónicas, del banco de transformación, del comportamiento de las descargas atmosféricas y señales electromagnéticas que pueden causar corrientes que deban ser drenadas a tierra. Así como también se debe conocer el funcionamiento de los electrodos del SPT, en lo referente a la resistencia presentada por el complejo al paso de la corriente. Algunos problemas que se presentan al diseñar el SPT es el área disponible para su instalación, ya que puede haber otras construcciones aledañas que pueden causar problemas o que pueden interferir en el funcionamiento del mismo.

Por lo tanto, se debe tener en cuenta que no se deben usar las estructuras o construcciones cercanas a la instalación como electrodos auxiliares de puesta a tierra, ya que pueden transportar gradientes de potencial que pueden ocasionar daños al sistema.

La resistividad del terreno donde se realizará la instalación es un factor determinante del SPT, ya que a través de este se determina la resistencia del terreno y la diferencia de potencial que se verificará durante la circulación de una corriente de falla. El estudio de las características del terreno permitirá saber si su formación geológica es adecuada para introducir electrodos verticales, o si existe una formación rocosa que limite o impida esta configuración, lo cual conlleva al uso de electrodos horizontales u otros métodos. La resistencia de tierra que ofrezca el

arreglo de la configuración anterior, al paso de la corriente de falla dependerá de la geometría de la configuración y la resistividad del terreno. Las configuraciones más usadas, son el arreglo en forma de triángulo o de rectángulo. La magnitud de la resistencia debe ser la más baja posible [4].

Para dimensionar un SPT se debe tomar en cuenta la solución de los siguientes problemas:

- Dimensionar y seleccionar los electrodos adecuados con relación a la resistencia de tierra, de acuerdo a las características del terreno circundante.
- Calcular los electrodos de la instalación sobre la base de la máxima corriente de falla que se pueda esperar, se debe calcular tomando en cuenta el nivel cerámico de la zona.

Los sistemas de puesta a tierra se deben controlar y comprobar a través de mediciones, después de haber ejecutado la instalación, esto se realiza con el fin de garantizar que este sea eficiente y cumpla con las exigencias del diseño.

5.1.1 FUNDAMENTOS DE DISEÑO DEL SPT

La propuesta se fundamenta en el estudio realizado de la revisión teórica desarrollada durante la investigación, donde se observaron los problemas presentes en las estaciones radio base debido a la incorrecta aplicación de las normas en la construcción del SPT.

El diseño propuesto está basado en una estación radio base con caseta de comunicación de tipo indoor, que contiene sala de equipos, sala de generador, sala de baterías y sala de electricidad, tanque de combustible, y una torre autosoportada (ver anexo 2) de 60 m, se debe destacar que este valor no es limitante para el SPT, solo es un valor de referencia, también es importante resaltar que existen estaciones radio base con torres de tipo venteadas (ver anexo1), para la cual

el diseño del SPT es igual que para el caso en estudio salvo que se diferencian en que en las torres de tipo venteada se deben conectar al anillo principal de puesta a tierra cada uno de los vientos que soportan a dicha torre.

A continuación se describirán los pasos a seguir para la elaboración del procedimiento metodológico del SPT y protección contra descargas atmosféricas basados en las Prácticas GTE de Sistemas de Puesta a Tierra, pero antes se hará mención a las definiciones básicas para el uso del manual.

5.1.1.1 DEFINICIONES

- **AWG (American Wire Gauge):** Sistema estándar de EE.UU. para designar el calibre o diámetro de los conductores.
 - **BARRA “COPPERWELD”:** Barra de acero recubierta por una capa de cobre, usada como elemento de puesta a tierra en los sistemas de protección eléctrica de las redes telefónicas.
 - **BARRA “CVGB” (Barra de Puesta a Tierra de Fosa de Cables):** Barra de cobre con las mismas características que las barras MGB y FGB, ubicada en las fosas de cables de la edificación.
 - **BARRA “ECPGB” (Barra de Puesta a Tierra Protectores del Distribuidor Principal):** Barra de cobre colocada horizontalmente en el tope o en el fondo del chasis del Distribuidor Principal (MDF) o en el chasis protector del distribuidor.
 - **BARRA “FGB” (Barra de Puesta a Tierra Auxiliar o de Piso):** Barra de cobre de iguales dimensiones que la barra MGB, que sirve como punto de terminación y conexión de las guías de puesta a tierra localizadas en los pisos de la edificación.
 - **BARRA “MGB” (Barra Principal de Distribución de Puesta a Tierra):** Barra de cobre ubicada en el nivel más bajo de la edificación, en la cual se conectan las diferentes guías del sistema de puesta a tierra.
-

- **BARRA “TGB” (Bajante para cables de guías de ondas):** Barra de cobre ubicada desde el nivel más alto de la antena hasta el final. Para dicha barra se usan tramos cada 3 mts, los cuales son unidos a través de soldaduras, por esta barra bajan los cables de guías de onda hacia la MGB.
 - **CHED ROM:** El ched rom es un electrodo de tierra activado químicamente, de muy baja resistencia y baja impedancia.
 - **CONDUCTOR DE TIERRA:** Conductor que asegura la unión eléctrica entre un punto de la red (estructura metálica o elemento cualquiera del sistema telefónico) con la toma de tierra utilizada.
 - **CIRCULAR MIL:** Unidad para medir la sección transversal de los conductores eléctricos, en el sistema AWG. Un Circular Mil corresponde al área de un círculo que tiene por diámetro una milésima de pulgada.
 - **ECUALIZADOR HORIZONTAL:** Es conductor de cobre trenzado desnudo clase B, de calibre lo suficientemente grande para soportar la corriente de cortocircuito.
 - **ECUALIZADOR VERTICAL:** Es conductor de cobre trenzado desnudo clase B, de calibre lo suficientemente grande para soportar la corriente de cortocircuito.
 - **ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA:** Elemento conductor enterrado en el suelo, usado para drenar o dispersar las corrientes eléctricas por el terreno.
 - **EQUIPOTENCIACIÓN:** Efecto de igualar los potenciales referenciales de puesta a tierra de los equipos o de las partes de un circuito, mediante un punto único de conexión a tierra.
 - **GRASA ANTIOXIDANTE:** Es un compuesto para unión con base de cobre utilizada para lubricar y asegurar la continuidad en conexiones a barra y/o terminales de aluminio-aluminio o cobre-aluminio.
 - **GROUND KITS:** Son conectores diseñados especialmente para permitir el contacto eléctrico entre los conductores externos (guías de ondas y cables, coaxiales) y cualquier parte del bajante de la torre, para así formar un camino efectivo a tierra.
 - **GUÍAS:** Cables o conductores que sirven de interconexión del sistema de puesta a tierra en las radio bases.
-

- **KCMIL:** unidad que se usa para medir el área de un conductor en áreas de circular mil.
 - **MDF (Main Distribution Frame/Distribuidor Principal):** Estructura metálica que contiene las regletas horizontales, las cuales conectan todas las extensiones y enlaces que provienen de la central de conmutación; las regletas verticales, las cuales conectan la red de cables de planta externa, y los hilos “Jumpers” que interconectan las regletas horizontales con las regletas verticales.
 - **PUESTA A TIERRA:** Conexión metálica directa entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo.
 - **TERMINAL DE COMPRESIÓN:** Conector terminal que se fija en los extremos de los conductores mediante la aplicación de una presión mecánica.
 - **THW (Thermoplastic Heat Wet):** Es un tipo de aislante de termoplástico resistente a la humedad y al calor y retardante de la llama, el cual soporta hasta una temperatura de 75°.
 - **TENSIÓN DE CONTACTO:** La tensión de contacto es la diferencia de potencial entre un punto de la superficie sobre el que se encuentra parada una persona y el de una estructura puesta a tierra que la persona esté tocando con las manos.
 - **TENSION DE PASO:** La tensión de paso es la diferencia de potencial en la superficie que experimenta una persona uniendo con sus pies una distancia de 1 metro, sin tocar ninguna otra estructura puesta a tierra.
 - **SOBREVOLTAJE:** Voltaje transitorio que se produce en un sistema eléctrico en condiciones de servicio.
 - **SOLDADURA EXOTERMICA:** El proceso de soldadura exotérmica es un método utilizado para hacer conexiones eléctricas de cobre a cobre o de cobre a acero, en el cual no se requiere una fuente externa de calor o energía. En dicho proceso metales explosivos tales como óxido de cobre y de aluminio colocados dentro de un contenedor de grafito donde se hace la fusión. La reducción del óxido de cobre por el aluminio (reacción exotérmica) produce el derretimiento del cobre y
-

aluminio, lo cual a su vez produce el derretimiento del conductor quedando de esta manera soldado exotermicamente.

- **CONEXION A COMPRESIÓN:** Producen buenas conexiones ya que presentan alta conductividad, proveen baja impedancia, son de larga duración, se puede utilizar con conductores sólidos o trenzados.
- **SOLDADURA MECÁNICAS:** Son conexiones poco confiables ya que presentan baja conductividad, proveen alta impedancia en comparación con las de compresión, son de corta duración, necesitan ser ajustados y además requieren de mantenimiento frecuente.

Luego de las definiciones básicas continuaremos con la descripción de los componentes y criterios esenciales para la ejecución del SPT, los cuales son los siguientes:

5.1.1.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN

La medición de la resistividad del terreno se debe realizar en donde se va a ubicar la estación radio base. En el Anexo 3 se indica el método sugerido por los autores para las mediciones de la resistencia de puesta a tierra y de la resistividad del suelo, el cual es el método de los cuatro puntos o de “Wenner”.

5.1.1.3 CRITERIOS Y MÉTODOS DE CÁLCULOS

En el Anexo 4 se indican los criterios a considerar y fórmulas a utilizar en el diseño del electrodo principal del sistema de puesta a tierra.

5.1.1.4 COMPONENTES DE LA RADIO BASE

Las estaciones radios bases están compuestas por lo siguiente: una sala de equipos que contiene equipos como convertidores, rectificadores, radios, equipos de transmisión, sala de baterías, sala de generador y sala de electricidad, tanque de combustible, y en su parte externa se encuentran las antenas. Se recomienda la realización de un inventario de todos estos componentes o equipos a usar en la radio estación con la finalidad de establecer su protección en el SPT.

5.1.1.5 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA INSTALACIÓN DE LAS GUÍAS DE PUESTA A TIERRA

A continuación se señalan algunos aspectos a considerar para la instalación de las Guías de Puesta a Tierra:

- El radio mínimo de curvatura para los conductores de puesta a tierra deberá ser de:
 - Seis (6) pulgadas (0,15 m) para conductores hasta calibre N° 6 AWG.
 - Doce (12) pulgadas (0,30 m) para conductores desde calibre N° 6 AWG hasta 4/0 AWG.
 - Veinticuatro (24) pulgadas (0,60 m) para conductores mayores que 4/0 AWG.
 - Se deben evitar los grandes recorridos de los conductores de puesta a tierra, y su instalación debe ser lo más recto posible.
 - Los conductores de puesta a tierra nunca deben estar sujetos por abrazaderas metálicas, a excepción del conductor instalado dentro de una tubería de PVC.
 - Se debe proveer puntos de acceso (tanquillas) para las Guías N° 5, 25, 27 y 28, cuando se conecten a la Guía N° 1; esto permitirá la medición periódica de la resistencia de puesta a tierra.
 - Se debe proveer un mínimo de dos puntos de acceso (tanquillas) para la medición y pruebas de la resistencia de puesta a tierra.
 - Las guías de tierra se deben instalar sin empalmes o uniones intermedias.
 - Se deben etiquetar las guías en ambos extremos, identificando el número de la guía. Cuando aparezca más de una vez el mismo número de guía, el “**para**” y el “**desde**” deben ser identificados.
 - La canalización para las Guías Colectoras se debe realizar con tuberías de PVC, y en los puntos de conexión con las guías que van hacia los equipos se deben colocar cajas de “PVC” y en éstas realizar el empalme y derivar.
-

- En el caso de estaciones telefónicas donde estén instalados Furgones y Centrales Móviles, se podrá instalar la barra MGB en un machón de concreto ubicado a una altura de 1,5 metros cerca del machón de la acometida principal
- Las Guías N° 4, 8, y 13 se instalarán en la barra de tierra ubicada en la entrada de la acometida eléctrica o tablero principal, según sea el caso.
- En las torres de transmisión se utilizará la estructura de la torre como alternativa de bajante (no requiere conductor como medio de transmisión). Los cuatro apoyos o patas de la torre deben ser conectadas cada uno con dos (2) guías al anillo.

5.1.1.6 DESCRIPCION DE LAS GUIAS DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

La descripción de las guías se especifica en el anexo 5.

5.1.1.7 SUPRESORES DE TENSIÓN

Los supresores de sobretensión son equipos que protegen a las centrales telefónicas, estaciones de transmisión, móviles, etc., de perturbaciones provenientes de la red de energía eléctrica.

Estos protectores deben ser instalados en:

- a) El lado de la carga del tablero principal de entrada de AC.
- b) Los circuitos ramales de las luces de obstrucción (en torres).
- a) El lado de la carga de los generadores de emergencia (tablero de transferencia).
- b) Los circuitos externos del edificio.
- c) A una distancia no mayor de 1,2 m de su punto de conexión.

Los supresores pueden ser monofásicos, bifásicos o trifásicos. El supresor debe ser seleccionado de acuerdo al tipo de conexión del alimentador principal y se debe tener especial cuidado con los KVA instalados en el lugar.

5.1.1.8 BARRA PRINCIPAL DE PUESTA A TIERRA (MGB)

La barra principal de puesta a tierra MGB, es una barra de cobre que sirve como punto de terminación principal de las siguientes guías:

- Las guías de referencia a tierra.
- Las guías que reducen el ruido.
- Las guías que disipan las fallas.
- Las guías de tierra de seguridad.

Solo debe existir una sola barra MGB en toda la edificación.

La barra MGB está dividida en zonas de acuerdo a la característica de la guía conectada en ella, esto con el fin de reducir los efectos de las corrientes que transportan las mismas y su influencia sobre los diferentes circuitos (PANI). Las zonas son:

- **Productor (P):** Esta es la zona que conecta las guías más susceptibles de percibir ondas (como el anillo de la sala de radio). Estas guías son: 14C, 16, 16A, 17, 17B, 21, 23, 23A, 55, 56 y 61.
 - **Absorbedor (A):** Esta es la zona que conecta a las guías de gran calibre que transportan y disipan las ondas hacia el electrodo de tierra. Estas guías son: 5, 7, 10, 13, 14, 15, 18 y 19.
 - **Equipo de Tierra no Aislado (N):** En esta zona están conectados los equipos no aislados como las baterías, tableros AC, etc. Estas guías son: 14A, 20, 20A, 31, 37, 37A, 38, 38A, 40, 54, 57, 57A, 60, 64 y 65.
 - **Equipo de Tierra Aislado (I):** Son los equipos que forman parte de la tierra aislada. Estas guías son: 41, 41A, 47 y 53A.
-

Según el concepto P- A - N - I, lo más importante es mantener cada grupo de conectores en la zona correspondiente. (Ver figura 4.38)

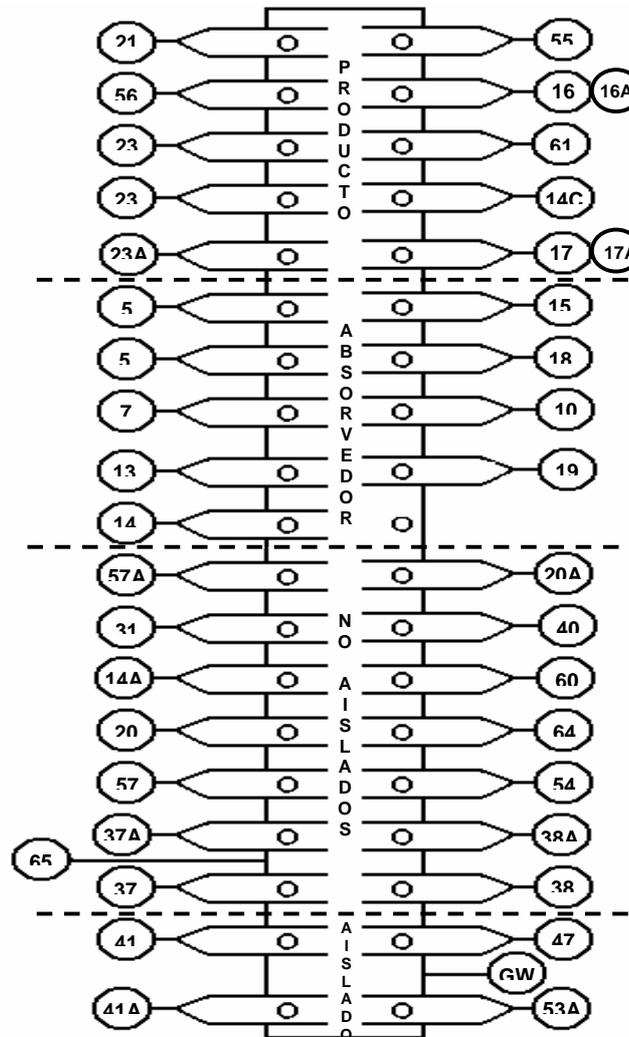


Figura 5.38. Configuración PANI

La barra maestra de puesta a tierra presenta las siguientes dimensiones:

- Longitud: 20" ó 40" (0,5 m ó 1 m).
- Ancho: 4" (10,16 cm.).
- Espesor: 1/4" (0,635 cm.).

La determinación de la longitud correcta está dada por:

- El tamaño del lugar.
- Los requerimientos de puesta a tierra.

Ubicación

- Se instalará a una altura entre 1,80 m a 2,20 m con respecto al piso.
- Esta barra de cobre debe estar ubicada preferiblemente en el nivel más bajo de la edificación, cerca del tablero principal.
- No debe estar conectada a ninguna guía para complementar un camino eléctrico con cualquier propósito.
- Debe estar lo más cerca posible a la alimentación de AC.
- Debe estar como mínimo a 0,6 m de separación del piso (no debe estar a distancias menores).
- No debe estar a más de 0,6 m de separación por debajo de los rieles portacables.
- No debe ser causa de peligro para seguridad.
- No debe interferir con la ubicación de otros equipos.
- No debe obstruir el paso hacia ningún equipo.
- Debe aparecer en los planos de la edificación.
- Debe aparecer en los planos de ubicación de equipos.
- Debe estar aislada de la pared por medio de aisladores.
- Debe estar zonificada.

Todos los terminales que sean conectados a esta barra deben ser de cobre tipo doble ojo. La conexión puede ser hecha a ambos lado, por arriba y por debajo de la barra.

5.1.1.9 BARRA DE PUESTA A TIERRA AUXILIAR O DEL PISO (FGB).

Es una barra de cobre. Sirve como punto de terminación principal de guías del sistema de electrodo de puesta a tierra en cada piso.

Las barras de puesta a tierra del piso FGB presentan las siguientes dimensiones:

- Longitud: 20" ó 40" (0,5 m ó 1 m).
- Ancho: 4" (10,16 cm.).
- Espesor: 1/4" (0,635 cm.).

Su ubicación debe ser la siguiente:

- Debe estar instalada a una altura de 2,40 m con respecto al piso.
- Si el área del piso supera los 60 m x 60 m ó 43 m lineales de separación de la MGB, se debe instalar una barra FGB.
- No debe estar conectada a ninguna guía para complementar un camino eléctrico con cualquier propósito.
- Debe estar como mínimo a 0,6 m de separación del piso (no debe estar a distancias menores).
- No debe estar a más de 0,6 m de separación por debajo de los rieles portacables.
- No debe ser causa de peligro para seguridad.
- No debe interferir con la ubicación de otros equipos.
- No debe obstruir el paso hacia ningún equipo.
- Debe aparecer en los planos de la edificación.
- Debe aparecer en los planos de ubicación de equipos.
- Debe estar aislada de la pared por medio de aisladores.
- Debe estar zonificada.

Todos los terminales que sean conectados a esta barra deben ser de cobre tipo doble ojo.

La conexión puede ser hecha a ambos lado y por debajo de la barra.

5.1.1.10 BARRA DE TIERRA DE LAS FOSA DE CABLES (CVGB)

Es una barra de cobre que conecta los conductores de tierra de la fosa de cables (Guías N° 16, 16A, 17 y 17A). Está ubicada en la fosa de cables. La barra de puesta a tierra de la fosa de cables (CVGB) presenta las siguientes dimensiones:

- Longitud: 20" ó 40" (0,5 m ó 1 m).
- Ancho: 4" (10,16 cm.).
- Espesor: 1/4" (0,635 cm.).

Todos los terminales que sean conectados a esta barra deben ser de cobre tipo doble ojo. La conexión puede ser hecha a ambos lados y por debajo de la barra.

5.1.1.11 BARRA DE PUESTA A TIERRA INTERMEDIA

Es una barra de cobre cuya función es la de dar continuidad eléctrica a la Guía N° 37, en los casos donde se requiere evitar el esfuerzo mecánico que ejerce el cable de puesta a tierra (Guía N° 37) sobre el poste de banco de baterías. Las dimensiones de esta barra deberán ser las siguientes:

- Largo = 6" (15,24 cm.)
- Ancho = 4" (10,16 cm.)
- Espesor = 1/4" (0,635 cm.)

Esta barra estará ubicada a una altura del piso igual a:

$$h = h_r + 10 \text{ cm.}$$

Donde:

h_r = Altura del rack del banco de baterías.

En la ubicación de la barra se debe considerar los siguientes aspectos:

- Se instalará en la sala de baterías y en la pared posterior al banco de baterías.
- No debe ser causa de peligro.
- No debe interferir con la ubicación de otros equipos.
- No debe obstruir el paso hacia ningún equipo.
- Debe aparecer en los planos de la edificación.
- Debe aparecer en los planos de ubicación de equipos.
- Debe estar aislada de la pared por medio de aisladores.

Todos los terminales que sean conectados a esta barra deben ser de cobre tipo doble ojo. La conexión puede ser hecha a ambos lado y por debajo de la barra.

5.2 ACTIVIDADES A SEGUIR PARA LA SUPERVISIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN ESTACIONES RADIO BASE CON EL FIN DE GARANTIZAR SU ADECUADO FUNCIONAMIENTO

Dentro de la ejecución de los SPT se hace indispensable una adecuada inspección por parte de la empresa contratante a la contratista encargada de la obra, ya que esto es un factor fundamental para hacer cumplir las normas de construcción del SPT y poder así garantizar un apropiado funcionamiento.

Es por lo antes expuesto que a continuación se expondrán los siguientes pasos a seguir a la hora de realizar una inspección.

- Conocer el tipo de radio estación a construir, además del sitio destinado para ello. Es importante destacar que la persona que realiza la inspección debe estar familiarizada con energía AC y DC, puesta a tierra y protección.
 - Familiarizarse con el manual de ejecución del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas para casetas de telecomunicaciones.
 - Solicitar a la contratista el plano ó croquis de la obra a realizar para dar inicio a la ejecución de la obra.
-

- Elaborar el croquis a mano alzada de los trayectos o guías a instalar, indicando trayectos especiales, ó posibles modificaciones si las hubiere.
 - Coordinar con la contratista las etapas de ejecución de la obra para que se habilite un tiempo prudencial para estas, esto se realiza con el fin de dar dinamismo a la ejecución del trabajo.
 - En la etapa inicial de la obra, que esta compuesta por la medición de la resistividad del terreno, la inspección debe solicitar a la contratista estos valores, con el fin de conocer la configuración del SPT, si el valor de resistencia tomado esta dentro de la norma, ó si es el caso, solicitar a la contratista la preparación del terreno, por medio de los métodos adecuados, con el fin de obtener el valor de resistencia según norma.
 - Inspeccionar que el material usado para la construcción del SPT sea de 1era calidad, asimismo que éste se encuentre adecuado a la norma
 - Emplear el formato de inspección del SPT (ver anexo 8), el cual comprende la cantidad de guías a instalar, su longitud, conexión y tipo de conductor empleado.
 - Usar la nota de campo (ver anexo 9), con el fin de informar sobre las observaciones sobre a correcciones, reparos, amonestaciones, paralización de la obra, evaluación de trabajos en obra, calidad de la instalación, violaciones o incumplimientos de la norma.
 - Revisar los lineamientos de seguridad que se deben emplear para este tipo de construcción, y garantizar que se cumplan durante la ejecución de la obra.
 - Verificar que se cumpla el tiempo de ejecución previsto.
-

CONCLUSIONES

Anteriormente a los sistemas de puesta a tierra no se le daba la importancia requerida. Hoy en día, el rápido avance de la tecnología en el ámbito de las telecomunicaciones ha permitido la aparición e implantación de equipos y sistemas digitales sumamente sofisticados en su concepción electrónica y por ende muy vulnerables ante las posibles interferencias a que pueden estar expuestos al coexistir con agentes de naturaleza electromagnéticas. Por lo cual, se hace necesario la implantación de un sistema adecuado de protección eléctrica, a fin de garantizar la seguridad tanto del personal que labora en las estaciones radio base, como de los equipos asociados; contribuyendo así a la disminución del ruido, lo que conlleva a la mejora en la calidad del servicio.

En consecuencia, se puede señalar que los sistemas de puesta a tierra tienen como finalidad conseguir que en el conjunto de las instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan peligrosas diferencias de potencial y al mismo tiempo permitir el paso a tierra de las corrientes de fallas ó las de descargas de origen atmosférico.

La puesta tierra se establece principalmente para limitar la tensión que con respecto a tierra se puedan presentar en un momento dado en las partes metálicas que constituyen la instalación, así mismo para asegurar el accionamiento de las protecciones y eliminar o disminuir el peligro que supone una falla en el aislamiento de la instalación.

Un sistema de protección eléctrica bien diseñado y debidamente ejecutado es necesario para disipar descargas a tierra antes de que entren a la instalación. Aunque es prácticamente imposible evitar que parte de una descarga ingrese a la instalación, se puede garantizar que la mayor parte de la misma sea drenada a tierra.

Es importante destacar que un sistema de puesta a tierra mal diseñado puede resultar en: operaciones erráticas de los equipos, ruidos en las líneas y circuitos, fallas prematuras de componentes, problemas de seguridad eléctrica, entre otros.

En otro orden de ideas, para el caso de estudio de la presente investigación, se encontraron diferentes problemas relacionados con el mal diseño de los sistemas de puesta a tierra que afectan la calidad de la energía, estos problemas fueron tomados como ejemplo del informe de ejecución del Sistema de Puesta a Tierra de las R/E Laguneta, Topo Copeton, Terepaima y Begotes, caso concreto R/E Laguneta, de la empresa EDELCA ubicada en los Teques, Sector Lagunetica. Edo. Miranda. A continuación se hará referencia a los problemas más resaltantes:

- **Conexión de puesta a tierra en las torres:** La torre 1 de 12 mts se encuentra conectada al SPT en sus cuatro soportes (patas) por medio de conductores de cobre calibre 2/0 y conectores tipo zapato, este tipo de conexión no garantiza la continuidad adecuada ante eventos transitorios del tipo descarga atmosféricas, siendo lo recomendado usar uniones exotérmicas.
 - **Sistema de puesta a tierra de la radio estación:** Se encontró que no fue posible destapar las barras químicas del sistema, debido a que el diámetro de las bocas de visitas en donde se encuentran ubicadas, no es lo suficientemente amplio para poder remover los pasadores que permiten destapar dichas barras; esto dificulta que se realice el mantenimiento adecuado. Las barras copperweld se encuentran conectadas al sistema mediante conectores y no por medio de soldadura exotérmicas, lo cual no garantiza una buena conexión en el sistema de puesta a tierra. Los estándares internacionales para el área de protecciones eléctricas en un centro de telecomunicaciones y sus equipos asociados recomiendan el uso de las conexiones exotérmicas debido a que las mismas presentan una altísima conductividad ya que el paso de la corriente se produce sin discontinuidad eléctrica, proveen muy baja impedancia, poseen de 20 a 30 años de garantía por conexión,
-

se pueden usar entre conductores y barras de diferentes calibres y son de bajo mantenimiento.

- **Conexión de puesta tierra de las pantallas de las guías de ondas:** La torre 1 (12mts.) posee una MGB a 3 metros de altura, observándose que la misma se encuentra aislada de la torre de manera efectiva mediante dos aisladores tipo AB-R en donde la resina de los aisladores se encuentra cubierta de pintura, disminuyendo su nivel de aislamiento. La MGB se encuentra conectada al sistema en dos puntos, en uno de los puntos a través de un conductor con chaqueta mediante un conector 2 ojos y en el otro punto a través de un conductor de cobre desnudo calibre 2/0 mediante un conector 1 ojo. El conductor desnudo se encuentra cubierto con la misma pintura de la torre, creando un falso contacto con la misma. En este caso solo debería haber una conexión a tierra ya que de esta forma se eliminan caminos de retorno para corrientes parásitas.

Es importante resaltar que los problemas antes descritos se deben a la mala ejecución del diseño del sistema y no a la puesta a tierra como tal, lo cual puede ser producto del desconocimiento por parte de los ingenieros electricistas, de la calidad de los materiales a usar en la obra o de la falta de supervisión a la misma por parte de la empresa contratante.

Por lo anteriormente señalado en cuanto a la descripción de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas, su finalidad y sus principales problemas se puede concluir que es necesario la elaboración de un manual de ejecución de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas, que tenga como fin el unificar criterios de las diferentes normas aplicadas en Venezuela, para ser usado como procedimiento metodológico en su construcción, además de servir como guía en la supervisión de la obra.

Debido al análisis de los problemas que presentan los sistemas de puesta a tierra y como afectan éstos a equipos y personal, se pueden señalar las siguientes recomendaciones:

- Diseñar los sistemas de puesta a tierra con valores de resistencia bajo, los cuales se debe encontrar por debajo de 5Ω , esto siempre y cuando el espacio físico existente y la capacidad del drenaje del terreno lo permita, de no ser así se debe de tratar de bajar al máximo el valor de la resistencia de puesta a tierra y agregar dispositivos de protección a la instalación.
 - Estudiar la existencia o no de agentes corrosivos en el terreno donde se va a instalar la puesta a tierra, a fin de evitar la pérdida de tierra por rupturas de los electrodos o conductores de la malla. En los casos que dichos agentes sean muy intensos, se recomienda utilizar protección catódica.
 - Después de establecido el sistema de aterramiento, se debe generar un programa de mantenimiento periódico preventivo y predictivo del sistema, para conservar sus propiedades, específicamente el valor de la resistencia con que fue diseñado
 - Se recomienda la elaboración del un manual para la construcción del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas para una caseta de telecomunicación (Radio Base), con el fin de obtener una guía de ejecución.
 - Realizar una lista de chequeo que le permita con facilidad al ingeniero inspector realizar la inspección de la obra.
-

RECOMENDACIONES

Posterior al desarrollo de la investigación se desean dejar siguientes recomendaciones:

- Diseñar el sistema de puesta a tierra para una radio base con valores de resistencia bajo, el cual se debe encontrar por debajo de 1Ω , esto siempre y cuando el espacio físico existente y la capacidad del drenaje del terreno lo permita, de no ser así se debe de tratar de bajar al máximo el valor de la resistencia de puesta a tierra y agregar dispositivos de protección a la instalación.
 - Estudiar la existencia o no de agentes corrosivos en el terreno donde se va a instalar la puesta a tierra, a fin de evitar la pérdida de tierra por rupturas de los electrodos o conductores de la malla. En los casos que dichos agentes sean muy intensos, se recomienda utilizar protección catódica.
 - Después de establecido el sistema de aterramiento, se debe generar un programa de mantenimiento periódico preventivo y predictivo del sistema, para conservar sus propiedades, específicamente el valor de la resistencia con que fue diseñado
 - Se recomienda el uso del manual para la ejecución del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas para una caseta de telecomunicación (Radio Base), el cual se encuentra sustentado en la norma GTE.
 - Realizar una lista de chequeo que le permita con facilidad al ingeniero inspector realizar la inspección de la obra.
 - Realizar en futuros temas de investigación las mejoras necesarias al manual con el fin de adecuarlo al avance tecnológico.
-

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tomado de estudio de las características de los sistemas de puesta tierra a nivel industrial, con criterios de calidad de servicio eléctrico. Peñailillo Deeybys y Vargas Edwin. Valencia, 2003.
 - [2] General Telephone and Electronics, hoy Verizon Communications Inc. es el proveedor más grande de servicios telefónicos de EEUU, fue hasta el 2007 el accionista mayoritario de la CANTV.
 - [3] Evaluación, estudio y especificaciones técnicas del sistema de puesta a tierra de las R/E Laguneta, Topo Copetón, Terepaima y Begotes. Ener Telcom. Powerful Services.
 - [4] Según la norma GTE 903-020-070, la resistencia de be ser meno que 5Ω .
 - BEA., José A., BEA., Rafael, (2004), **Guía metodológica para el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas**. Universidad de Carabobo. Venezuela.
 - CAMACHO., Rafael, RUIZ., Ángel, (2004), **Estudio de los equipos de protección utilizados para el drenaje de sobre tensiones atmosféricas**. Universidad de Carabobo. Venezuela.
 - GUERRERO, José y MONTIEL, Alejandro (2005). **Sistemas de puesta a tierra para los sistemas de telecomunicaciones**. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
 - HERNANDEZ S., Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. (1991). **Metodología de la Investigación**. México. Editorial McGraw –Hill.
-

- JIMÉNEZ, Carlos y GONZÁLEZ, Marlene. (2002). **Normas para la elaboración y presentación del trabajo especial de grado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.** Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
 - LEON, Santiago (2000), **Sistema de Puesta a Tierra, Teoría, Diseño, Medición y Mantenimiento.** Ciudad de México. México.
 - MARTINEZ. L., Marcos, Ramírez. P., Juan, (2001), **Influencias de las sobretensiones por descargas atmosféricas y comportamiento de los sistemas de puesta a tierra en líneas aéreas de transmisión y distribución.**
 - MARTINEZ. O., Juan F., (2000), **Desarrollo de una metodología para el diseño y ejecución de sistemas de puesta a tierra en estaciones radio bases para la empresa Ingeniería de Servicios C.A.** Universidad Bicentenario de Aragua. Venezuela.
 - RIVAS., Rainier, Morales, Omar, (2004), **Estudio sobre la protección y puesta a tierra de plantas telefónicas.** Universidad de Carabobo. Venezuela.
 - VARGAS, Edwin y PEÑALILLO, Deeybys. (2003). **Estudio de las características de los Sistemas de Puesta a Tierra a nivel industrial, con criterios de Calidad de Servicio Eléctrico.** Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
 - ZORRILLA, Diógenes E. (1995), **Puesta a Tierra,** Maracaibo Venezuela.
-

ANEXO A



Figura 25. Torre Venteada

ANEXO B



Figura 26 Torre Auto soportada

- B: Sea la profundidad de cada electrodo.
- Paso 2: Hacer circular una pequeña corriente (I) entre los dos electrodos exteriores marcados como C1 y C2.
- Paso 3: Utilizar un voltímetro de alta impedancia para medir el potencial (V) entre los dos electrodos interiores marcados como P1 y P2.
- Paso 4: Registrar la lectura del medidor (R) en ohm.
- Paso 5: Calcular la resistividad utilizando la fórmula:

$$\rho = \frac{4\pi A R}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}}$$

NOTA: Si el valor de B es 0,1 A, asumir B = 0 y la fórmula queda como:

$$\rho = 2 \pi A R$$

Esta fórmula da el valor promedio de la resistividad del suelo para una profundidad igual a "A".

- Paso 6: Hacer varias mediciones con separación y ubicación diferentes para obtener una indicación de las diversas capas de suelos o rocas.

1.2 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD PARA REALIZAR LA MEDICIÓN.

- Manejar el instrumento de medición con sumo cuidado al realizar la medición, ya que los electrodos tienen tensiones altas y frecuencias elevadas que oscilan entre 70 y 110 Hz.
 - Realizar las mediciones en días con cielo despejado, ya que cuando está nublado existe la posibilidad de ocurrencia de descargas atmosféricas creando perturbaciones al equipo de medición y la tensión de paso en la persona.
 - Utilizar los implementos de seguridad: botas con suela de goma y guantes de goma para protegerse de los potenciales de 1 KV a 10 KV que puedan desarrollarse.
 - Utilizar herramientas cubierta de goma.
-

- La persona que realiza la medición no puede tener un alto grado de sudoración corporal, debido a que la resistencia corporal disminuye.
- No permita que ninguna parte de su cuerpo complete el circuito entre puntos que presentan una alta diferencia de potencial.

ANEXO D

1. CRITERIOS PARA DISEÑAR SISTEMAS DE PUESTA TIERRA

- 1.1 Medir la resistividad del suelo tan cerca como sea posible al sitio que se desea proteger. La medición se realiza con los electrodos en línea horizontal, a la profundidad necesaria, dándole la separación adecuada.
- 1.2 Use la fórmula para calcular la resistencia esperada con la distribución propuesta de los electrodos.
- 1.3 Comenzar con las configuraciones más simples y continuar con las configuraciones más complejas hasta alcanzar el objetivo.
- 1.4 Calcule la resistencia usando electrodos más largos, profundos o tuberías.
- 1.5 Calcule la resistencia incrementando el número de electrodos.
- 1.6 Use cables horizontales, tubos, configuraciones en estrella, etc.
- 1.7 Use parrillas con o sin anillos conectados a electrodos.
- 1.8 Permita mejoras al sistema tales como el uso de concreto o bentonita; solamente como último recurso.
- 1.9 El electrodo recomendado es el tipo anillo de alambre y barras.

2. FÓRMULAS PARA EL DISEÑO DEL ELECTRODO PRINCIPAL DE PUESTA A TIERRA.

2.1 Diseño de Barra Simple (Vertical). $L \gg a$

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \left[\text{Ln} \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

R = Resistencia de la barra en Ω

ρ = Resistividad promedio del suelo a la profundidad "L" en $\Omega.m$

L = Longitud de la barra en metros.

a = Radio de la barra en metros.

Ln = Logaritmo neperiano (base e= 2.71828..)

2.2 Barra Horizontal

$D \ll L$

$$R = \frac{\rho}{\pi \times L} \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{\sqrt{2 \times a \times D}} \right) - 1 \right]$$

R = Resistencia de la barra en Ω

ρ = Resistividad promedio del suelo a la profundidad "L" en $\Omega.m$

L = Longitud de la barra en metros.

a = Radio de la barra en metros.

D = Profundidad de la barra en metros.

2.3 Longitud Horizontal de Conductor Enterrado (recto).

$D \ll L$

$$R = \frac{\rho}{\pi \times L} \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{\sqrt{2 \times a \times D}} \right) - 1 \right]$$

R = Resistencia de la barra en Ω

ρ = Resistividad del suelo en $\Omega.m$

L = Longitud del cable en metros.

a = Radio del cable en metros.

D = Profundidad del cable en metros.

2.4 Sistema formado por dos barras verticales.

$$S \geq L$$

$$R = \frac{\rho}{4 \times \pi \times L} \left[\operatorname{Ln} \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 + \frac{L}{S} \right]$$

R = Resistencia de la barra en Ω

ρ = Resistividad promedio del suelo a la profundidad "L" en $\Omega.m$

L = Longitud de la barra en metros.

a = Radio de la barra en metros.

S = Separación entre barras en metros.

2.5 Electrodo de tierra en paralelo ($d < L$)

$$R_p = \frac{1}{n} \left\{ \left[\frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \left(\operatorname{Ln} \frac{4L}{A} - 1 \right) \right] + (n-1) \left[\frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \left(\operatorname{Ln} \frac{4L}{d} - 1 \right) \right] \right\}$$

R_p = Resistencia en paralelo en Ω

n = Número de electrodos.

ρ = Resistividad promedio del suelo en $\Omega.m$

L = Longitud de los electrodos en metros.

A = Radio de los electrodos en metros.

D = Distancia entre electrodos en metros.

2.6 Electrodo paralelos ($d \geq L$)

$$R_p = \frac{1}{n} \left\{ \left[\frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \left(\operatorname{Ln} \frac{4L}{A} - 1 \right) \right] + \frac{\rho}{\pi \times d} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right) \right\}$$

R_p = Resistencia en paralelo en Ω

n = Cantidad de electrodos.

ρ = Resistividad promedio del suelo en $\Omega.m$

L = Longitud del electrodo en metros.

A = Radio del electrodo en metros.

d = Distancia entre electrodos en metros.

2.7 Curva en Angulo Recto del cable.

$$R = \frac{\rho}{4L} \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{\sqrt{2 \times a \times D}} \right) - 0.12 \right]$$

R = Resistencia del electrodo en Ω

ρ = Resistividad del suelo en $\Omega \cdot \text{m}$

L = Longitud del cable en metros.

a = Radio del cable en metros.

D = Profundidad del cable en metros

2.8 Anillo de Cable Enterrado.

$$R = \frac{\rho}{\pi \times L} \left[\text{Ln} \frac{1.27 \times L}{\sqrt{2 \times a \times D}} \right]$$

R = Resistencia de electrodo en Ω

ρ = Resistividad del suelo en $\Omega \cdot \text{m}$

L = Longitud del cable en metros.

a = Radio del cable en metros.

r = Radio del anillo en metros.

D = Profundidad del anillo en metros.

NOTA: $L = 2 \pi r$

2.9 Cinta de Metal Enterrada Horizontal con $B \leq A/8$.

$$R = \frac{\rho}{6,28L} \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{A} \right) + \frac{A^2 - \pi AB}{2(A+B)^2} + \text{Ln} \left(\frac{L}{S} \right) - 1 + \frac{2S}{L} - \frac{S^2}{L^2} + \frac{S^4}{L^4} \right]$$

R = Resistencia del electrodo en Ω

ρ = Resistividad del suelo en $\Omega.m$

L = Longitud de la cinta en metros.

A = Ancho de la cinta en metros.

B = Espesor de la cinta en metros.

S = Profundidad de la cinta en metros.

2.10 Placa Circular enterrada horizontalmente.

$S \gg A$

$$R = \frac{\rho}{8} \left[\frac{1}{A} + \frac{1}{\pi S} \right]$$

R = Resistencia de electrodo en Ω

ρ = Resistividad del suelo en $\Omega.m$

A = Radio de la placa en metros.

S = Profundidad de la placa en metros.

2.10.1 Placa Circular enterrada horizontalmente

$S \ll A$

$$R = \frac{\rho}{4A} \left[1 - \frac{4S}{\pi A} \right]$$

R = Resistencia del electrodo en Ω

ρ = Resistividad del suelo en $\Omega.m$

A = Radio de la placa en metros.

S = Profundidad de la placa en metros.

2.11 Resistencia Combinada del Anillo y las Barras.

$$R_t = \frac{R_w R_r - R_w r^2}{R_w + R_r - 2 R_w r}$$

R_t = Resistencia combinada en Ω

R_w = Resistencia del cable en Ω

R_r = Resistencia de la barra en Ω

R_{wr} = Resistencia mutua entre el anillo y las barras en Ω

2.12 Anillo de Tierra Rectangular con Barras (Cálculo Combinado).

a) Anillo solo

$$R_w = \frac{P_w}{\pi L_w} \operatorname{Ln} \left(\frac{1,2 L_w}{\sqrt{2 A_w S_w}} \right)$$

b) Barras solas

$$R_r = \frac{P_r}{2\pi L_r N} \left[\operatorname{Ln} \left(\frac{4L_r}{A_r} \right) - 1 + \frac{2L_r}{S_r} \operatorname{Ln} \left(\frac{2N}{\pi} \right) \right]$$

c) Resistencia mutua del alambre de anillo y barras

$$R_{wr} = \frac{P_w + P_r}{2\pi L_w} \operatorname{Ln} \left(\frac{1,48 L_w}{\sqrt{L_r S_w}} \right)$$

d) Resistencia combinada de alambre de anillo y barras

$$R_t = \frac{R_w R_r - R_{wr}^2}{R_w + R_r - 2R_{wr}}$$

R_t = Resistencia combinada del anillo y barras en Ω

P_w = Resistividad del suelo a la profundidad del cable en $\Omega.m$

P_r = Resistividad del suelo a la profundidad de las barras en $\Omega.m$

L_w = Circunferencia del anillo en metros.

L_r = Longitud de la barra en metros.

A_w = Radio del cable en metros.

A_r = Radio de la barra en metros.

S_w = Profundidad del anillo en metros.

N = Cantidad de barras.

S_r = Separación entre las barras en metros.

2.13 Malla en un Suelo de dos Capas.

$$R = 0.443 \frac{\rho_2}{\sqrt{A}} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^Y + \frac{\rho_1}{L + nle}$$

$$Y = \frac{2H}{\sqrt{A + nle}} \quad le = l_1 + l_2 \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

R = Resistencia de la malla en Ω

ρ_1 = Resistividad del suelo en la capa 1 en $\Omega.m$

ρ_2 = Resistividad del suelo en la capa 2 en $\Omega.m$

A = Área de superficie en m^2 .

L = Longitud total del conductor de la malla en metros.

n = Número de barras.

H = Profundidad de la malla en metros.

l_1 = Longitud de la barra en la capa 1 en metros.

l_2 = Longitud de la barra en la capa 2 en metros.

De acuerdo a estudios comprobados se puede resumir con respecto al valor de la resistencia de puesta a tierra (R_{pt}), que su valor se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$R_{pt} = \frac{\rho}{Le} [\pi/2 + 1] \quad \text{Ecuación de Laurent y Niemann}$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo en la capa en $\Omega.m$

Le = Longitud equivalente de la malla en metros.

Por lo que, por ejemplo, para una resistividad de $100 \Omega \cdot m$ y se quiere lograr una resistencia de puesta a tierra de $R_{pt} = 1 \Omega$, despejando de la ecuación anterior se requerirán de aproximadamente 257 m de conductor equivalente y conectados a tierra mediante electrodos (barras copperweld). En conclusión no importa la configuración que se desee para la malla de puesta a tierra, siempre se puede usar para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra la ecuación de Laurent y Niemann.

2.14 METODOS DE MEDICION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

A continuación se presentan los métodos más comunes en la medición de resistencia de puesta a tierra, esta medición se realiza con el fin de comprobar la adecuada configuración de la malla.

2.14.1 General (voltaje, frecuencia y corriente utilizadas normalmente)

La resistencia de un electrodo de tierra normalmente es determinada con corriente alterna o corriente directa periódicamente alternada para evitar la posible polarización de los electrodos causados por la corriente directa.

En cuanto a la frecuencia utilizada por muchos de los equipos de medición, se tiene que está en el rango de 50 a 150 Hz (muchas veces entre 93 y 128 Hz), para sistemas pequeños y medianos. El conocimiento de la frecuencia de medición permite al equipo descartar o neutralizar las tensiones perturbadoras que se acerquen, con igual frecuencia, con la tensión generada por el propio instrumento. El uso de estos instrumentos se limita en la práctica a la verificación de puestas a tierras pequeñas y medianas.

En el caso de sistemas eléctricos de gran tamaño en las áreas de distribución y transmisión el uso de bajas frecuencias (20 a 600 Hz) es el más utilizado y determina el valor estático de la puesta a tierra. Sin embargo, la mayoría de los fenómenos dinámicos que afectan a un sistema de transmisión o distribución de energía eléctrica, denotan una alta frecuencia. Así tenemos, por ejemplo, que las sobretensiones atmosféricas, las fallas a tierra, las sobretensiones de maniobra,

etc. se ven caracterizados por frecuencias que oscilan por el orden de los Mhz.

La componente inductiva en grandes sistemas representa un mayor porcentaje de la impedancia total de puesta a tierra ya que el valor de resistencia de la misma suele ser de un Ohm o menos. De allí la importancia de tomar en cuenta esta componente a la hora de hacer un estudio del sistema de puesta a tierra de grandes sistemas. Por ello, en estos sistemas también se hacen pruebas a grandes frecuencias (25Khz) para chequear el comportamiento del mismo ante fenómenos dinámicos. La desproporción entre el valor dinámico y estático de la impedancia de puesta a tierra puede alcanzar hasta un 300% o más.

En cuanto a la magnitud de las corrientes utilizadas en la medición de la resistencia de puesta a tierra se tiene que el uso de corrientes que van desde los pocos miliamperios hasta los cientos de miliamperios para sistemas instalados en zonas urbanas, a fin de evitar posibles potenciales transferidos que son peligrosos para las personas cercanas al área del sistema.

Para grandes subestaciones ubicadas fuera de zonas urbanas, donde existen probabilidades menores de que potenciales transferidos afecten personas o equipos en áreas vecinas, se pueden inyectar corrientes del orden de decenas de amperes. Esto no implica que no se puedan utilizar corrientes de baja magnitud en estos sistemas, aunque el uso de corrientes elevadas puede permitir un estudio más completo.

4.14.2 Método de los dos Puntos o dos Polos

En este método se mide el total de la resistencia del electrodo en estudio más la resistencia de un electrodo auxiliar. La resistencia del electrodo auxiliar se considera muy pequeña comparada con la del electrodo en estudio y por tanto el resultado de la medición es tomado como la resistencia del electrodo en estudio.

Normalmente este método se utiliza para determinar la resistencia de un electrodo simple en un área residencial donde se tiene además un sistema de suministro de agua que utiliza tuberías

metálicas sin conexiones o aislantes plásticos (electrodo auxiliar). La resistencia del sistema de suministro de agua en el área se asume muy pequeña (alrededor de 1 Ohm) en comparación con la resistencia máxima permitida para un electrodo simple (alrededor de 25 Ohm).

Este método tiene algunos inconvenientes, como el hecho de que cada vez más los sistemas de suministro de agua utilizan tuberías plásticas; con lo que se hace más difícil conseguir una tierra auxiliar. Por otra parte no siempre se conoce el recorrido de las tuberías de agua, por lo que las áreas de resistencia del electrodo en estudio y las del electrodo auxiliar podrían solaparse; dando como resultado errores en la lectura. Además, el método de los dos polos puede llevar a grandes errores cuando se intenta medir la resistencia de un electrodo simple de pocos Ohmios; pero al menos puede dar una idea de la resistencia del sistema en estudio.

En la Figura 27 (a) y (b) se ilustra esta técnica. Obsérvese que los terminales C1 y P1 y los terminales C2 y P2 son unidos mediante un puente para realizar esta medición. En equipos modernos el puente es realizado internamente por ellos al seleccionar el tipo de medición o método que se desea realizar.



Figura 27a. Medición de resistencia

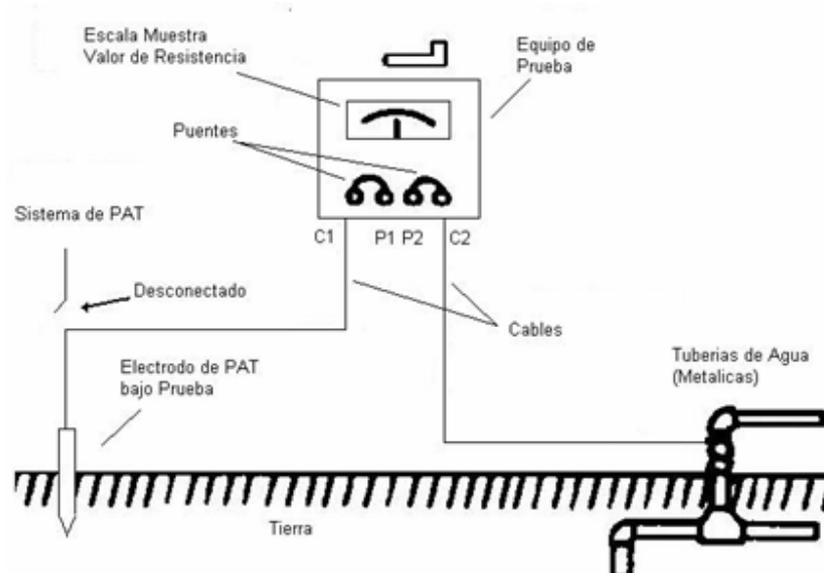


Figura 27b. Medición de la Resistencia

2.14.3 Método de los tres puntos

En la Figura 28 se tiene la ilustración del método de los tres puntos o método de triangulación. En este método se utilizan dos electrodos auxiliares con resistencias R_y y R_z respectivamente. Estos dos electrodos se colocan de tal forma que conformen un triángulo con el electrodo en estudio. Se miden las resistencias entre cada electrodo y los otros dos y se determina la resistencia del electrodo en estudio, R_x , mediante la siguiente fórmula:

$$R_x = (R_1 + R_2 - R_3) / 2$$

Donde R_1 , R_2 y R_3 quedan determinadas por las fórmulas indicadas en la Figura 28.

En este método se tratan de utilizar electrodos auxiliares que se presuman sean de resistencia similar al electrodo en estudio para obtener mejores resultados. Igualmente, se clavan los electrodos auxiliares de modo tal que queden todos los electrodos lo suficientemente alejados y no se solapen las áreas de influencia de la resistencia de cada uno y evitar resultados absurdos. Se recomienda una distancia entre electrodos de 8 metros o más cuando se estudie un electrodo simple.

En este método existen influencias marcadas por objetos metálicos enterrados y no existe forma de eliminar dicha influencia. Tampoco es muy efectivo a la hora de evaluar valores bajos de resistencia o valores de resistividad muy altos del terreno involucrado donde la resistencia de contacto de los electrodos sea apreciable. Otra desventaja es que en este método se considera que el terreno es completamente homogéneo. Por estas razones este método es poco utilizado. Sin embargo, puede ser útil cuando existen limitaciones de espacio y no se pueden colocar los electrodos en línea recta para realizar una medición con el método de caída de potencial, por ejemplo.

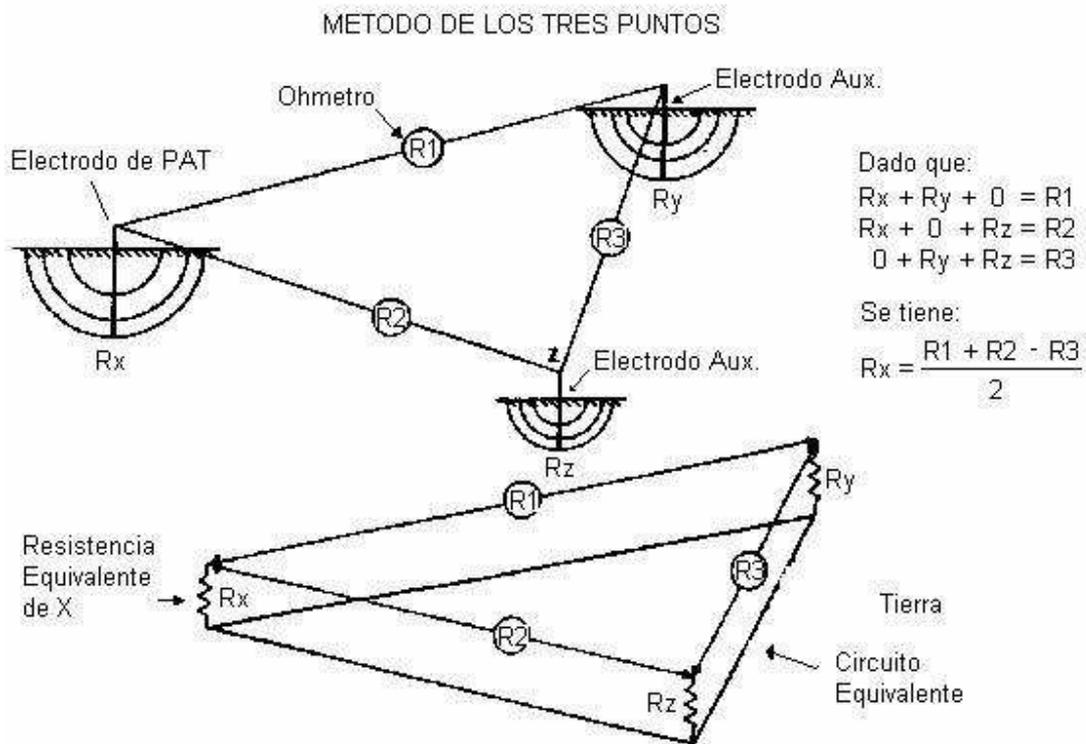


Figura 28. Método de los tres puntos

2.14.4 Metodo de caida de Potencial

En la Figura 29 se observa la forma en que se instala el Megger para realizar las mediciones por este método. Como se ve, los terminales C1 y P1 están conectados mediante un puente.

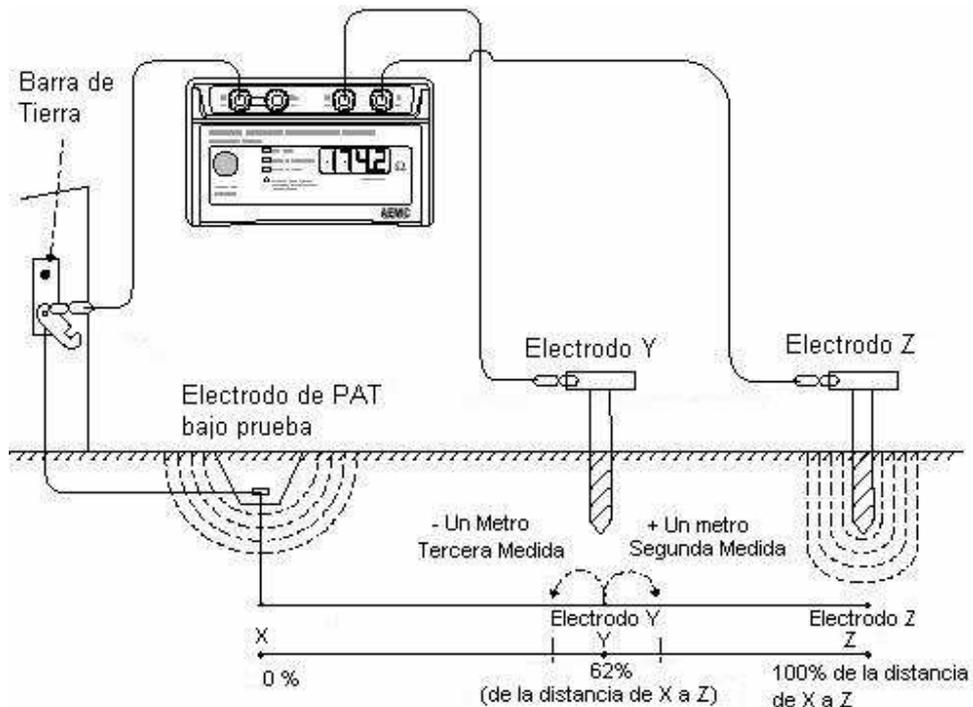


Figura 29. Método de Megger

El método consiste en inyectar corriente a través de un electrodo de prueba de nominado de corriente y medir el alza de potencial mediante otro electrodo auxiliar denominado de potencial. Conocido el valor de tensión y el valor de corriente se podrá obtener mediante ley de Ohm el valor de resistencia. Los tres electrodos se mantienen en una línea recta y se va corriendo el electrodo de potencial hacia el electrodo de corriente para hacer sucesivas mediciones de resistencia.

ANEXO E

DESCRIPCION DE LAS GUÍAS DE PUESTA A TIERRA

GUÍA N° 1 CONEXIÓN DEL ELECTRODO EXTERIOR-ANILLO

Es una guía que sirve para el drenaje ó el paso a tierra de las corrientes de fallas o las de descargas de origen atmosférico. De preferencia, debe ser un anillo que rodea al edificio o estructura. Puede también cubrir solo una parte del edificio, sobre todo cuando hay obstrucciones que no dejan colocar un anillo completo. Lo esencial es obtener los objetivos de resistencias de puesta a tierra normalizados

Dimensionamiento y Selección

Esta guía es diseñada de acuerdo con el valor de la resistividad del suelo. El anillo de puesta a tierra debe estar formado con barras “Copperweld” de 5/8 pulgadas x 2,4 m de longitud, enterradas con una separación entre ellas no menor de 2,4 m y la máxima separación debe ser la que resulte de los cálculos y el área del terreno.

Las barras se deben enterrar a una profundidad no menor de 0,75 m en terreno firme.

Calibre del conductor: N° 2 AWG.

Tipo: sólido

Material del conductor: Cobre (Cu).

La forma que tendrá la Guía N° 1 dependerá del resultado del estudio de la resistividad del suelo, el cual determinará el número de barras a instalar y la forma que tendrá el arreglo (forma de anillo, L, U) o de otros casos especiales como los indicados en el Anexo 2 “Criterios y Métodos de Cálculos”.

Instalación y Construcción

- Se debe excavar una zanja de 0,75 m de profundidad por 0,40 m de ancho, donde se colocarán las barras “Copperweld” y el conductor N° 2 AWG de cobre, para formar la Guía N° 1 (Ver Figura 1, Anexo F).
- Para formar el anillo, se deben enterrar las barras “Copperweld” y luego se procede a realizar la unión entre el conductor N° 2 AWG sólido desnudo con las barras, utilizando soldadura exotérmica tipo “CADWELL”.
- Las barras “Copperweld” deben quedar aproximadamente 30 cm. fuera del canal de manera de permitir realizar la soldadura en forma de cruz.
- No se debe cubrir totalmente con concreto el área donde se construya el anillo, ya que es necesario dejar tanquillas de drenaje en puntos estratégicos.
- En lo posible, se deberá construir el electrodo de puesta a tierra de manera que cubra la mayor área de terreno de la Central Telefónica.
- En aquellos sitios donde el terreno de la estación esté cubierto con concreto, se debe hacer la excavación para enterrar las barras “Copperweld”, pero el conductor N° 2 AWG sólido desnudo estañado puede quedar a 10 cm. de profundidad dentro del concreto, evitando así hacer roturas innecesarias del pavimento.
- Los moldes se deben utilizar para un máximo de 25 soldaduras.
- Después de instalada esta guía se deben realizar mediciones para verificar los valores de la resistencia de puesta a tierra normalizados.

Materiales

Barras “Copperweld” de 5/8 pulgadas x 2,40 m, cable de cobre estañado N° 2 AWG sólido desnudo, moldes para soldadura exotérmica del tipo GTC-161 V (Cable N° 2 AWG sólido a barra “copperweld” de 5/8 pulgadas).

NOTAS:

- 1) Cuando existan los sistemas de fosa artificial, el nuevo sistema de puesta a tierra se debe conectar a éste con conductor N° 2 AWG sólido desnudo y soldadura exotérmica a ambos lados del electrodo.
- 2) Toda estructura metálica existente en los terrenos de la estación debe ser conectada a la Guía N° 1.

GUÍA N° 1A ELECTRODO EXTERIOR EMPOTRADO EN CONCRETO

Es utilizado por lo general en ciertos tipos de construcciones los cuales incluyen cimientos con barras de hierro.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre del conductor: N° 2 AWG.

Tipo: Sólido

Material del conductor: Cobre estañado (Cu).

Instalación y Construcción

Se instalará el conductor sólido desnudo soldado al acero de la estructura de la edificación y empotrado en el concreto de las fundaciones. (Ver Figura 2, Anexo F).

Materiales

Cable de cobre estañado N° 2 AWG sólido desnudo

GUÍA N° 2 POZOS, FOSAS

El pozo consiste en una tubería metálica de diámetro igual o mayor de 10 cm. y una longitud determinada por la resistividad del suelo.

Dimensionamiento y Selección

Esta guía está diseñada de acuerdo a la resistividad del suelo, con una longitud determinada por las mediciones efectuadas. Se instalará en aquellos sitios donde la construcción del electrodo de puesta a tierra de la Guía N° 1 no sea posible de ejecutar y cuando el valor de la resistividad del suelo sea alto.

GUÍA N° 3. INTERCONEXIÓN DE CADA ESTRUCTURA METÁLICA CON LA GUÍA N° 1

Es una guía de interconexión entre las columnas metálicas que sostienen la estructura, tanque metálico, chasis de moto generador con el electrodo exterior ò Guía N° 1 ò N° 1A. (Ver figura 3, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre del conductor: N° 2 AWG.

Tipo: sólido

Material del conductor: Cobre (Cu).

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4 pulgada o directamente enterrada según sea el caso.

Instalación y Construcción

En un extremo del conductor se debe instalar terminales de compresión tipo doble agujero para conductor N° 2 sólido, para ser fijado a la estructura, tanque metálico, chasis del motogenerador, y el otro extremo irá soldado a la Guía N° 1 con soldadura exotérmica.

Materiales

Conductor N° 2 AWG sólido desnudo, tubería PVC pesado de diámetro 3/4 pulgada, moldes para soldadura exotérmica tipo VSC-1V, terminales de compresión tipo doble agujero para conductor N° 2 AWG.

GUÍA N° 4 CONEXIÓN DEL NEUTRO DEL TABLERO PRINCIPAL A TIERRA

Es una conexión directa del neutro del tablero principal AC a un electrodo, que por lo general consiste de dos barras “Copperweld” de longitud 2,40 m, separadas 2,40 metros como mínimo (Ver figura 4, Anexo F).

El calibre del conductor está determinado en la Tabla 2, Anexo G.

Cuando el calibre del conductor sea N° 2, éste debe ser sólido, ya que presenta menor inductancia y por lo tanto menor tensión en caso de descargas eléctricas. La Guía N° 4, es requerida por el Código Eléctrico Nacional (Sección 250).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

El calibre del conductor es determinado por el calibre del mayor conductor de fase de la alimentación AC o por el área equivalente en el caso de conductores paralelos. Ver Tabla N° 2.

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado (a excepción del calibre N° 2, que debe ser sólido).

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de esta guía se realizará por una tubería PVC pesado y se usarán terminales de compresión tipo doble agujero.

Instalación y Construcción

Se debe abrir una zanja de 0,75 m de profundidad y 0,40 m de ancho, a una distancia de 2 m del machón o Tablero Principal AC de electricidad. El largo de la zanja será acorde con la separación en la cual deben estar las barras “Copperweld” (Ver figura 4 y 5, Anexo C).

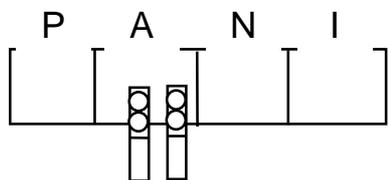
Se utilizará soldadura exotérmica entre el conductor de la Guía N° 4 y las barras “Copperweld”.

La resistencia de este sistema debe ser igual o menor a 25 Ω , según Sección 250-84 del Código Eléctrico Nacional (CEN).

Materiales

Conductor THW trenzado de cobre, tubería PVC pesado, barras “Copperweld” de 5/8” x 2,40 m, moldes para soldadura exotérmica, terminales de compresión tipo doble agujero.

GUÍA N° 5 CONEXIÓN DE LA BARRA MAESTRA PRINCIPAL (MGB) A LA GUÍA N° 1



Es una conexión directa de lados o extremos opuestos de la Guía N° 1 para establecer redundancia. Se deben instalar mínimo dos Guías N° 5 (una en cada lado) por central o estación. El número de cables en cada lado dependerá del calibre de los cables AC de la acometida que va hacia el tablero principal (Ver Tabla N° 1, Anexo G).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre del conductor: Ver Tabla N° 1, Anexo G.

Tipo: Sólido

Material del conductor: Cobre estañado para el calibre N° 2.

La cantidad de cables a instalar de esta guía depende del calibre de los cables de acometida AC que van al tablero principal y es determinada por la Tabla N° 1.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro adecuado al calibre del cable.

Instalación y Construcción

Se deben realizar como mínimo dos conexiones desde lados opuestos del anillo de la Guía N° 1 hasta la barra maestra de puesta a tierra MGB.

En el caso de que sean varios conductores N° 2 sólido desnudo estañado, cada uno se debe instalar por separados en tuberías PVC, a fin de disminuir la impedancia mutua. La conexión de la Guía N° 5 con la Guía N° 1, se realiza en una tanquilla externa de dimensiones: 0,75 m de profundidad, 0,60 m de ancho y 0,60 m de largo, con un fondo de piedra picada, soldando el conductor N° 2 sólido desnudo a una barra "Copperweld". Se utilizarán terminales de compresión tipo doble agujero para la conexión a la barra MGB.

Materiales

Tubería PVC pesado, moldes para soldadura exotérmica, terminal de compresión tipo doble agujero.

GUÍA N° 6 CONEXIÓN DE LA CERCA METÁLICA A LA GUÍA N° 1

Conexión de la cerca metálica a la Guía N° 1, cuando la cerca está a 2 m o menos de la Guía N° 1. También puede ser usada si se quiere incluir a la cerca para bajar la resistencia de la Guía N° 1. La conexión entre la cerca y los postes metálicos se realiza con abrazaderas, y entre la cerca y la Guía N° 1 con soldadura exotérmica. La Guía N° 6 se debe conectar en uno de los extremos con abrazaderas, con el fin de poder desconectarla para hacer las mediciones de resistencia. Debe hacerse más de una conexión de esta guía a la cerca metálica y calcular la tensión de contacto.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre del conductor: N° 2 AWG

Tipo: Sólido desnudo

Material del conductor: Cobre estañado.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará directamente enterrado hasta la Guía N° 1.

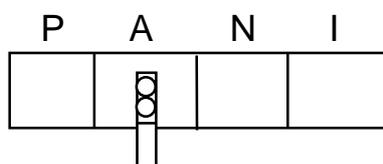
Instalación y Construcción

En el extremo a ser conectado a los postes de la cerca metálica se deben usar conectores del tipo abrazadera para tuberías de 2" de diámetro y el otro extremo será soldado a la Guía N° 1 con soldadura exotérmica.

Materiales

Conductor N° 2 sólido desnudo, conector tipo abrazadera GAR 3903TC/ BURNDY para tuberías de diámetro 2 pulgadas, moldes para soldadura exotérmica (Ver Figura 6, Anexo F).

GUÍA N° 7 CONEXIÓN DE LA BARRA MAESTRA PRINCIPAL (MGB) A LA GUÍA N° 2



Es una conexión directa de cada Guía N° 2 (Pozo o Fosa). Preferiblemente se debe hacer desde lados o extremos opuestos de la Guía N° 2 para establecer redundancia.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre del conductor: El calibre del conductor es determinado por la Tabla N° 2, Anexo G.

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, en la parte interna de la edificación y seguirá enterrada en el suelo hasta el pozo o fosa.

GUÍA N° 8 CONEXIÓN DEL NEUTRO DEL TABLERO PRINCIPAL A LA TUBERÍA DE AGUA

Conexión de la barra del neutro del tablero principal a la tubería metálica principal de agua en un punto interior a la propiedad o estructura. Para que la conexión sea efectiva, la tubería de agua debe estar bajo tierra a una profundidad mínima de 4 m. El calibre es determinado por la Tabla N° 2, Anexo G.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: El calibre del conductor es determinado por la Tabla N° 2, anexo G y depende del calibre de los conductores de la acometida AC.

Tipo: Trenzado.

Aislamiento: THW

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado y el diámetro será de acuerdo con el tamaño del conductor.

Instalación y Construcción

Se instalarán terminales de compresión tipo doble agujero en uno de los extremos para ser conectado a la barra del neutro del tablero principal, y en el otro extremo se instalará un conector tipo abrazadera, de diámetro de acuerdo con el tamaño de la tubería de agua.

La conexión de esta Guía N° 8 y la Guía N° 10, se debe realizar en el mismo punto de la tubería interna de agua. Se deberá construir una tanquilla de visita.

Materiales

Conductor de cobre trenzado, tubería PVC pesado, terminales de compresión tipo doble agujero, conector tipo abrazadera GAR 3902TC (tubería 1/2" - 1") y GAR 3903TC (tubería 1 1/2" - 2"). Ver Figura 7, Anexo F.

GUÍA N° 9 CONEXIÓN DE UN PUENTE A TRAVÉS DEL MEDIDOR DE AGUA

Es un puente ("bypass") realizado a través del medidor de agua para establecer la continuidad en la tubería metálica de agua, ya que los medidores tienen elementos aisladores.

Esta guía puede omitirse si la compañía de suministro de agua no aprueba esta conexión. También puede ser usada como puentes entre los tanques y las bombas de agua. La intención es extender la longitud de la tubería para establecer una conexión efectiva.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: El calibre es determinado por la Tabla N° 1, Anexo G.

Tipo: Trenzado

Aislamiento: THW

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

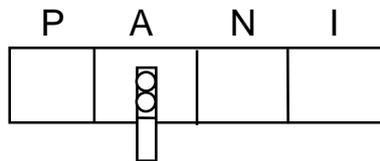
Instalación y Construcción

Se instalarán conectores tipo abrazadera en cada extremo del conductor para ser conectados a la tubería de agua (Ver Figura 7, Anexo F).

Materiales

Conductor de cobre trenzado, conectores tipo abrazadera.

GUÍA N° 10 CONEXIÓN DE LA BARRA MAESTRA PRINCIPAL (MGB) A LA TUBERÍA DE AGUA



Conexión desde la barra principal MGB a la tubería metálica de agua, ubicada en un punto interior a la propiedad o edificación. Para que la conexión sea efectiva, la tubería de agua debe estar bajo tierra a una profundidad mínima de 4 m. Por lo general la conexión es en el mismo punto donde parte la Guía N° 8.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: El calibre es determinado por la Tabla N° 1, Anexo G.

Tipo: Trenzado.

Aislamiento: THW

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde. El diámetro va depender del calibre del conductor.

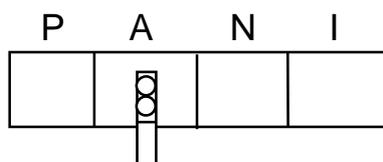
Instalación y Construcción

Se instalará un terminal de compresión tipo doble agujero en uno de los extremos del conductor para ser conectado a la barra MGB, y en el otro extremo se instalará un conector tipo abrazadera para ser conectado a la tubería de agua.

Materiales

Conductor de cobre trenzado, tubería PVC pesado, terminal de compresión tipo doble agujero, conector tipo abrazadera.

GUÍA N° 13 CONEXIÓN DE LA BARRA MAESTRA PRINCIPAL (MGB) AL NEUTRO DEL TABLERO



Conexión desde la barra principal MGB al neutro de cada tablero principal. La guía N° 13 no reemplaza otras guías que conecten el sistema de AC a tierra.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: El calibre es determinado por la Tabla N° 1, Anexo G.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado.

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde. El diámetro dependerá del calibre del conductor.

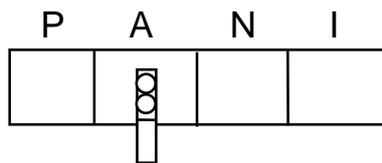
Instalación y Construcción

Se debe instalar terminales de compresión tipo doble agujero en cada extremo del conductor para el calibre seleccionado.

Materiales

Conductor de cobre trenzado, tubería PVC pesado, terminales de compresión tipo doble agujero.

GUÍA N° 14 CONEXIÓN DE LA COLUMNA CENTRAL A LA BARRA PRINCIPAL O DE PISO



Es utilizada para conectar la columna metálica central del edificio. Se extiende desde la barra MGB/FGB hasta dicha columna. (Ver Figura 8, Anexo F). Típicamente, la columna utilizada es una columna interior que ya está puesta a tierra en la base, que no sea posible conectarlas como parte de la Guía N° 1 ó N° 1A.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: 750 Kcmil

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu)

Nivel de aislamiento: 600 Vac

Canalización Eléctrica

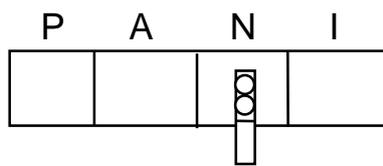
El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3".

Materiales

Cables THW 750 Kcmil, soldadura exotérmica a la columna, terminal de compresión tipo doble agujero para cable 750 Kcmil, tubería PVC, rieles “unistrud”, etiqueta de identificación.

PRECAUCIÓN: Si no existe seguridad de que la base de la columna de la edificación tiene conexión a tierra no debe colocarse esta guía, ya que ante una descarga de corriente la estructura podría sufrir daños permanentes.

GUÍA N° 14A CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL O AUXILIAR (MGB O FGB) DEL PISO A LA GUÍA N° 14B



Esta guía conecta el anillo de tierra de los pisos falsos a la barra principal MGB o a la barra del piso FGB más cercana.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento verde, de diámetro 1".

Instalación y Construcción

Se debe instalar un terminal de compresión tipo doble agujero en uno de los extremos del conductor para ser conectado a la barra MGB / FGB, y en el otro extremo se realizará la conexión con soldadura exotérmica a la Guía N° 14B.

NOTA: En caso de edificaciones existentes y con equipos instalados, la conexión a la Guía N° 14B se deberá realizar mediante un conector C-tap.

Materiales

Conductor THW N° 2/0 AWG, tubería PVC pesado de diámetro 1", terminal de compresión tipo doble agujero para conductor N° 2/0, moldes para soldadura exotérmica, conector tipo C-tap.

GUÍA N° 14B CONEXIÓN DEL ANILLO DE TIERRA DE LOS PISOS FALSOS

Es un anillo colocado alrededor del perímetro del piso falso, con conexiones a la estructura metálica del piso falso cada 3 m. La conexión se debe hacer con conector tipo abrazadera.

Dimensionamiento y Selección

El conductor deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

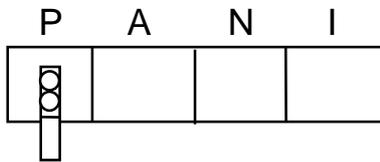
Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Instalación y Construcción

Se colocará el conductor alrededor del piso falso, uniéndolo a la estructura metálica con conectores tipo GAR 144C/ BURNDY, cada 3 m.

Materiales

Conductor THW N° 6 AWG, conectores tipo GAR 14C/ BURNDY.

GUÍA N° 14C CONEXIÓN DEL TECHO METÁLICO A LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DEL PISO (FGB)

Es una conexión de la estructura metálica de un techo a la barra principal o del piso. Esta guía es necesaria solo en los casos cuando el techo es de metal y las paredes y columnas de la edificación no los son.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: 1/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu)

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 1".

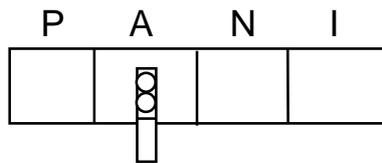
Instalación y Construcción

Esta guía se instalará en una tubería PVC pesado de 1" de diámetro y se colocarán terminales de compresión tipo doble agujero en ambos extremos del conductor. Uno de los extremos se conectará a la barra principal MGB/FGB y el otro será conectado a la estructura metálica.

Materiales

Conductor THW N° 1/0 AWG, tubería PVC pesado de diámetro 1", terminales de compresión tipo doble agujero para cable 1/0 AWG.

GUÍA N° 15 ECUALIZADOR HORIZONTAL DE LA MGB Ò FGB HASTA LA FGB DEL PISO



Esta guía es de ecualización horizontal y conecta las barras MGB hasta la FGB de un piso o edificación más cercana dentro de la misma estación, para igualar los voltajes y para facilitar la interconexión de los igualadores verticales. Deben ser instalados en la forma más recta posible (Ver Figura 8, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable debe tener las siguientes características:

Calibre: 750 Kcmil

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu)

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de esta guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 2".

Instalación y Construcción

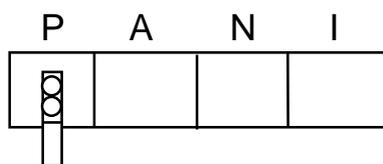
Se deben instalar terminales de compresión tipo doble agujero para cable 750 MCM en cada extremo del conductor para ser conectado a las barras MGB/FGB. Esta guía se debe instalar de la forma más recta posible.

NOTA: En el igualador horizontal deben evitarse las curvaturas. Cuando sea inevitable utilice un radio de curvatura mínimo de 36° (0,90 m).

Materiales

Cable THW N° 750 Kcmil, terminales de compresión tipo doble agujero para cable 750 Kcmil, tubería PVC pesado de diámetro 2", rieles "unistrud".

GUÍA N° 16 CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) HASTA LA BARRA (CVGB)



Esta guía se extiende desde la barra de la fosa de cables CVGB hasta la barra principal MGB (Ver Figura 9, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 1/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de esta guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 1".

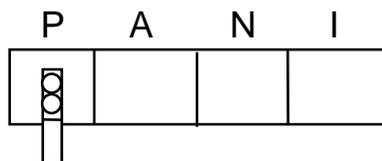
Instalación y Construcción

Se deben instalar terminales de compresión doble agujero para cable N° 1/0 en los extremos del conductor, para ser conectados a las barras MGB/CVGB.

Materiales

Cable THW N° 1/0 AWG, terminales de compresión doble agujero para cable N° 1/0, tubería PVC pesado de diámetro 1", riel "unistrud", abrazaderas morochas de 1".

GUÍA N° 16A CONEXIÓN DE LA BARRA CVGB A LA FOSA DE CABLES



Es una guía colectora que sale de la barra CVGB y sirve para recolectar las Guías N° 17 y 17A. Por lo general es colocada a lo largo de la fosa de cables. Sirve también para conectar a tierra la estructura metálica que soporta los cables de planta externa (Ver Figura 9, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 1/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Instalación y Construcción

Se debe instalar el conductor THW N° 1/0 AWG, en todo lo largo de la fosa de cables o tanque de distribución. Debe ir adosado a la pared a lo largo de la estructura metálica, y en ambos extremos se deben colocar terminales de compresión tipo doble agujero. Se colocará tubería PVC pesado sólo en la salida de las barras FGB/CVGB de la fosa de cables.

Materiales

Cable THW N° 1/0 AWG, terminales de compresión tipo doble agujero, riel “unistrud”, tubería PVC pesado.

GUÍA N° 17 CONEXIÓN DE LA CUBIERTA METÁLICA DE LOS CABLES A LA GUÍA N° 16A

Conexión de la cubierta metálica de cada cable de planta externa a la Guía N° 16A. Sirve también para conectar a tierra las mufas de estos cables (Ver Figura 9, Anexo 6).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Instalación y Construcción

Esta guía va conectada por medio de un conector tipo C-tap a la Guía N° 16A, que es soldada con estaño y plomo y se lleva a la colectora mediante tierra por la cubierta metálica. Se debe instalar libre de otros empalmes, no debe contener pliegues o codos afilados.

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, barra de estaño y plomo, conector tipo C-tap N° 1/0, grapas a tierra.

NOTA: Esta guía se debe anexar a la Guía 16 ó 16A usando grapas de puesta a tierra o ajuste de compresión donde sea aplicable. Los dobleces de la guía deben tener un radio de curvatura igual o mayor que 15 cm.

GUÍA N° 17A CONEXIÓN DE LA CUBIERTA METÁLICA DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA A LA GUÍA N° 16A

Conexión de la cubierta metálica de cada cable de fibra óptica de planta externa a la Guía N° 16A. Sirve también para conectar a tierra las mufas de los cables de fibra óptica, cuando este tiene piezas metálicas (Ver Figura 10, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Instalación y Construcción

Esta guía se conecta a la coraza metálica de la mufa de cables por medio de un terminal de compresión de un agujero para cable N° 6, y en el otro extremo con conector tipo C-tap N° 10.

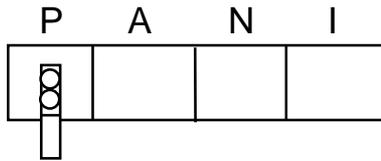
Todas las conexiones realizadas con conectores C-tap deben ser cubiertas con cinta eléctrica N° 23 y luego con “teipe” eléctrico.

NOTA: Esta guía se conecta a la Guía N° 17B por encima del bastidor.

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, conector tipo C-tap N° 10, cinta eléctrica N° 23, terminal de compresión de un agujero N° 6.

GUÍA N° 17B CONEXIÓN DEL ESTANTE DE FIBRA OPTICA A LA MGB Ò FGB



Es una guía colectora que se extiende desde la barra MGB/FGB hasta los montantes de los armarios en la sala de PCM, donde se coloca el cable de fibra óptica o hasta la cubierta metálica de los cables de fibra óptica en la fosa de cables (Ver Figura 10, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable debe tener las siguientes características:

Calibre: N° 1/0 AWG.

Aislamiento: THW

Material: Cobre (Cu).

Nivel de Aislamiento: 600 Vac.

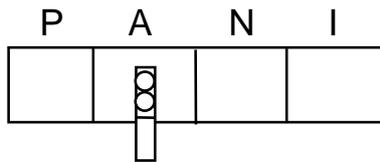
Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 1".

Materiales

Cable THW N° 1/0 AWG, tubería de PVC de diámetro 1", rieles "unistrud", terminal de compresión tipo doble agujero, etiquetas de identificación.

GUÍA N° 18 DEL IGUALADOR VERTICAL A LA BARRA PRINCIPAL MGB Ò FGB DEL PISO HASTA LA FGB DE CADA PISO



Esta guía conecta verticalmente las barras de cada piso para igualar los voltajes y para facilitar la interconexión de los igualadores horizontales. Deben ser instalados de la forma más recta posible. Es usada en estructuras de múltiples pisos.

Se extiende desde la barra MGB/FGB del piso inferior hasta la barra FGB de cada piso (Ver Figura 8, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: 750 Kcmil

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de esta guía se realizará por una tubería de PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 2".

Instalación y Construcción

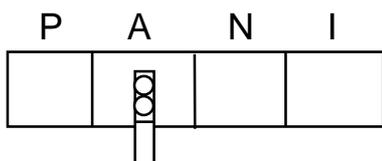
Se instalarán terminales de compresión tipo doble agujero para ser conectados a las barras MGB/FGB. Debe instalarse de la forma más recta posible. Los radios de curvaturas no deben exceder de 45°.

NOTA: En el igualador vertical deben evitarse las curvaturas. Cuando sea inevitable utilice un radio de curvatura mínimo de 36° (0,90 m).

Materiales

Cable THW N° 750 Kcmil, terminales de compresión tipo doble agujero, tubería PVC pesado, rieles "unistrud", abrazaderas morochas de 2".

GUÍA N° 19 CONEXIÓN DE LA BARRA FGB DEL PISO A LA GUÍA N° 18



Esta guía se usa cuando las barras de piso FGB no pueden ser conectadas por medio de la Guía N° 18, debido a obstrucciones en la ruta del trazado. La longitud máxima es de 2 m (Ver Figura 11, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: 750 Kcmil

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

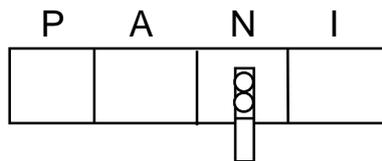
Canalización Eléctrica

El tendido de esta guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 2".

Materiales

Cable THW N° 750 Kcmil, tubería PVC pesado de diámetro 2", rieles "unistrud", abrazaderas, terminales de compresión doble agujero, moldes para soldadura exotérmica, cinta eléctrica N° 23.

GUÍA N° 20 CONEXIÓN DE LA BARRA FGB DEL PISO A LA BARRA DE TIERRA DE UN TABLERO SECUNDARIO



Esta guía conecta a la barra MGB o FBG de piso con la barra de tierra de cada tablero secundario de AC en ese piso. Este conductor es el de puesta a tierra de equipos y debe ser de color verde.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 1".

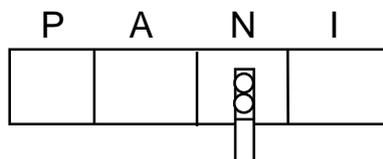
Instalación y Construcción

En instalaciones nuevas esta guía debe ser embutida en pared. En los casos de adecuaciones, se debe procurar en lo posible que esta guía sea embutida en pared, para lo cual se debe realizar ponchaduras en los tableros.

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, tubería PVC pesado de 1" de diámetro, terminales de compresión tipo doble agujero.

GUÍA N° 20 A CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) AL TABLERO PRINCIPAL PARA SISTEMAS DERIVADOS SEPARADAMENTE



Es una conexión del neutro de cada sistema derivado (transformador, etc.) a la barra principal MGB o a la barra de piso FGB más cercana.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: El calibre es determinado por la Tabla N° 2, Anexo 7.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac

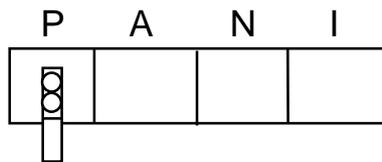
Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC pesado, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro conforme al calibre del cable seleccionado.

Materiales

Conductor de cobre trenzado, Tubería de PVC pesado, terminales de compresión tipo doble agujero, rieles “unistrud”, abrazaderas y etiquetas de identificación.

GUÍA N° 21 CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) AL ANILLO INTERIOR (SALA DE RADIO) DE PUESTA A TIERRA



La Guía N° 21 se extiende desde la barra de tierra MGB o FGB, según sea el caso, hasta el anillo de puesta a tierra de la sala de radio (Guía N° 21A). Ver Figura 12, Anexo F.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará a través de una tubería de PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4" si el tramo es mayor de 1 m.

Materiales

Cable THW N° 2 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 2 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4", rieles "unistrud", etiquetas de identificación.

GUÍA N° 21A CONEXIÓN DEL ANILLO DE PUESTA TIERRA DE LA SALA DE RADIO

La Guía N° 21A es el anillo de puesta a tierra de la sala de Radio, el cual se encuentra a una altura por encima del sistema de transmisión más alto instalado dentro de la sala (Ver Figura 12, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

Esta guía no requiere del uso de canalización eléctrica (Ver detalle de instalación en la Figura 13, Anexo F).

Instalación y Construcción

Esta guía debe ser instalada adosada a la pared por medio de aisladores de porcelana, instalados a 1 m de separación entre ellos.

Materiales

Cable THW N° 2 AWG, aisladores de porcelana, etiqueta de identificación.

GUÍA N° 21B CONEXIÓN DEL ANILLO DE LA SALA DE RADIO HASTA LA GUIA N° 1

La Guía N° 21B se extiende desde el anillo de la sala de radio (Guía N° 21A) hasta la Guía N° 1 o anillo exterior.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC pesado con revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Materiales

Cable THW N° 2 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4", conector tipo C-TAP para cable N° 22 AWG, soldadura exotérmica.

GUÍA N° 21C CONEXIÓN DE PUESTA A TIERRA EN LA SALA DE RADIO

La Guía N° 21C se extiende desde la Guía N° 21A hasta el rack del sistema de transmisión (Ver Figura 12, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepción: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 21C por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla. Cuando la distancia entre cada sistema de transmisión y la Guía N° 21A no supere 1 m, la guía deberá estar sujeta a la escalerilla con abrazaderas plásticas ("Tie-wrap").

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 6 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4 pulgada, rieles "unistrud", abrazaderas plásticas, etiqueta de identificación.

GUÍA N° 22 CONEXIÓN DEL ANILLO EXTERIOR DE TECHO AL SISTEMA DE PARARRAYOS

La Guía N° 22 comprende: El anillo del sistema de pararrayos instalado en el techo de la edificación, los bajantes del pararrayos, las conexiones de los objetos metálicos que se encuentran ubicados a una distancia menor de 3 m del anillo.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Anillo del sistema de pararrayos y bajantes del pararrayos:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Tipo: Trenzado.

Aislamiento: Desnudo.

Material: Cobre (Cu).

Conexiones o derivaciones hacia los objetos metálicos desde el anillo:

Calibre: N° 2 AWG.

Tipo: Sólido.

Aislamiento: Desnudo.

Material: Cobre (Cu).

Canalización Eléctrica

Esta guía no requiere el uso de canalización eléctrica. En el Anillo del pararrayos y sus bajantes se requiere:

Soporte: aisladores como fijación en todo el perímetro de la azotea.

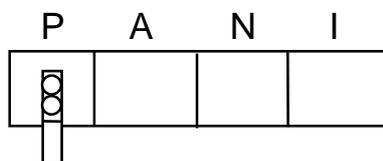
En las derivaciones hacia los objetos metálicos desde el anillo se requiere:

Soporte: aisladores como fijación del anillo hasta las estructuras metálicas o equipos.

Materiales

Cable N° 2 AWG sólido y N° 2/0 AWG trenzado, conectores tipo C-tap para cable N° 2/0 AWG con derivación a cable N° 2 AWG, aisladores y abrazaderas.

GUÍA N° 23 CONEXIÓN DE LA MGB A LA ECPGB



Conexión desde la barra MGB/FGB hasta la barra ECPGB del gabinete principal de distribución (MDF). Ver Figura 14, Anexo F. Se debe colocar una guía N° 23 por cada 5 m de barra ECPGB. Se recomienda un mínimo de dos Guías N° 23 en cada MDF.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 1/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de las guías se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 1".

Materiales

Cable THW N° 1/0 AWG, tubería de PVC de 1 pulgada de diámetro, terminal de compresión de un agujero para cable N° 1/0 AWG, rieles "unistrud", abrazaderas para tuberías de 1", etiquetas de identificación.

GUÍA N° 23A CONEXIÓN DE LA MGB AL BASTIDOR QUE CONTIENE LOS CABLES DE ALTA FRECUENCIA

La Guía N° 23A es una guía colectora que se extiende desde la barra de tierra MGB o FGB, según sea el caso, hasta el rack que contiene equipos de alta frecuencia (MDF). Se instala cuando los módulos de protectores están instalados en los bastidores y no en el distribuidor, dado que en este caso no exista la barra ECPGB.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 1/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 1".

Materiales

Cable THW N° 1/0 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 1/0 AWG, tubería de PVC de 1", rieles "unistrud", abrazaderas para tuberías de 1 pulgada.

GUÍA N° 24 CONEXIÓN DE LA BARRA ECPGB AL MODULO DE PROTECTORES

La Guía N° 24 se extiende desde la barra ECPGB (MDF) o Guía N° 23A, según sea el caso, hasta el módulo de protectores más cercano en cada vertical del MDF (Ver Figura N° 14, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará en la parte superior o inferior del MDF, conforme sea la configuración del mismo.

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, conectores tipo C-tap para cable N° 1/0 AWG con derivación a cable N° 6 AWG (en el caso de derivación desde la Guía N° 23A). En caso de existir la barra ECPGB se deriva utilizando terminal de compresión de un agujero.

GUÍA N° 24A CONEXIÓN DE UN MODULO DE PROTECCION AL SIGUIENTE

La Guía N° 24A interconecta el punto de llegada de la Guía N° 24 con los puntos de tierra de cada uno de los módulos del MDF (Ver Figura N° 14, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de Aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

No se utiliza canalización para el tendido de la guía, la ruta se realiza a la vista.

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminales de compresión de un agujero para cable N° 6 AWG.

GUÍA N° 25 CONEXIÓN DEL BAJANTE DE PARARRAYOS A LA GUIA N° 1

La Guía N° 25 se extiende desde cada bajante del sistema de pararrayos hasta la Guía N° 1.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Tipo: Trenzado

Material del conductor: cobre (Cu).

Instalación y Construcción

Se deberá excavar una tanquilla de 30 cm. x 30 cm. x 40 cm. para la conexión de la Guía N° 25 con la Guía N° 1, a fin de tener un punto para medición y pruebas. Se conecta a la Guía N° 1 por medio de soldadura CADWELD.

Materiales

Cable N° 2 AWG, soldadura exotérmica.

GUÍA N° 26 CONEXIÓN DE OBJETOS METALICOS AL BAJANTE DEL PARARRAYOS

Es utilizada para conectar los objetos metálicos que se encuentran a una distancia menor de 3 m de la Guía N° 25 (bajante del pararrayos) de la edificación.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, soldadura exotérmica o terminal de compresión en la unión del conductor al bajante del pararrayo y terminal de compresión de un agujero para cable N° 6 AWG.

GUÍA N° 27 CONEXIÓN DEL ANILLO DE LA TORRE HASTA LA GUIA N° 1

La Guía N° 27 se extiende desde la Guía N° 1 hasta el anillo de la torre. Esta Guía se utiliza cuando la torre se encuentra próxima a la caseta. La conexión sirve para equipotenciar los voltajes entre los sistemas de puesta a tierra.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Tipo: sólido desnudo.

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una zanja de 0,40 m de ancho por 0,75 m de profundidad.

Materiales

Cables N° 2 AWG, moldes para soldadura exotérmica.

GUÍA N° 28 CONEXIÓN DE LA GUIA N° 1 HASTA EL ANILLO DE LA CASETA DE RADIO

La Guía N° 28 se extiende desde la Guía N° 1 hasta el anillo exterior de la caseta de radio. Se usa cuando la caseta se encuentra ubicada en las cercanías de la central para igualar los voltajes.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Tipo: sólido desnudo.

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una zanja de 0,75 m de profundidad por 0,40 m de ancho.

Materiales

Cables N° 2 AWG, moldes para soldadura exotérmica.

GUÍA N° 29 CONEXIÓN DEL CARGADOR DE BATERIA A LA BARRA DE TIERRA DEL TABLERO DE AC

La Guía N° 29 se extiende desde la barra de tierra del tablero de Rectificadores AC hasta el punto de conexión de tierra de cada Rectificador (Ver Figura 15, Anexo F).

Excepción: Se deberá tener cuidado cuando los Rectificadores a instalar son modulares, debido a que podrá existir una Guía N° 29 por cada tres (3) Rectificadores, por lo que se recomienda consultar con el proveedor del equipo.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: Se seleccionará de acuerdo a la Tabla N° 3, Anexo 4.

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

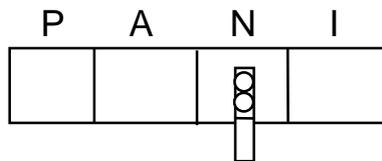
Canalización Eléctrica

El tendido de la(s) guía(s) se realizará por la misma tubería (tubería de acero galvanizado) de los cables de alimentación AC de los Rectificadores. En casos de instalaciones existentes, esta guía se podrá canalizar por tuberías de PVC.

Materiales

Terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 2 AWG, tubería PVC, conector tipo C-tap, rieles “unistrud”, etiqueta de identificación.

GUÍA N° 31 CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) A LAS GUIAS N° 32 A N° 36



Es una guía colectora que conecta los rack's o chasis de los equipos de energía con la barra de tierra. Se extiende desde la barra de tierra identificada como MGB o FGB, según sea el caso, desde las Guías N° 32 a la N° 34 (Ver Figura 15, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 1".

Excepción: Se podrá realizar el tendido de la Guía N° 31 por las escalerillas portacables, en aquellos casos donde se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.). Para ello se deberá respetar una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen la misma escalerilla.

Materiales

Cable THW N° 2/0 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 2 AWG, tubería PVC, rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 32 CONEXIÓN DE LA GUIA N° 31 AL CHASIS DEL CARGADOR DE BATERIA

La Guía N° 32 se extiende desde la Guía N° 31 hasta cada uno de los chasis de los rectificadores, en el mismo punto de conexión de la Guía N° 29 (Ver Figura 15, Anexo F).

Excepción: La Guía N° 32 podrá extenderse desde cada uno de los chasis de los rectificadores directamente hasta la barra de tierra MGB o FGB, en aquellos casos donde la sala es de dimensiones pequeñas y/o existan pocos equipos dentro de la misma. En este caso no existirá la Guía N° 31.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepciones: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 32 por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando:

- 1) La distancia entre cada Rectificador y la Guía Colectora N° 31 no es muy grande.
- 2) No exista la Guía N° 31 y se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.).

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 6 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2/0 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC, rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 33 CONEXIÓN DE LA GUIA N° 31 AL RACK DE BATERIAS

La Guía N° 33 se extiende desde la Guía N° 31 hasta el rack o chasis de cada banco de baterías (Ver Figura 16, Anexo 6). Para los bancos de baterías estacionarias reguladas por válvulas, deberá existir continuidad de tierra entre cada uno de los bloques que conforman el banco.

Excepción: La Guía N° 33 podrá extenderse desde cada uno de los rack's de las baterías directamente hasta la barra de tierra MGB o FGB, en aquellos casos donde la sala es de

dimensiones pequeñas y/o existan pocos equipos dentro de la misma. En este caso no existirá la Guía N° 31.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepciones: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 33 por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando:

- 1) La distancia entre cada rack de baterías y la Guía Colectora N° 31 no es muy grande.
- 2) No exista la Guía N° 31 y se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.).

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 6 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2/0 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC, rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 34 CONEXIÓN DE LA GUÍA N° 31 AL CHASIS DE LA UNIDAD DE CONTROL DE ENERGÍA (PCU)

La Guía N° 34 se extiende desde la Guía Colectora N° 31 hasta el rack o chasis del cuadro de fuerza (Ver Figura 15, Anexo F). Si el cuadro de fuerza está conformado por más de un cuerpo o bastidor, la Guía N° 34 se extenderá desde la Colectora hasta una barra que interconecta todos los bastidores. En caso de que dicha barra no exista, se deberá garantizar la continuidad de tierra mediante la conexión de cables entre cada uno de los bastidores.

Excepción: La Guía N° 34 podrá extenderse desde el rack del cuadro de fuerza directamente hasta la barra de tierra MGB o FGB, en aquellos casos donde la sala es de dimensiones pequeñas y/o existan pocos equipos dentro de la misma. En este caso no existirá la Guía N° 31.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepciones: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 34 por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando:

- 1) La distancia entre el rack del Cuadro de Fuerza y la Guía Colectora N° 31 no es muy grande.
- 2) No exista la Guía N° 31 y se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.).

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N°6 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2/0 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4 ", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 35 CONEXIÓN DE LA GUIA N° 31 AL BASTIDOR DE LA UNIDAD DE DISTRIBUCIÓN (DSU)

La Guía N° 35 se extiende desde la Guía Colectora N° 31 hasta el bastidor o chasis de cada panel de distribución intermedio (Ver Figura 17, Anexo F).

Excepción: La Guía N° 35 podrá extenderse desde el rack de cada panel de distribución (PDB) intermedio directamente hasta la barra de tierra MGB o FGB, en aquellos casos donde la sala es de dimensiones pequeñas y/o existan pocos equipos dentro de la misma. En este caso no existirá la Guía N° 31.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepciones: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 35 por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando:

- 1) La distancia entre el rack del PDB intermedio y la Guía Colectora N° 31 no es muy grande.
- 2) No exista la Guía N° 31 y se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.).

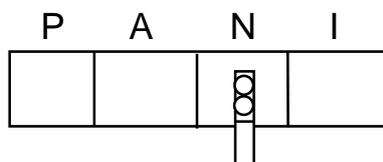
Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 6 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2/0 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 36 CONEXIÓN DE LA GUÍA N° 31 AL CHASIS DE LA UNIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA (PDU)

Conexión de cada chasis de la unidad de distribución de energía a la guía N° 31.

GUÍA N° 37 CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) AL TERMINAL POSITIVO DEL BANCO DE BATERIAS



La Guía N° 37 es muy relevante debido a que es la puesta a tierra del sistema de energía DC. La misma se extiende desde la barra de tierra MGB o FGB, según sea el caso, hasta el polo positivo del banco de baterías eléctricamente más cercano a los cargadores (ver figuras 16 y 18, Anexo F). La conexión también puede hacerse en un punto (regleta de empalme) que no exceda en 1m al terminal positivo.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: Se seleccionará de acuerdo al consumo de DC de la Central o Estación y de la longitud de la guía. Por tanto se tiene:

- a) Calibre AWG N° 2/0, para un consumo hasta 200 A y una longitud de la guía hasta 9 m.
- b) Calibre N° 350 Kcmil, para un consumo desde 201 A hasta 500 A y una longitud de la guía hasta 15 m.
- c) Calibre N° 750 Kcmil, para un consumo mayor de 500 A y una longitud de la guía superior a los 15 m.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Observación: Cuando la Guía N° 37 resulte ser de calibre 750 Kcmil, se deberá tomar en consideración el esfuerzo mecánico que ejerce este cable sobre los postes del banco de baterías. En este caso se deberá instalar en la pared una barra de cobre (Ver barra de puesta a tierra intermedia, página 85), desde la cual se conectará un cable de longitud no mayor de un metro hasta el polo positivo del banco de baterías. El cable a utilizar recomendado por el fabricante es el RK-150 mm (equivalente a un 300 Kcmil). Se recomienda usar dos cables RK-150 mm desde la barra intermedia hasta el polo positivo del banco de baterías.

Para los grupos de bancos de baterías con sistemas de energía independientes que alimentan centrales o equipos de diferentes tecnologías, se instalarán tantas guías como sistemas de energías existan.

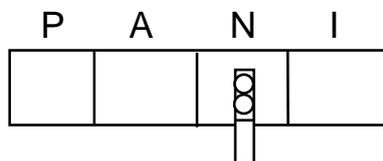
Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro según el calibre seleccionado.

Materiales

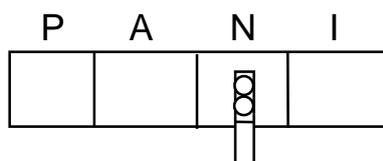
Terminal de compresión tipo doble agujero para cable del calibre requerido, tubería PVC, rieles “unistrud”, etiqueta de identificación.

GUÍA N° 37A CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) AL CONVERTIDOR



La Guía N° 37A es la conexión de la barra principal o de piso a cada convertidor. Los convertidores son por lo general los suministradores de voltaje DC para equipos de alta frecuencia.

GUÍA N° 38A CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL A CADA PDB



La Guía N° 38A se extiende desde la barra de tierra FGB hasta el rack o chasis de cada PDB auto soportado (Ver Figura 19, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 1".

Excepción: Se podrá realizar el tendido de la Guía N° 38A por las escalerillas porta cables, en aquellos casos donde se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.). Para ello se deberá respetar una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen la misma escalerilla.

Materiales

Cable THW N° 2/0 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 2/0 AWG, tubería PVC de diámetro 1", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

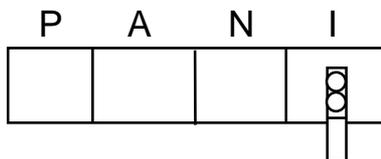
GUÍA N° 39 CONEXIÓN DE UNA SECCION DE CUBIERTA A OTRA

La Guía N° 39 es la conexión de puente entre cada una de las secciones de cubierta metálica que rodean o protegen a un sistema de barra suministradora de DC en un conductor entre piso y piso.

GUÍA N° 40 CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL O DE PISO A LA CUBIERTA METALICA

La Guía N° 40 es la conexión en cada piso de la barra principal o de piso que rodea o protege al sistema de barras suministradas de DC.

GUÍA N° 41 CONEXIÓN DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) A LAS GUIAS N° 42 Y 58



La Guía N° 41 es la guía colectora de la puesta a tierra de cada una de las filas de bastidores de conmutación. La misma se extiende desde la barra de tierra MGB o FGB, según sea el caso, hasta la Guía N° 58 (Ver Figura 20 y 21, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

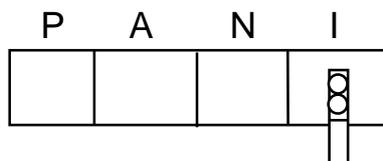
El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 1".

Excepción: Se podrá realizar el tendido de la Guía N° 41 por las escalerillas portacables, en aquellos casos donde se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.). Para ello se deberá respetar una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen la misma escalerilla.

Materiales

Cable THW N° 2/0 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 2/0 AWG, tubería PVC de diámetro 1", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 41A CONEXIÓN DE LA REGLETA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) A LAS GUIAS N° 58A



La Guía N° 41A es la guía colectora de la puesta a tierra de cada una de las filas de bastidores de transmisión. La misma se extiende desde la barra de tierra MGB o FGB, según sea el caso, hasta la Guía N° 58A (Ver Figura 20 y 21, Anexo F).

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 1".

Excepción: Se podrá realizar el tendido de la Guía N° 41A por las escalerillas porta cables, en aquellos casos donde se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.). Para ello se deberá respetar una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen la misma escalerilla.

Materiales

Cable THW N° 2/0 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 2/0 AWG, tubería PVC de diámetro 1", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 42 CONEXIÓN DE LA GUIA N° 41 CADA ALINEACION DE EQUIPOS

La Guía N° 42 es la conexión en cada alineación o grupo de bastidores de equipos electrónicos. El uso de la guía 42 esta restringidos a alineaciones existentes.

GUÍA N° 43 PUENTE ENTRE BASTIDORES CONSECUTIVOS

La Guía N° 43 se conoce como el sistema antiguo donde los bastidores consecutivos eran conectados por intermedio de un puente usando una placa metálica. Este sistema es usado con la Guía N° 42.

GUÍA N° 44 PUENTE ENTRE BASTIDORES

La Guía N° 44 se conoce como el sistema antiguo donde los bastidores separados por vacíos o construcciones eran conectados por intermedio de un puente usando una placa metálica. Este sistema es usado con la Guía N° 42

GUÍA N° 45 CONEXION DEL NEUTRO DEL TABLERO PRINCIPAL A UN TABLERO SECUNDARIO

Esta guía es utilizada para conectar el neutro del tablero principal con el neutro del tablero secundario que alimenta los tomacorrientes aislados (color naranja). El sistema aislado ayuda a reducir el ruido al reducir la cantidad de corriente del conductor.

Dimensionamiento y Selección

El calibre del cable será seleccionado de acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 3, Anexo 7, y no debe ser menor al calibre AWG N° 6.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC, con pintura de revestimiento color verde. El diámetro dependerá del calibre del conductor.

Instalación y Construcción

Se debe instalar terminales de compresión de un agujero en cada extremo del cable seleccionado y marcar cada extremo con una cinta amarilla. En el tablero secundario se debe colocar una barra pequeña identificada con color naranja, donde será conectada la Guía N° 45. Se debe diseñar el tablero con dimensiones adecuadas para instalar esta barra.

Materiales

Conductor de cobre, tubería de PVC, terminal de compresión de un agujero.

GUÍA N° 46 CONEXION DE LA GUIA N° 45 A TOMACORRIENTES AISLADOS (NARANJA)

Esta guía es utilizada para conectar los tomacorrientes aislados (naranja) a la Guía N° 45.

Dimensionamiento y Selección

El calibre del cable será seleccionado de acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 3, Anexo 7, y no debe ser menor al calibre AWG N° 6.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC, con pintura de revestimiento de color verde (si es superficial). El diámetro dependerá del calibre del conductor. El recorrido se realiza desde la barra color naranja del tablero secundario al tomacorriente color naranja.

Materiales

Conductor de cobre, tubería de PVC, tomacorriente color naranja, terminal de compresión de un agujero.

GUÍA N° 47 CONEXION DE LA BARRA PRINCIPAL O DE PISO A LA GUIA N° 48

Esta guía es utilizada para conectar la barra principal o de piso hacia cada alimentación de los equipos de conmutación electromecánicos.

GUÍA N° 48 CONEXION DE LA GUIA N° 47 A CADA CHASIS ELECTROMECHANICO

Esta guía es utilizada para conectar guía N° 47 a cada chasis de equipos electromecánicos.

GUÍA N° 49 CONEXION DE LA GUIA N° 48 A CADA ESTANTE EN EL BASTIDOR

Esta guía es utilizada para conectar el punto donde termina la guía N° 48 a cada estante o repisa dentro del bastidor. Usado con sistemas electromecánicos solamente.

GUÍA N° 50 CONEXION DE LA GUIA N° 51 AL COLECTOR DE RETORNO EN EL BASTIDOR DE LA UNIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGIA (PDU)

Sistema antiguo donde los equipos de transmisión mezclados (tipo aislado y tipo ingresado) eran conectados a tierra por intermedio de los equipos de energías o por las barras de piso.

GUÍA N° 51 CONEXION DE LA GUIA N° 50 A LOS BASTIDORES DE TRANSMISION AISLADOS

Esta guía se usa para realizar la conexión de la guía N° 50 a los bastidores conteniendo equipo de transmisión tipo aislados.

GUÍA N° 52 CONEXION DEL PLANTEL DE FUSIBLES EN CADA BASTIDOR A LA BARRA DE PUESTA A TIERRA DEL BASTIDOR

Esta guía se usa para realizar la conexión del plantel de fusibles en bastidores con equipos de transmisión a la barra de tierra al mismo bastidor.

GUÍA N° 53A CONEXION DE LA BARRA PRINCIPAL AL BASTIDOR DE LA UNIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGIA (PDU)

Esta guía se usa para realizar la conexión de la barra principal al bastidor de la unidad de distribución de la energía (PDU) para equipos de transmisión.

GUÍA N° 54 CONEXION DE LA BARRA PRINCIPAL O DE PISO AL GABINETE DE ALMACENAMIENTO DE TARJETAS ELECTRONICAS

Esta guía se usa para realizar la conexión de la barra principal o de piso a los gabinetes de almacenamiento de tarjetas electrónicas y otros componentes electrónicos. Esta conexión sirve

para reducir daños causados por descargas electrostáticas, además de que facilita la conexión de la puesta a tierra de las personas que usan esos gabinetes.

GUÍA N° 55 CONEXION DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) A LA ENTRADA DE LOS CABLES COAXIALES O DE GUIA DE ONDA

La Guía N° 55 se extiende desde cada guía de onda y/o cable coaxial hasta una barra auxiliar y/o MGB/FGB. Cuando aplique, se extenderá hasta la conexión de la barra auxiliar al anillo.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Tramo cable coaxial o guía de onda a barra auxiliar y/o MGB/FGB.

Calibre del conductor: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: trenzado.

Material del conductor: Cobre.

Barra auxiliar a anillo.

Calibre del conductor: N° 2 AWG.

Aislamiento: desnudo.

Tipo: Sólido

Material del conductor: Cobre.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC pesado, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro adecuado al calibre del cable.

Instalación y Construcción:

- En la torre de transmisión, a la altura del nivel inferior de la escalerilla de transmisión, se instalará una barra auxiliar de fácil acceso. En ella se conectarán las guías de ondas y cables coaxiales. La barra auxiliar se conectará al anillo con conductor sólido
-

desnudo N° 2. Para escalerillas a una altura de difícil acceso para el mantenimiento, no aplica este requerimiento.

- En las salas de transmisión fija y Móvil con equipos de TX, se conectará la Guía N° 55 directamente a la MGB.
- En las salas de transmisión ubicadas en pisos superiores, se instalará una barra MGB/FGB cercana a la entrada de las guías de ondas y coaxiales.
- En las casetas de transmisión, se instalará en la pared exterior por donde entran las guías de onda y cables coaxiales. La barra auxiliar se conectará al anillo con conductor sólido desnudo N° 2.

Observaciones:

- La conexión de los cables coaxiales y las guías de ondas a la Guía N° 55, se realizará con “kits” estandarizados. El “kit” consiste en una cinta de cobre con aleta de dos agujeros, cable de conexión, “teipe” eléctrico y goma sellante.
- La dimensión de la barra auxiliar dependerá de la cantidad de guías de ondas y coaxiales a conectar.
- Para recorridos externos de escalerillas se deben instalar barras auxiliares cada 15 m.

Materiales

Tubería PVC pesado, “kit” para guía de ondas y cables coaxiales, conector de compresión doble agujero, soldadura exotérmica y barras auxiliares estandarizadas de 10” x 4” x 1/4” ó 20” x 4” x 1/4”.

GUÍA N° 56 CONEXION DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) AL SUMINISTRO DE AC PARA LOS GABINETES DE EQUIPOS DE RADIO

Esta guía se extiende desde la barra de tierra MGB o FGB, según sea el caso, hasta el gabinete de alimentación AC del equipo de radio. Esta guía se utiliza cuando hay un solo bastidor de radio en la sala de transmisión. Se elimina el anillo y se conecta la Guía N° 56 directamente a la barra.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material: Cobre (Cu).

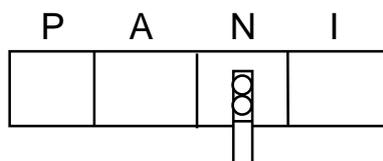
Nivel de Aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 1".

Materiales

Cable THW N° 2/0 AWG, tubería de PVC de diámetro 1", rieles "unistrud", terminal de compresión de doble agujero, etiquetas de identificación.

GUÍA N° 57 CONEXION DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) AL CENTRO DE LA SUPERESTRUCTURA METALICA

Esta guía se extiende desde la barra MGB o FGB, según sea el caso, hasta las escalerillas de la sala de conmutación. Todas las secciones de la escalerilla deben estar unidas eléctricamente. Esta guía es opcional sólo para edificaciones existentes; para las nuevas edificaciones debe ser considerada.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Para realizar los puentes entre escalerillas y para dar continuidad eléctrica, se debe utilizar cable THW N° 6 AWG, trenzado de cobre.

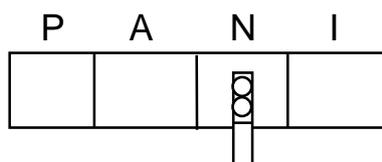
Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 1".

Materiales

Cable THW N° 2/0 AWG, tubería de PVC de diámetro 1", rieles "unistrud", terminal de compresión de doble agujero, etiquetas de identificación.

GUÍA N° 57A CONEXION DE LA BARRA PRINCIPAL (MGB) O DE PISO (FGB) AL CENTRO DE LA SUPERESTRUCTURA METALICA



Esta guía se extiende desde la barra MGB o FGB, según sea el caso, hasta las escalerillas de la sala de transmisión. Todas las secciones de la escalerilla deben estar unidas eléctricamente. Esta guía es opcional solo para edificaciones existentes; para las nuevas edificaciones debe ser considerada.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2/0 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Para realizar los puentes entre escalerillas y para dar continuidad eléctrica, se debe utilizar cable THW N° 6 AWG, trenzado de cobre.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería de PVC, con pintura de revestimiento de color verde, de diámetro 1".

Materiales

Cable THW N° 2/0 AWG, tubería de PVC de diámetro 1 pulgada, rieles "unistrud", terminal de compresión de doble agujero, etiquetas de identificación.

GUÍA N° 58 CONEXION DE LA GUIA N° 41 HASTA CADA ALINEACION DE BASTIDORES

La Guía N° 58 es una guía colectora que permite la puesta a tierra de cada bastidor de conmutación. La misma se deriva desde la Guía Colectora N° 41 (Ver Figura 21, Anexo F).

Excepción: La Guía N° 58 podrá extenderse desde cada una de las filas de bastidores directamente hasta la barra de tierra MGB o FGB, en aquellos casos donde la sala es de dimensiones pequeñas y/o existan pocos equipos dentro de la misma. En este caso no existirá la Guía N° 41.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepciones: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 58 por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando:

- 1) La distancia entre cada fila de los equipos de conmutación y la Guía Colectora N° 41 no es muy grande.
- 2) No exista la Guía N° 41 y se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.).

Materiales

Cable THW N° 2 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2/0 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 58A CONEXION DE LA GUIA N° 41A HASTA CADA ALINEACION DE BASTIDORES

La Guía N° 58A es una guía colectora que permite la puesta a tierra de cada bastidor de transmisión. La misma se deriva desde la Guía Colectora N° 41A (Ver Figura 21, Anexo F).

Excepción: La Guía N° 58A podrá extenderse desde cada una de las filas de bastidores directamente hasta la Barra de Tierra MGB o FGB, en aquellos casos donde la sala es de dimensiones pequeñas y/o existan pocos equipos dentro de la misma. En este caso no existirá la Guía N° 41.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 2 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepciones: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 58A por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando:

- 1) La distancia entre cada fila de equipos de transmisión y la Guía Colectora N° 41 no es muy grande.
- 2) No exista la Guía N° 41 y se dificulte la instalación de una tubería debido a posibles interferencias existentes en la sala (tuberías de agua, ductos de aire acondicionado, etc.).

Materiales

Cable THW N° 2 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2/0 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 59 CONEXIÓN DE LA GUÍA N° 58 A CADA BASTIDOR

La Guía N° 59 se extiende desde la Guía Colectora N° 58 hasta cada una de los bastidores con equipos de conmutación electrónicas. (Ver Figura 21, Anexo F). La longitud máxima deberá ser de 1,5 m.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepción: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 59 por las escalerillas portacables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando la distancia entre cada bastidor de transmisión y la Guía Colectora N° 58 no es muy grande.

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 6 AWG, conector tipo C-tap para cable N° 2 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4", etiqueta de identificación.

GUÍA N° 59A CONEXIÓN DE LA GUÍA N° 58 A CADA BASTIDOR

La Guía N° 59A se extiende desde la Guía Colectora N° 58A hasta cada una de los bastidores con equipos de transmisión. (Ver Figura 21, Anexo F). La longitud máxima deberá ser de 1,5 m.

Dimensionamiento y Selección

El cable deberá tener las siguientes características:

Calibre: N° 6 AWG.

Aislamiento: THW

Tipo: Trenzado

Material del conductor: Cobre (Cu).

Nivel de aislamiento: 600 Vac.

Canalización Eléctrica

El tendido de la guía se realizará por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde, de diámetro 3/4".

Excepción: Podrá realizarse el tendido de la Guía N° 59A por las escalerillas porta cables, respetando una distancia mínima de separación de 10 cm. con los cables de energía DC que ocupen dicha escalerilla, cuando la distancia entre cada bastidor de transmisión y la Guía Colectora N° 58A no es muy grande.

Materiales

Cable THW N° 6 AWG, terminal de compresión tipo doble agujero para cable N° 6 AWG, conector tipo C-tap para cable N°2 AWG con derivación a cable N° 6 AWG, tubería PVC de diámetro 3/4", rieles "unistrud", etiqueta de identificación.
