

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Sistema de protección eléctrica en radio bases de telefonía móvil

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Pablo Monterroso Pacheco

Cartago, Junio de 2013

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

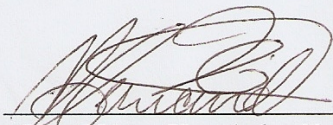
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

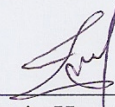
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



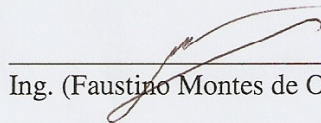
Ing. (Néstor Hernández Hostaller)

Profesor lector



Ing. (Marvin Hernández Cisneros)

Profesor lector



Ing. (Faustino Montes de Oca Murillo)

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

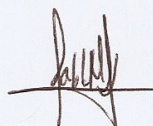
Escuela de Ingeniería Electrónica
17 de junio del 2013

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Junio del 2013



Pablo Monterroso Pacheco

Céd: 113760414

RESUMEN:

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es una empresa dedicada a la producción de energía y a las telecomunicaciones en nuestro país. El proyecto se desarrollará en el área 'Gestión de Red y Mantenimiento'. Específicamente, en el departamento de electromecánica el cual está a cargo del mantenimiento de todas las radio bases del gran área metropolitana. Como es bien sabido, una parte fundamental en la comunicación celular es las antenas. Las mismas están expuestas a las inclemencias del tiempo y de la naturaleza en general, ya que siempre se encuentran en el exterior. Dada ésta problemática se propone un sistema de protección eléctrica de las radio bases en las cuales se ubican éstas antenas. Especialmente se estima que el sistema es de proteger el equipo de telefonía celular ante un pico de tensión y corriente producido principalmente por descargas eléctricas las cuales pueden alcanzar corrientes desde los 20.000 amperios y hasta los 200.000 amperios.

Equipos del ICE que miden el impacto de rayos registraron en el 2009, 398.000 descargas eléctricas en el territorio nacional. No obstante, solo hasta el 8 de setiembre del 2010 ya se contabilizaban 439.000 fenómenos de este tipo.

Palabras claves: radio bases, tensión, corriente.

ABSTRACT

The national electric company of Costa Rica called: 'Instituto Costarricense de Electricidad' known as ICE is a company dedicated to the production of energy and telecommunications. The project will be developed in the section of the institute of 'Maintenance and Network Management'. Specifically, in the electromechanical department which is responsible for the maintenance of all the base stations in the greater metropolitan area. As it is well known, a fundamental part in cellular communication is the antennae, they are exposed to the weather and thunderstorms. With this problem we propose a power protection system for the base stations which will protect these antennas and the telecommunications equipment. It is estimated that the system is going to protect the cellular network equipment from a peak voltage and current, produced mainly by electric shock currents which can reach from 20,000 to 200,000 amps.

Keywords: radio bases, voltage, current, amps.

DEDICATORIA

A mi madre principalmente, Roma Pacheco Bejarano, quien tuvo que sacrificar muchas cosas para que yo esté donde estoy y quien tuvo la fortaleza de estar a mi lado y mostrarme el mejor camino. A mi hermana Peggy Monterroso Pacheco por sus consejos. La familia Pacheco que estuvieron pendientes de mí y apoyarme. La familia Monterroso por su soporte. Mi padre, Pablo Monterroso Azofeifa, por alentar desde la distancia. Y sin excluir a mi sobrina, Sara Rodríguez Monterroso, quien sin duda en su corta edad inspira a cualquiera y es una de las razones por la cual vivir ¡Son una bendición!

Lo que soy hoy, se lo debo a ustedes.

Muchas gracias a todos.

CONTENIDO:

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Problema existente e importancia de la solución	12
1.2. Solución Seleccionada	13
CAPITULO 2: META Y OBJETIVOS.....	14
2.1. Meta	14
2.2. Objetivo General	14
2.3. Objetivos Específicos	14
CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Descripción del fenómeno de descargas eléctricas	15
3.2. Efectos y consecuencias de las descargas eléctricas	19
3.2.1.Pulsos Electromagnéticos	20
3.2.2.Pulsos Electrostáticos	21
3.2.3Corrientes de Tierra.....	21
3.3. Líneas de Energía	22
3.4. Pararrayos	22
3.5. Estándares de Protección	23
Capítulo 4: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	25
4.1. Aspectos Básicos sobre puestas a tierra	25
4.1.1.Electrodos25	
4.1.1.1.Tipos de Electrodo.....	25
4.1.1.2.Comportamiento de un electrodo	29
4.1.1.3.Comportamiento entre electrodos.....	30
4.1.1.4.Corrosión de electrodos.....	31
4.1.2.Conductores.....	32
4.1.3.Resistividad del suelo	33
4.2. Métodos de medición de la resistividad de suelos	36
4.2.1.Método Wenner de cuatro puntos	37
4.2.2.Arreglo de Schlumberger-Palmer	39
4.3. Diseño de mallas	40
4.4. Medición de resistencia de puesta a tierra existente	42

4.4.1.Método y equipo de medición.....	42
4.4.2.Previsiones para la medición	44
4.4.3.Procedimiento.....	47
4.5. Distribución de descargas eléctricas en el territorio costarricense.	49
4.6. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	54
CAPITULO 5: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN.....	55
5.1. Diseño de los cables de puesta a tierra	55
5.1.1.Dimensionamiento	55
5.1.2.Instalación.....	58
5.1.3Rotulación	59
5.2. Especificaciones para electrodos tipo varilla en el sistema de puesta a tierra.	60
5.3. Parámetro de Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra.....	61
5.4. Barras de puesta a tierra.....	61
5.4.1.Rotulación	62
5.4.2.Barra de Tierras de Equipo de Telecomunicaciones (BTET)	63
5.4.3.Sección de Corriente Directa (CD)	64
5.4.4.Sección Chasis de Equipo No Aislado (CENA)	64
5.4.5.Sección Chasis de Equipo Aislado (CEA).....	64
5.4.6.Barra Tierra Auxiliar (BTA).....	65
5.4.7.Barra Maestra de Tierras (BMT)	65
5.4.8.Sección Productores Internos (PI)	66
5.4.9.Sección Absorvedores (A)	66
5.4.10.Sección Productores Externos (PE).....	66
5.4.11.Barra de tierras de Galería de Cables (BTGC).....	66
5.4.12.Barra de tierras de cables de transporte (BTCT)	68
5.4.13.Barra de tierra de Torre (BTT)	68
5.4.14.Barra de tierras de equipo de telefonía inalámbrica (BTETI)	70
5.4.15.Barra de tierra auxiliar de torre (BTAT).....	70
5.5. Sistema de puesta a tierra del equipo de telefonía inalámbrica	70
5.6. Sistemas de puesta a tierra perimetral del edificio o contenedor.....	71
5.7. Distribuidor principal (DP)	71
5.8. Equipo de telefonía inalámbrica	71

5.9. Cables coaxiales o guías de onda	71
5.10.Escalerillas externas de cables	71
5.11.Equipos electrónicos alimentados con corriente alterna	72
5.12.Equipos alimentados con corriente alterna dentro del edificio o contenedor.	73
5.13.Protección del sistema de alimentación eléctrica de corriente alterna.....	74
5.14.Sistemas con transformador dentro del terreno de la estación	75
5.15.Sistemas con transformador fuera del terreno de la estación	75
5.16.Puesta a tierra del sistema de Corriente Directa.....	75
5.17.Puesta a tierra de la planta eléctrica.....	75
5.18.Torres de telecomunicaciones	76
5.19.Cerca metálica de colindancia.....	81
5.20.Protección del edificio contra descargas atmosféricas.....	81
5.21.Contenedores con equipos de telecomunicaciones	82
5.22.Puesta a tierra de vehículos expendedores.	82
5.23.Aditivo reductor de resistencia de puesta a tierra.	82
5.24.Electrodo profundo.....	83
5.25.Cama resistiva de piedra cuarta	83
CAPITULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS.	85
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	86
CAPITULO 8: BIBLIOGRAFÍA.....	87
CAPITULO 9: APÉNDICES	88
1.Abreviaciones:	88
2.Checklist para la revisión de un SPT de una radio base.	89
3.Lista Ordenada de Radio Bases, según zona de riesgo en la GAM.	94
Capítulo 10: ANEXOS.....	106
1.Tabla para mediciones de resistividad del suelos	106
2.Procedimiento de medición Wenner:	107
3.Tabla de Medición de Puesta a Tierra	109
4.Sitios con dificultad de medición	110

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. RAYO EN DIRECCIÓN NUBE-TIERRA.	16
FIGURA 2 DESCARGA ELÉCTRICA DESCENDENTE NEGATIVO.	17
FIGURA 3. DESCARGA ELÉCTRICA DESCENDENTE POSITIVO.	17
FIGURA 4. ZONA DE IMPACTO DE UN RAYO.	19
FIGURA 5. ELECTRODO SEMIESFÉRICO.....	26
FIGURA 6. ELECTRODO DE PLACA CIRCULAR	27
FIGURA 7. ELECTRODO DE PICA.....	28
FIGURA 8. CURVAS EQUIPOTENCIALES QUE SE FORMAN EN EL TERRENO	29
FIGURA 9. INTERACCIÓN DE LAS CURVAS EQUIPOTENCIALES DE DOS ELECTRODOS	30
FIGURA 10. EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICOS.....	34
FIGURA 11. TELURÓMETRO.....	37
FIGURA 12. PUNTA DE PRUEBA Y CONDUCTOR.....	37
FIGURA 13. POSICIONAMIENTO DE LOS ELECTRODOS.	38
FIGURA 14. MÉTODO SCHLUMBERGER-PALMER.	40
FIGURA 15. CONEXIÓN CORRECTA A TIERRA DE BASTIDORES ERICSSON 2106.	42
FIGURA 16. DIAGRAMA UNIFILAR (INSTRUMENTO DE 3 POLOS)	44
FIGURA 17. CAÍDA DE POTENCIAL AL 62%	45
FIGURA 18. RELACIÓN RESISTENCIA VS DISTANCIA PARA CURVAS SOLAPADAS.....	47
FIGURA 19. RELACIÓN RESISTENCIA VS DISTANCIA PARA CURVAS NO SOLAPADAS.....	48
FIGURA 20. MAPA DE DENSIDAD DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EL AÑO 2011.....	50
FIGURA 21. MAPA DE DÍAS DE TORMENTA PARA EL AÑO 2011.	51
FIGURA 22. VARIACIÓN MENSUAL DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.	52
FIGURA 23. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA PARA DESCARGAS DE POLARIDAD.....	53
FIGURA 24. TERMINAL DE DOBLE ORO.	59
FIGURA 25. DIMENSIÓN BARRAS DE PUESTA A TIERRA.....	62
FIGURA 26. BARRA DE TIERRA DE EQUIPO DE TELECOMUNICACIONES.	63
FIGURA 27. BARRA MAESTRA DE TIERRAS.	65
FIGURA 28. AISLADOR TIPO GRANADA PARA BARRA DE TIERRAS.....	67
FIGURA 29. BARRAS BTL Y BTP EN UN DISTRIBUIDOR PRINCIPAL.	68
FIGURA 30. BARRAS BTT	69
FIGURA 31. UNIÓN ENTRE ESCALERILLAS EXTERNAS PARA LA TIERRA.....	72
FIGURA 32. DETALLE DE CONEXIÓN DE PUNTA DEL PARARRAYOS DE UNA TORRE.	76
FIGURA 33. INSTALACIÓN TÍPICA DE UN ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA.	78
FIGURA 34. PUESTA A TIERRA DE UN MONOPOLO.....	79
FIGURA 35. PUESTA A TIERRA DE UNA TORRE.	80
FIGURA 36. SOMBRILLA INVERTIDA DE PROTECCIÓN.....	82
FIGURA 37. CAMA DE PIEDRA DE UNA RADIO BASE.	83
FIGURA 38. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE PUNTO ÚNICO.	84

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. DATOS DEL RAYO DE RETORNO DE UNA DESCARGA ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA .	20
TABLA 2. TAMAÑO MÍNIMO PARA LOS CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA.	33
TABLA 3. VALORES DE RESISTIVIDAD CARACTERÍSTICOS PARA TIPO DE SUELOS.	36
TABLA 4. CÓDIGO DE POLOS PARA MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	43
TABLA 5. DISTANCIAMIENTOS ESPERADOS DE PICAS (Y, Y ₍₋₎ , Y ₍₊₎ , Z)	46
TABLA 6. SEVERIDAD DE LOS 'FLASHES' SEGÚN SU RANGO.	49
TABLA 7. LONGITUD MÁXIMA DEL CONDUCTOR DE COBRE PARA CUMPLIR CON RESISTENCIA OBJETIVO.....	56
TABLA 8. CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA.....	57
TABLA 9. REQUERIMIENTOS DEL NÚCLEO DE ACERO DEL ELECTRODO TIPO VARILLA DE ACERO / COBRE.	61
TABLA 10. CALIBRE MÍNIMO PARA CABLE DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS.....	73

CAPITULO 1: Introducción

1.1. Problema existente e importancia de la solución

Las descargas eléctricas constituyen un fenómeno natural, impredecible y con consecuencias considerables. Por lo que es uno de los principales problemas que enfrentan las radio bases del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Entre los efectos negativos que se presentan después de una descarga eléctrica en una radio base, se encuentran daños a equipos de telefonía celular GSM (por sus siglas en inglés 'Global System for Mobile Communications'), gastos por parte de la institución en reparación o la compra de equipo nuevo para sustituir lo dañado y pérdidas que sufre la empresa por el tiempo en que la radio base está fuera de servicio.

Se busca diseñar un sistema de protección que pueda cumplir con la función de prevenir daño en la radio base. Para una protección efectiva, se requiere que los terminales principales de las entradas del servicio de electricidad estén provistos de dispositivos como pararrayos, conductores adecuados y un buen diseño de puesta a tierra. Y uno de los puntos más importantes es que el diseño a utilizar debe cumplir con las normas de la IEEE.

En las radio bases se encuentran muchos componentes de diferentes clases: de alta potencia; de baja potencia; manejo de datos y demás, por lo que se debe tener diferentes consideraciones. La protección de los sistemas de: baja tensión, recolección y procesamiento de datos para redes locales de computadores, teléfonos y demás, requieren que el voltaje sea fijado a niveles tolerables por los circuitos de los sistemas electrónicos sensitivos. Este tipo de protección utiliza circuitos híbridos de protección de etapas múltiples. Para ello se requiere tomar en cuenta el dimensionamiento de dispositivos supresores de voltajes transitorios con capacidades adecuadas para la magnitud de energía involucrada en el fenómeno de la descarga eléctrica.

Entre los beneficios que se podrían obtener luego de la puesta en práctica del diseño de protección se encuentran:

- Disminución en la cantidad de averías a causa de descargas eléctricas.
- Disminución en gastos por la atención a la avería, llámese, reparación de equipo, compra de módulos nuevos, desplazamiento al lugar del técnico o ingeniero, pago de extras, etc.
- Menos caídas en el servicio celular
- Mayor confianza en la protección eléctrica de la radio base.
- Mejor control sobre el estado de las radio bases, respecto a las puestas a tierra.
- Puestas a tierra dentro de las consideraciones de las normas de la IEEE.

Síntesis del Problema:

Deficiencia de equipos de protección ante descargas eléctricas en radio bases de telefonía móvil.

1.2. Solución Seleccionada

Una protección perfecta, del 100% efectiva, es prácticamente imposible, y toda protección se diseña sobre la base de un riesgo o compromiso estadístico o de probabilidad. Sin embargo, es posible definir criterios generales para la protección de equipos electrónicos en las torres de antenas de la empresa.

Para llegar a un diseño de protección fiable se debe seguir los siguientes pasos:

Capturar del impacto del rayo directo en puntos específicos y conocidos. Esto significa la instalación de uno o más terminales aéreos de captación en las torres. Donde luego se debe conducir la descarga a tierra de una forma segura a través de una ruta conocida. Se debe instalar uno o más sistemas de conducción o bajantes a tierra de forma efectiva y de baja impedancia.

También se debe considerar el eliminar inducciones a través de tierra o lazos de tierra. Se requiere la planificación cuidadosa, la creación de un único sistema de puesta a tierra (bajo las normas de la IEEE) y la consideración práctica para la instalación de los equipos. Una red de tierras de baja impedancia es esencial.

Proteger todas las líneas de potencia que entren en la estructura de la torre o edificio contra sobretensiones. Se requiere la instalación de protectores o filtros reductores específicos contra picos de tensión, equipos estabilizadores, sistemas de alimentación ininterrumpida y otras medidas dependiendo de las circunstancias de cada lugar.

Las líneas de datos y de señal que entren o salgan de la torre o edificio deben ser protegido ante picos de tensión. Esto implica la instalación de cajas, barreras y aparatos de protección de alta velocidad y la correcta puesta a tierra de los cables apantallados.

Por último se desarrollará un formulario donde un técnico pueda comparar una radio base con el diseño de protección propuesto en contraposición a una radio base actual. Para así tener un control sobre el estado de los sistemas de protección y poder tener un plan de mantenimiento según hayan sido evaluados con el formulario.

CAPITULO 2: Meta y objetivos

2.1. Meta

Operar la comunicación móvil con 0% en gastos de reparación de equipo celular en radio bases a causa de descargas eléctricas.

2.2. Objetivo General

Proponer y recomendar un diseño que tenga la capacidad de proteger eléctricamente una radio base y sus respectivos equipos de telefonía móvil, ante descargas eléctricas atmosféricas.

2.3. Objetivos Específicos

- Definir las características y el comportamiento que tienen las descargas eléctricas y las posibles consecuencias que puedan tener sobre el equipo.
- Enumerar sobre cuales métodos de supresión de tensión son los más indicados para proteger la radio base según normas de la IEEE.
- Proponer un modelo a seguir que asegure la protección del equipo.
- Enumerar las mejoras que se le puedan dar a la radio base para evitar daños.

CAPITULO 3: Marco teórico

3.1. Descripción del fenómeno de descargas eléctricas

No hay duda acerca del peligro que implican los rayos y sus efectos asociados. Lesiones o pérdida de la vida, daños y destrucción de infraestructura, pérdidas significativas de tiempo y de dinero por salidas de operación, debidas a daños en los equipos, todo esto convierte a los rayos en una seria amenaza. Para desarrollar el diseño de protección se debe tener claro ¿Cómo suceden las descargas? Y ¿Por qué se dan?

Por lo que es necesario saber que las tormentas eléctricas se producen por el movimiento, a grandes alturas, de masas calientes de aire con una humedad muy elevada. Este transporte puede producirse de diferentes maneras. Una forma es por la radiación del sol que calienta el suelo provocando que las capas de aire más próximas al suelo se calienten y se eleven en la atmósfera. Otra forma de transporte de masas calientes es por la penetración de un frente de aire frío, éste se desplaza por debajo del aire caliente y le obliga a desplazarse hacia arriba. Y como último caso es por la geografía del terreno, ya que el aire caliente próximo al suelo es levantado a causa de sobre corrientes de un terreno cada vez más elevado. Debido a otros efectos físicos adicionales, la elevación en vertical de las masas de aire se intensifica aún más. Se forman cámaras de aire ascendente con velocidades verticales de hasta 100 kilómetros por hora que generan nubes de expansión de una altura típica de 5 a 12 kilómetros y con un diámetro de 5 a 10 kilómetros. Debido a procesos electrostáticos de separación de carga, como por ejemplo el rozamiento de partículas de hielo y chispeo, las nubes se cargan eléctricamente.

Cuando en un núcleo de tormenta, a causa de las densidades ocasionales de carga, se originan intensidades de campo locales de varios cientos de kilovoltios por metro, se produce la "Guía Escalonada" (líder) que es el inicio de la descarga de rayo. Las descargas de rayo nube-nube dan lugar a una compensación de carga entre nubes de centros de carga positivos y negativos y no descargan sobre objetos situados en la superficie de la tierra.

Sin embargo, estas descargas de rayo nube-nube tienen gran relevancia en lo que a la creación de campos electromagnéticos se refiere.

Las descargas de rayo a tierra realizan una compensación de carga entre las cargas de las nubes y las cargas electrostáticas en tierra. Podemos distinguir dos tipos de rayos a tierra:

- Descargas de rayo descendentes (rayos nube-tierra).
- Descargas de rayos ascendentes (rayos tierra-nube).

En el caso de los rayos descendentes la descarga de rayo se inicia por descargas líder orientadas hacia abajo desde la nube a tierra.

Se pueden reconocer los rayos nube-tierra por las ramificaciones del rayo dirigidas hacia tierra como se observa en la figura 1.



Figura 1.Rayo en dirección nube-tierra.

Fuente: [1]

Los rayos que se producen con más frecuencia son rayos descendentes negativos, en los que un camino de carga, con carga negativa, avanza hacia tierra desde la nube de la tormenta (Figura 2). La guía escalonada avanza, por sucesivos impulsos, con una velocidad aproximada de 300 kilómetros por hora en tramos de unos 10 metros. Las causas entre las fases de arranque y parada son de algunas decenas de μs . Cuando el líder se ha aproximado a la tierra (algunas decenas o centenas de metros) entonces se eleva la intensidad de campo eléctrico de elementos situados en la superficie terrestre próximos al líder (p. ej. árboles o antenas). Esta intensidad de campo es tan fuerte que sobrepasa la resistencia dieléctrica del aire. La acumulación de cargas positivas en los objetos afectados, son las primeras en conectar con el líder, cerrando el circuito nube-tierra e iniciándose la descarga principal.

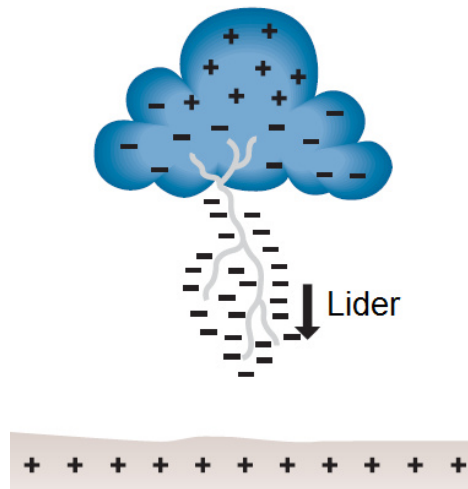


Figura 2. Descarga eléctrica descendente negativo.

Fuente: [2]

Las descargas de rayo descendentes positivas se pueden originar desde la zona de carga positiva en la parte inferior de una nube de tormenta (Figura 3). La proporcionalidad de las polaridades es aproximadamente de 90% de rayos negativos respecto a un 10% de rayos positivos. Esta distribución, depende, sin embargo, de la situación geográfica.

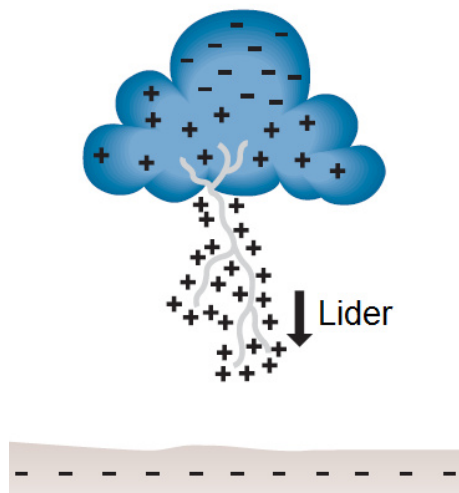


Figura 3. Descarga eléctrica descendente positivo.

Fuente: [2]

Según estudios que se realizan en cataratas, se sabe que las gotas más grandes adquieren una carga positiva al romperse. Las publicaciones realizadas sobre los estudios han mostrado que, cuando las partículas de granizo chocan con los cristales de hielo, la polaridad de la carga depende de la temperatura. Por debajo de una temperatura crítica, llamada temperatura de inversión de carga, las partículas de granizo se cargan negativamente; a temperaturas más altas (que corresponde a pequeñas alturas) se cargan positivamente. El valor de la temperatura de inversión de carga se encuentra aproximadamente entre los -20 y -10 grados Celsius que rondan los 6 km de altura. Con el estudio de la inversión de carga se explica por qué las cargas negativas se encuentran con menos frecuencia por debajo de una altura, donde la temperatura es de unos -15 ° Celsius.

En el otro caso de las descargas de rayo ascendentes (rayos tierra – nube), se pueden originar por objetos expuestos muy elevados como torres de telecomunicaciones y radio bases o en las cimas de las montañas. Estas descargas de rayo pueden reconocerse por las ramificaciones de la descarga de rayo orientadas hacia arriba. En una descarga de rayo ascendente, la intensidad de campo eléctrico necesaria para el comienzo de un líder no se alcanza en la nube, sino que se origina por dispersión del campo eléctrico en el objeto expuesto y la intensidad de campo eléctrico unida a ello. Partiendo de este punto, el líder avanza hacia la nube rodeado de carga. Las descargas de rayo ascendentes se pueden producir, tanto con polaridad negativa como con polaridad positiva. Como en el caso de las descargas de rayo ascendentes, los ‘líder’ de los objetos expuestos en la superficie de la tierra crecen hacia la nube. Puede suceder que objetos muy elevados se vean afectados por una descarga de rayo varias veces durante una tormenta.

Las descargas de rayo descendentes representan un mayor riesgo que las descargas de rayo ascendentes, por eso, en este proyecto, se toman como base los parámetros de rayos descendentes.

Dependiendo del tipo de rayo, cada descarga se compone de uno o varios rayos parciales. Se diferencia entre corrientes de choque con menos de 2 ms de duración y corrientes de larga duración superior a 2ms. Otras características diferenciadoras de los rayos parciales son su polaridad (negativa o positiva) y suposición temporal en la descarga de rayo (primer rayo parcial, rayo parcial subsiguiente o rayo parcial superpuesto).

Las corrientes de rayo formadas por corrientes de choque y por corrientes de larga duración son cargas independientes de corriente, es decir, que los objetos afectados no ejercen ningún efecto retroactivo sobre las corrientes de rayo.

3.2. Efectos y consecuencias de las descargas eléctricas

Los efectos directos de un rayo son la destrucción física causada por una descarga eléctrica. A pesar que es un daño cuantioso, no solo ese efecto tendrá sobre una radio base, sino que también incluye; la carga electrostática, los pulsos electromagnéticos, los pulsos electrostáticos, las corrientes de tierra y el sobre voltaje transitorio (estos efectos son discutidos con más detalle en la siguiente sección).

La carga electrostática y los pulsos electromagnéticos inducen altos voltajes transitorios en cualquiera de los conductores eléctricos que se encuentren dentro de la zona de impacto (Figura 4). Los transitorios causarán arcos entre alambres o cables conductores y entre tuberías y tierra.

Además, la tendencia de hacer cada vez más pequeño lo pequeño en la electrónica, trae como consecuencia que sean más sensibles a los fenómenos transitorios. Transitorios de menos de 3 volts en el pico pueden dañar o “confundir” esos sistemas y sus componentes.

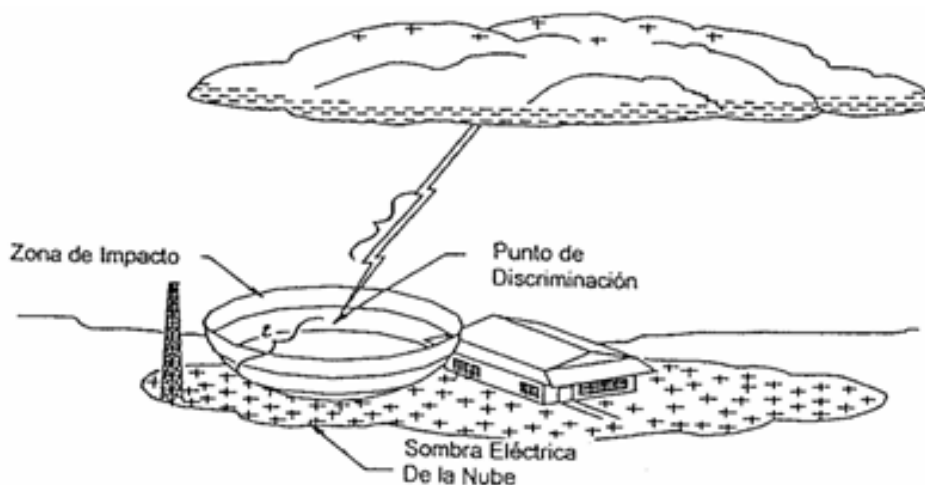


Figura 4. Zona de Impacto de un rayo.

Fuente: [3]

El relámpago se define como el resultado de un canal ionizado de una descarga eléctrica atmosférica; un rayo es una sobre corriente en ese canal. Hay tres diferentes efectos secundarios que acompañan a un relámpago. Estos son:

- Pulsos Electromagnéticos (EMP)
- Pulsos Electrostáticos
- Corrientes Transitorias de Tierra

3.2.1. Pulsos Electromagnéticos

Los pulsos electromagnéticos, son el resultado de los campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente, a través del canal de descarga del rayo. Después de que se establece el canal de descarga del rayo entre la nube y la tierra, llega a formarse un camino tan conductivo como un conductor eléctrico. La corriente de neutralización comienza a fluir rápidamente, en relación directa con la impedancia en el canal de descarga y la carga eléctrica de la nube de tormenta. La relación de crecimiento de estos pulsos de corriente, varía en órdenes de magnitud. Ellos han sido medidos en niveles arriba de los 510 kA por microsegundo.

A medida que las nubes se cargan eléctricamente, aparece un paso líder hacia abajo en la base de la nube de tormenta. Conforme el paso líder descendente se acerca a la tierra, otro paso líder ascendente lo alcanza, y entonces ocurre el rayo de retorno. Un descomunal aumento de carga acompaña a este rayo de retorno, generando potentes ondas de pulsos electromagnéticos.

Los pulsos electromagnéticos o EMP (por sus siglas en inglés: "Electro Magnetic Pulse") pueden propagarse a grandes distancias y afectar grandes áreas. En la tabla 1 se muestran los valores aproximados de corriente y otros datos relacionados con los rayos.

Tabla 1. Datos del Rayo de Retorno de una Descarga Eléctrica Atmosférica

Corriente 1 de Retorno	5 kA – 200 kA
di/dt	7.5 kA/ s a 500 kA/ s
Velocidad	1/3 velocidad de la luz
Longitud (altura de las nubes de tormenta)	3 – 5 km. Sobre la superficie

Fuente: [3]

Cualquier línea de transmisión o de datos aérea, también sufrirá o será afectada por las interferencias de los EMP, derivados de una descarga eléctrica atmosférica, a pesar de que esté blindada. Los EMP de un rayo, tienen un amplio espectro y la mayor parte de su energía está en la banda de baja frecuencia. De ahí que, los EMP de un rayo puedan penetrar el blindaje y causar interferencias en el sistema.

Los pulsos electromagnéticos también tienen relación con los efectos secundarios que resultan del flujo de corriente en el sistema de tierras. En esta situación, el rápido cambio de corriente en relación al tiempo (di/dt) crea un campo magnético, el cual será inducido a cualquier línea subterránea que pase cerca, o vaya paralela en cualquier tramo del sistema de tierras.

3.2.2. Pulsos Electroestáticos

Los pulsos electroestáticos, son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica. Cualquier conductor suspendido sobre la superficie de la tierra, está inmerso dentro de un campo electrostático y será cargado con un potencial en relación a su altura (i.e. tantas veces la altura por la intensidad del campo), sobre la superficie de la tierra. Por ejemplo, una línea de distribución o telefónica aérea, a una altura promedio de 10 metros sobre la tierra, en un campo electrostático medio, durante una tormenta eléctrica, se cargará con un potencial de entre 100 y 300 kilo voltios con respecto a la tierra. Cuando ocurre la descarga de la tormenta, esa carga deberá moverse hacia abajo en una línea, buscando un camino a la superficie de la tierra. Cualquier equipo conectado a esa línea, proveerá el camino hacia la tierra. A menos que ese camino esté protegido adecuadamente, será destruido durante el proceso de la descarga a tierra para neutralizarse. Este fenómeno es conocido como transitorio atmosférico inducido. La elevación y caída de voltaje electrostático, también está relacionado con los pulsos electrostáticos (ESP, por sus siglas en inglés: Electro Static Pulse).

De acuerdo con la teoría electromagnética, las cargas estáticas, se acumulan en la superficie de cualquier objeto sobre la tierra. La densidad de carga es proporcional a la magnitud de esos campos electrostáticos. A mayor densidad de carga, mayor es el riesgo de una terminación o alcance de un paso líder.

Una estructura metálica vertical inmersa en estos campos electrostáticos, especialmente, aquellas que terminan en forma de punta, tienen una considerable diferencia de potencial con respecto a la tierra. Si la estructura no está aterrizada, puede causar arcos eléctricos y en algunos lugares con clasificación de alto riesgo, puede alterar el funcionamiento o incluso dañar al equipo electrónico, generalmente, muy sensible en las radio bases.

3.2.3. Corrientes de Tierra

La corriente transitoria de tierra es el resultado directo del proceso de neutralización que sigue a un impacto de rayo. El proceso de neutralización, es consumado por el movimiento de la carga a lo largo o cerca de la superficie de la tierra, desde el punto donde se induce la carga, hasta el punto donde termina el rayo. Cualquier conductor enterrado o cercano a esa carga, proveerá un camino más conductivo desde el punto donde se inicia, al punto donde termina el rayo. Esto induce un voltaje en relación con la carga, que se maneja en esos conductores, lo cual otra vez está relacionado con la cercanía donde el rayo impactó.

A este voltaje inducido se le llama "corriente transitoria de tierra" y aparece en alambres conductores, tuberías y otras formas de conductores. Si los conductores están blindados, los alambres internos experimentarán la primera inducción de la corriente que fluye por el blindaje.

Aunque el proceso de descarga es muy rápido (20 microsegundos) y la relación de crecimiento al pico es tan pequeña como 50 nanosegundos, por lo que el voltaje inducido será muy alto.

3.3. Líneas de Energía

Un buen sistema de puesta a tierra también protege las anomalías en los voltajes de líneas de energía que son otra causa grave de destrucción y disturbios que día a día sufren en su operación los equipos eléctricos y electrónicos.

Existen cuatro fuentes básicas de falla: las descargas eléctricas atmosféricas, el servicio eléctrico local, los sistemas eléctricos vecinos y el equipo eléctrico propio de la instalación. Cada uno de estos factores puede crear sus propias formas de anomalías. De todas estas fuentes de falla, el rayo es obviamente la mayor amenaza, el que representa el mayor riesgo, en términos de potencial destructivo y fenómeno de falla. Un impacto de rayo directo en la línea de energía en la entrada del servicio, puede causar daños muy graves dentro de las instalaciones que no están protegidas o que están mal protegidas. Una instalación protegida adecuadamente contra descargas eléctricas atmosféricas, también está protegida contra otras anomalías en el sistema eléctrico.

Aunque las causas de las anomalías en una línea de energía pueden variar significativamente de acuerdo con su localización, los resultados son los mismos. Los equipos fallarán inmediatamente o se degradarán en poco tiempo. Las fallas pueden ser catastróficas y de alguna manera, en poco tiempo, se requerirá la reposición, la reparación o la reprogramación del programa en ejecución. Cualquiera de estos eventos puede originar pérdida de tiempo y de dinero. Todos estos eventos pueden ser eliminados con el acondicionamiento apropiado de un sistema de puesta a tierra.

3.4. Pararrayos

En 1747 B. Franklin inició sus experimentos sobre la electricidad. Defendió la hipótesis de que las tormentas son un fenómeno eléctrico y propuso un método efectivo para demostrarlo. Su teoría se publicó en Londres y se ensayó en Inglaterra y Francia antes incluso de que él mismo ejecutara su famoso experimento con una cometa en 1752. Inventó el pararrayos y presentó la llamada teoría del fluido único para explicar los dos tipos de electricidad atmosférica, la positiva y negativa. Desde entonces el Pararrayos ha evolucionado con diferentes tecnologías.

Todos los pararrayos que acaban en una o varias puntas tienen como principio la excitación y captación del rayo. En mayor o menor grado generan efectos secundarios de contaminación electroestática y electromagnética que afectan con la posible destrucción a las instalaciones eléctricas y equipos, por ese motivo los fabricantes de pararrayos recomiendan

protecciones suplementarias en las instalaciones internas para minimizar los efectos de la subida de tensión en los equipos eléctricos, de telecomunicaciones y cualquier otro que contenga electrónica sensible, durante la descarga del rayo en el pararrayos.

Si miramos a nuestro alrededor, pocos son los equipos eléctricos o electromecánicos que no llevan incorporado un sistema electrónico de control para facilitarnos los procesos que utilizamos en nuestra vida cotidiana, todos ellos incorporan componentes electrónicos cada vez más reducidos y sensibles a las variaciones de tensión y frecuencia. Es evidente que les afecta la contaminación eléctrica ambiental y dependen de la continuidad y calidad en el suministro eléctrico o en la comunicación de la información, por ese motivo se tiene que evitar en lo posible las fuentes que generan perturbaciones electromagnéticas, como por ejemplo los impactos de rayos cercanos o las instalaciones de pararrayos PDC (pararrayos con Dispositivo de Cebado) que excitan y atraen la descarga del rayo dentro de los núcleos industriales o urbanos. Con lo que dependiendo de la ubicación geográfica de la radio base se debe escoger un pararrayos adecuado, que capte el rayo y lo conduzca a los conductores del SPT.

3.5. Estándares de Protección

Para un buen diseño de protección contra rayos eléctricos se debe cumplir con ciertos estándares internacionales, ya que no se puede dejar al azar o al simple juicio de un ingeniero.

Por eso se creó la IEEE que es una asociación técnico-profesional mundial que se dedica a la estandarización de aplicaciones ingenieriles. Sus siglas vienen del inglés "Institute of Electrical and Electronics Engineers" que traducido al español sería: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Con el nombre de la institución se cree que sólo ingenieros en electrónica y eléctrica participan en la creación de normas, pero a decir verdad se encuentran involucrados otros profesionales de las nuevas tecnologías como: científicos de la computación, ingenieros en informática, matemáticos aplicados, ingenieros en biomédica, ingenieros en telecomunicación e ingenieros en mecatrónica.

A sus inicios la IEEE fue pequeño como toda organización pero con el tiempo se fue uniendo con otras asociaciones como la AIEE 'American Institute of Electrical Engineers' (Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos) o la IRE 'Institute of Radio Engineers' por citar algunos ejemplos. [4] En tiempos más modernos la IEEE acepto las normas de una organización estadounidense llamada NFPA 'National Fire Protection Association' que es la encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendios, entiéndase incendios provocados por descargas eléctricas. En el artículo setenta de las normas de la NFPA se encuentra el código eléctrico nacional conocido como el 'NEC' (por sus siglas en inglés: National Electrical Code), en él se desglosa los estándares que se deben cumplir para cualquier tipo de instalación eléctrica que se lleve a cabo.

El ICE desde sus inicios se rige bajo éstos códigos para tener un nivel de seguridad con el equipo con los que se trabaja en la institución. Por lo que antes de cualquier diseño se debe tener bien claro las normas y especificaciones que contiene el código eléctrico para que sea un diseño completo, seguro y estandarizado a nivel mundial. A medida que se vaya explicando los detalles de diseño en el capítulo 5 del proyecto, se irán mencionando las normas que lo respaldan.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1. Aspectos Básicos sobre puestas a tierra.

Para el paso de una gran corriente a tierra de forma abrupta, como es el caso de una descarga eléctrica atmosférica, no sólo es necesario que el conductor de anclaje tenga una sección adecuada, ni que el sistema de tierra física cumpla con los valores óhmicos propuestos en las normas, sino que, además, debe existir una superficie de contacto con el terreno suficientemente grande, ya que este paso no sólo exige la capacidad del conductor, sino una baja resistencia de difusión en el terreno.

Los factores que determinan la difusión son:

- La forma del electrodo de tierra.
- El valor de su superficie o lo que es lo mismo su cantidad.
- La resistividad del terreno.

4.1.1. Electroodos

Al pasar la corriente eléctrica por un electrodo enterrado en el terreno, aparece una caída de voltaje a partir del electrodo. Este potencial es función de la resistividad del terreno y de la densidad de corriente. A su vez, la densidad de corriente por el electrodo depende de su forma geométrica, su colocación, distancia entre electrodos y la distancia hasta el electrodo del punto que se analice. [5]

Este potencial está determinado por:

$$e = \rho \cdot j$$

Donde:

[5]

e = potencial del electrodo; (V/m).

j = densidad de corriente que circula por el electrodo; (A/m²).

4.1.1.1. Tipos de Electroodos

Existen varios tipos de electrodos que sirven para drenar a tierra toda la corriente que venga de una descarga eléctrica. Generalmente, adoptan formas geométricas bien definidas y ensayadas a lo largo de muchos años de experiencia práctica, tales como: semiesférica, placa, ya sea circular o elíptica; pica, ya sea en forma de varilla sólida o tubo. Todas estas formas son

empleadas en la actualidad pero el tipo de electrodo depende mucho del suelo en donde se vayan a instalar, por lo que se abarcará las más básicas que son la semiesférica, la de placa y la de pica.

- Electrodo Semiesférico

Como su nombre lo indica, este electrodo tiene la forma geométrica de una cáscara esférica igual a la mitad de una esfera, la cual se encaja en el terreno con su diámetro ecuatorial contra la atmósfera, según se muestra en la figura 5.

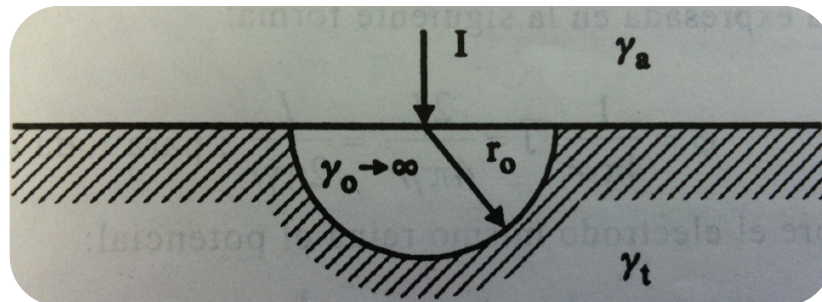


Figura 5. Electrodo semiesférico

Fuente: [6]

Donde:

I : corriente que llega al electrodo.

r_o : Radio de la esfera

γ_a : Conductividad de la atmósfera.

γ_t : Conductividad del terreno.

Este electrodo tiene la característica que tiene contacto con dos medios de diferente conductividad, la de la atmósfera y la del terreno. Además de aplicarle el principio del electrodo reflejado, que es un electrodo imaginario que refleja el terminal original, haciendo que la puesta a tierra en vez de ser una media esfera, sea una esfera completa. A pesar de que media esfera contenga una conductividad diferente a la otra, ambas satisfacen las condiciones del electrodo, definidas por las condiciones de frontera que establecen la continuidad de los componentes tangenciales de la intensidad de campo eléctrico y la distribución uniforme a lo largo de la superficie.

Después de un análisis matemático sobre el electrodo en forma de esfera se obtiene la resistencia de propagación de este tipo de electrodo es:

$$R_o = \frac{\varphi}{J} = \frac{1}{2\pi\gamma r_o}$$

[6]

- Electrodo de placa circular

El electrodo menos difícil de analizar y construir es el electrodo plano superficial de forma circular el cual, como se muestra en la figura 6 se coloca en el terreno con una cara expuesta a la atmósfera.

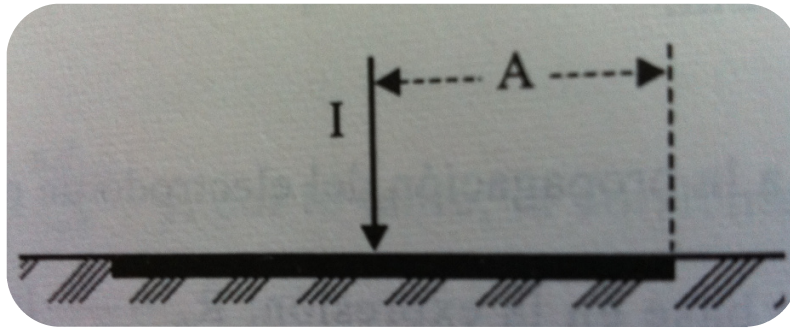


Figura 6. Electrodo de placa circular

Fuente: [6]

Para encontrar las ecuaciones que definan la resistencia de propagación de este tipo de electrodos se debe incurrir en una matemática muy compleja, ya que al aplicarle a la placa circular el principio de la imagen reflejada, la figura del campo resultante es una forma geométrica más compleja que una esfera como en el caso anterior. Tiene una forma semejante a un elipsoide achatado. Esta figura solo tiene dos ejes simétricos iguales (a diferencia de tres que tiene una esfera), por lo que en el análisis matemático interviene un mayor número de parámetros. Pero luego de todo el desarrollo numérico se deduce su resistencia de propagación como:

$$R_o = \frac{1}{4 \gamma A}$$

[6]

- Electrodo de pica

Desde el punto de vista tecnológico no resulta práctico ni económico utilizar un electrodo semiesférico o de placa circular, por lo que el electrodo de pica es uno de los más usados en la ingeniería de puesta a tierra y autorizada por el NEC en su norma 250.52.

Se forma por medio de la introducción vertical en el terreno de un elemento metálico conductor (cobre, aluminio o alguna aleación entre ellas) muy delgado en comparación con su longitud, la cual puede llegar a ser de hasta diez metros o más si es necesario y conveniente. En la siguiente figura se observa un bosquejo del electrodo.

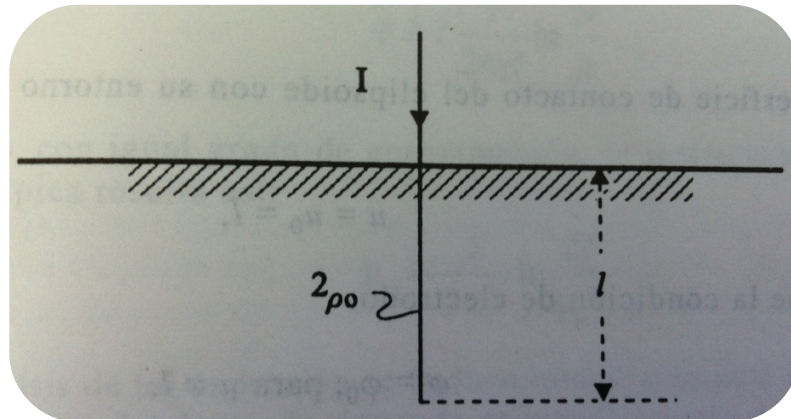


Figura 7. Electrodo de pica.

Tomado de: [6]

Al aplicarle a este terminal el principio de la imagen reflejada, resulta un electrodo gemelo, a cuya forma geométrica de su campo de corriente se le puede identificar como un elipse vertical con el eje mayor l y el eje menor ρ_o .

La resistencia de propagación del electrodo de pica que resulta después del desarrollo matemático de los parámetros involucrados es:

$$R_o = \frac{1}{2 \pi \gamma l} \ln \frac{2 l}{\rho_o}$$

[6]

Con la ecuación anterior se logra deducir que el valor de la resistencia de propagación de este tipo de electrodo depende primordialmente de la longitud del mismo, teniendo, en cambio, el radio ρ_o tiene poca influencia, ya que se encuentra en el denominador de un logaritmo natural, lo cual es importante para su dimensionamiento.

4.1.1.2. Comportamiento de un electrodo

Como se vio anteriormente la forma del electrodo es de suma importancia para el cálculo de la resistencia de propagación y también se logra deducir que el más conveniente para una puesta a tierra de una radio base es el electrodo de pica. Entre las razones por las cuales es el más adecuado se pueden mencionar:

- Que es el más económico por necesitar menos material para su construcción.
- El que se encuentra más oculto a simple vista, esto es importante para evitar que sea robado y que el equipo quede desprotegido ante las descargas eléctricas.
- Es el más utilizado en los sistemas actuales de ICE.
- Su instalación no ocupa mucho espacio facilitando su instalación en radio bases con poco terreno.

En la bibliografía consultada [5], cuando circula corriente por un electrodo hacia tierra, dicha corriente se dispersa más o menos uniformemente en todas direcciones desde el electrodo, si el terreno es homogéneo. De esta forma, se pueden determinar superficies cuyos puntos sobre el terreno se encuentran al mismo potencial, las llamadas superficies equipotenciales. Estas líneas equipotenciales delimitan las zonas o capas del terreno puestas en serie respecto al paso de la corriente. Las secciones aumentan rápidamente al alejarse del electrodo, como se muestra en la Figura 8. La mayor parte de la resistencia total está concentrada en la porción del terreno próxima al electrodo "área de resistencia".

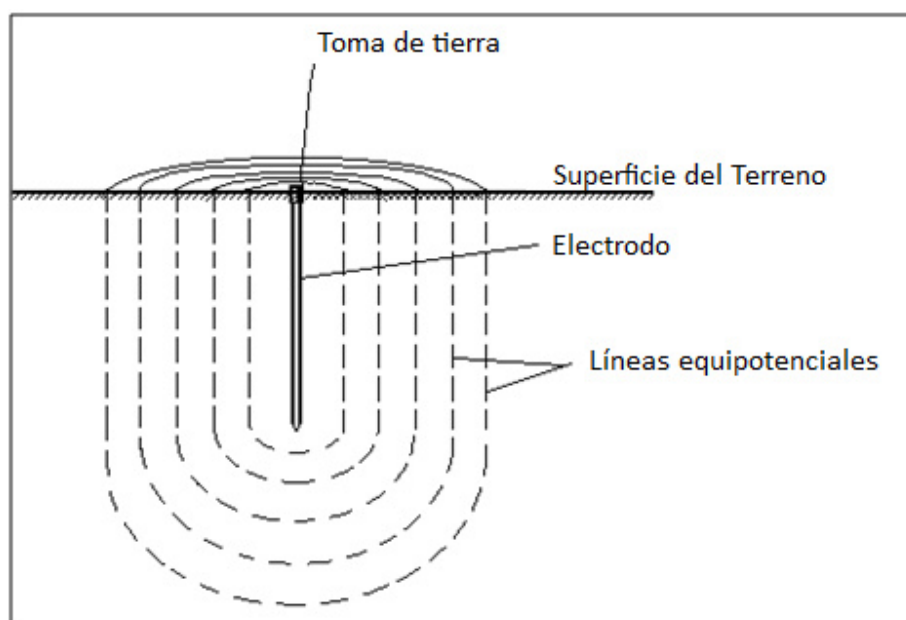


Figura 8. Curvas equipotenciales que se forman en el terreno debido a la difusión de la corriente a través del electrodo. Fuente: [7]

4.1.1.3. Comportamiento entre electrodos

Cuando se conectan dos o más electrodos en paralelo mediante un electrodo horizontal de enlace y a través de ellos se dispersa una corriente a tierra, este fenómeno se pone de manifiesto en cada electrodo.

En la Figura 9 se refleja esta situación en dos electrodos conectados en paralelo, para mayor simplicidad sólo se muestra el efecto producido en los electrodos verticales.

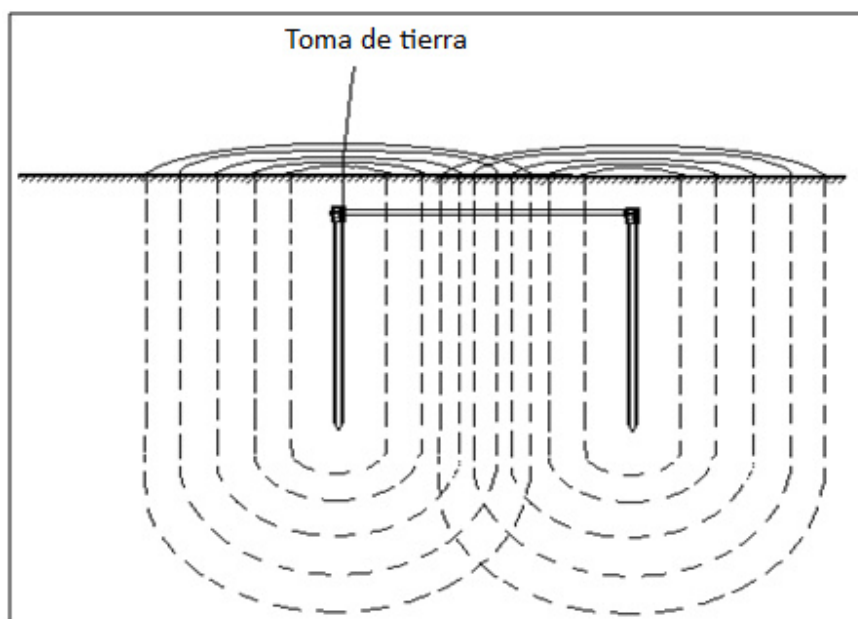


Figura 9. Interacción de las curvas equipotenciales de dos electrodos en paralelo.

Fuente: [7]

En la interacción entre las zonas de dispersión de los electrodos ocurre un traslape entre las “áreas de resistencia”. Ello provoca un incremento de la resistencia al paso de la corriente en estas zonas. Este fenómeno es característico en resistencias electrolíticas, como lo es el terreno, lo cual determina en el valor de la resistencia total, a diferencia de las resistencias lineales (metálicas).

Las áreas de resistencia están en función principalmente de la longitud del electrodo y es aproximadamente 2,2 veces la longitud de este. Por esta razón, cuando se requiere más de un electrodo es aconsejable espaciarlos a no menos de 2,2 veces su longitud y así lograr una adecuada efectividad al no haber ninguna interacción considerable entre las áreas de resistencia. En la práctica es utilizada la magnitud de 2 veces la profundidad, ya que no en todas las radio bases hay mucho espacio para enterrar los electrodos y los resultados son aceptables.

Este fenómeno resulta de suma importancia al diseñar las puestas a tierra formadas por múltiples electrodos verticales en paralelo entre ellos y a su vez, con el electrodo horizontal de interconexión.

El artículo 250.53 (B) del Código Eléctrico Nacional (NEC), menciona que cuando más de un electrodo es utilizado, cada electrodo del sistema de tierras no debe estar a menos de 1,83 metros.

4.1.1.4. Corrosión de electrodos

Los metales elegidos como electrodos de tierra y enterrados tienden en mayor o menor medida a ser objetos de la corrosión por las causas siguientes:

- Reacciones químicas entre el agua del terreno y el electrodo.
- Ataque de los agentes químicos contenidos en el terreno.
- Corrientes eléctricas que atraviesan el terreno.
- Corrientes galvánicas.

Para disminuir el efecto de la oxidación en los electrodos se debe tener en cuenta la composición química de la varilla o esfera que se vaya a usar como terminal de la puesta a tierra. La norma 250.62 del NEC menciona que para cumplir el código eléctrico, el material del electrodo debe ser de cobre, aluminio o aluminio revestido de cobre. Hay que tomar en cuenta que la gran mayoría de las radio bases del ICE ya cuentan con una puesta a tierra y se debe considerar las ya instaladas para minimizar los costos y aprovechar el material que ya se ha invertido en ellas. Por lo que entre los metales más usados como electrodos de tierra se deben hacer algunas observaciones sobre la corrosión:

- Corrosión en el cobre: Normalmente, éste es un material de gran resistencia a la corrosión en la mayoría de los terrenos, excepto en los suelos alcalinos o en medios amoniacales como puede ser el caso del agua contaminada con estiércol.
- Corrosión del hierro galvanizado: Es susceptible a la corrosión en condiciones cuando se encuentra enterrado, sobre todo una vez que se le afecte el recubrimiento galvánico. Su tasa de corrosión en condiciones subterráneas es mucho más elevada que al aire libre, donde presenta aceptables propiedades contra la corrosión. No se recomienda su uso en sistemas de tierra física.

- Corrosión del aluminio: Este metal es menos común en su aplicación en la instalación de tierras. Es propenso a muy rápida corrosión en suelos alcalinos, su utilización sólo debe hacerse previo análisis del terreno.
- Corrosión bacteriana: Es una forma de corrosión donde los suelos arcillosos son los más propicios, este tipo de corrosión es fundamentalmente dañina con el acero, no así con el cobre.

4.1.2. Conductores

Bajo condiciones normales de operación no debe circular ninguna corriente eléctrica por los conductores del sistema de tierra, ya que la función del conductor de tierra es la de transportar exclusivamente las corrientes anormales o transitorias producidas por una falla eléctrica y en un corto tiempo mientras opera el dispositivo de protección, de tal manera que si esto sucede, es como consecuencia de una falla de algún aislamiento, una mala conexión (conexión invertida de neutro y tierra), inducción por campos electromagnéticos, entre otros, energizando el conductor, creando riesgos en la operación de los equipos (resultados erróneos de lecturas de sensores, o alteración de algún flujo de datos o hasta el daño de circuitos en tarjetas), por lo cual el NEC establece en su norma 250.64 que los puntos de conexión de puesta a tierra deben estar ubicados en tal forma que, bajo condiciones normales, no haya un flujo de corriente eléctrica inconveniente en el conductor de puesta a tierra. El conductor debe tener la capacidad para conducir la corriente eléctrica de falla, prevista en el tiempo que dure la falla sin sobrecarga térmica o sin la formación de tensión eléctrica excesiva. La norma 250.122 detalla el calibre de cable que se debe usar como conductor según la corriente que vaya a pasar por el, con lo que se resume en la tabla 2.

Tabla 2. Tamaño mínimo para los conductores de puesta a tierra.

Corriente máxima que se conducirá através del cable (Ampere)	Tamaño (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o Aluminio revestido de cobre
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	750
5000	700	1200
6000	800	1200

Fuente: [6]

4.1.3. Resistividad del suelo

Uno de los factores decisivos para el dimensionamiento y comportamiento de un sistema de tierra es la condición del terreno a través del cual van a circular las líneas de corriente; ello involucra entonces no sólo al volumen de terreno sobre el cual esté instalada la puesta a tierra, sino también el de sus alrededores. En la figura 10 se da un ejemplo de posibles composiciones que se pueden dar en un terreno de la gran área metropolitana. Cada uno representa suelos con resistividades diferentes y tipos de tierra que pueden tener límites bien definidos entre sí o pueden pasar gradualmente de un tipo a otro.

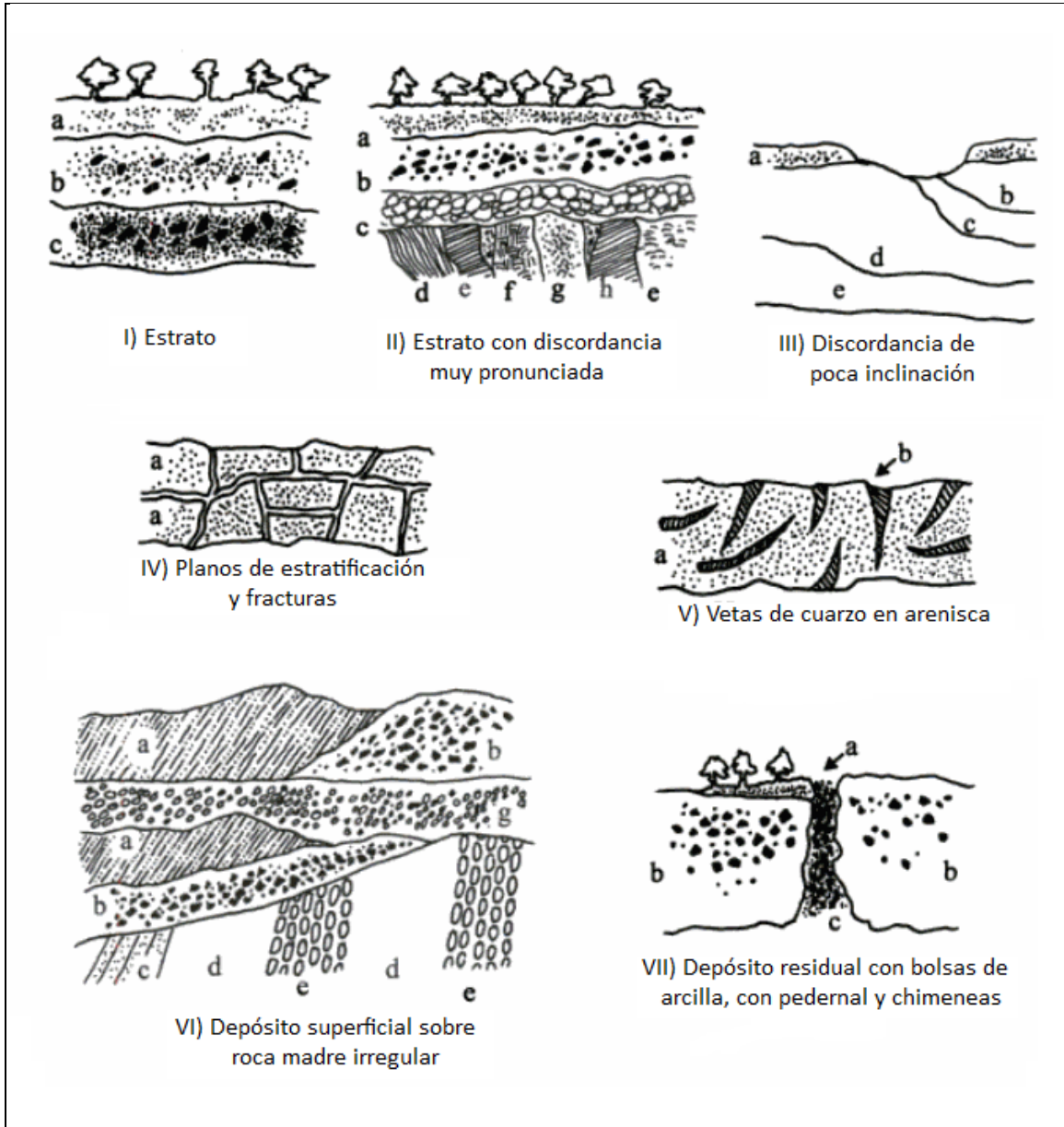


Figura 10. Ejemplos de estructuras geológicas.

Fuente: [6]

El cálculo de la resistencia a la propagación de todo electrodo se realiza con base en cierto valor de conductividad (o de su inverso, la resistividad) del terreno, la cual es variable en un rango muy amplio, según sus condiciones geológicas y geofísicas antes vistas en la figura anterior. Por lo que al realizar los cálculos teóricos se debe suponer la resistividad del terreno homogéneo para simplificar su desarrollo matemático; sin embargo, en la realidad y en la mayoría de los casos el terreno es de naturaleza heterogénea, lo cual causa que el comportamiento del sistema de tierra no resulte según el cálculo hecho para terreno homogéneo, ya que el valor de la conductividad ya no corresponde a tal clase de terreno.

Por lo que idealmente se debe realizar un estudio de suelos para indagar las características geotécnicas, pero primordialmente un sondeo eléctrico a una profundidad de no menos de veinte metros. Pero en la actualidad realizar ese procedimiento de estudio resulta complicado, ya que en la gran mayoría de las radio bases no tienen espacio donde perforar y otras se encuentran en zonas urbanizadas. En principio, los resultados de tal indagación pueden ser tres:

- Que la conductividad no varíe (terreno homogéneo)
- Que la conductividad aumente con la profundidad (subsuelo mejor conductor)
- Que la conductividad disminuya con la profundidad (subsuelo menor conductor)

Los resultados nos ayudarán en sobre manera en la obtención de la longitud ideal del electrodo para una radio base específica. Así, por ejemplo, cuando el subsuelo es mejor conductor que la capa de terreno cercana a la superficie del suelo, al efectuar los cálculos sobre la longitud del electrodo a emplear se puede saber que entre más largo sea el electrodo menor resistividad tendrá la puesta a tierra. En caso contrario, la longitud del electrodo no será tan trascendental, ya que su profundidad no influirá mucho en la conductividad del suelo.

En la tabla 3 se muestran los valores promedios de resistividades según el tipo suelo en el que se encuentre.

Tabla 3. Valores de resistividad característicos para tipo de suelos.

Medio	Resistividad ($\Omega.m$)		
	Mínima	Media	Máxima
Suelo fangoso, greda, etc.	1		50
Arcilla	2		100
Arena y grava	50		1000
Tierra calcárea en superficie	100		10000
Caliza	5		4000
Arcilla compacta estratificada	5		100
Arenisca	20		2000
Granito, basalto		10000	
Gneis descompuesto	50		500
Pizarra, etc.	10		100
Lago de agua dulce		200	
Agua de grifo	10		50
Agua de mar	0,2	1	2
Pradera, colina baja, suelo rico		30	
Terreno plano, cenagoso, densamente boscoso		100	
Pradera, colinas medias y forestación		200	
Suelo rocoso, colina escarpada	10	500	1000
Arenoso, seco, plano, típico de terreno costero.	300	500	10000
Ciudad, zona industrial		1000	10000
Material de relleno, ceniza, carbonilla, salmuera, residuos	6	25	70
Arcilla esquistosa, arcilla pizarrosa, gumbo, limo	3	40	200
Similar, pero con proporción variable de arena y grava	10	150	1000
Grava, arenisca con algo de tierra arcillosa, granito	500	1000	10000

Fuente: [7]

4.2. Métodos de medición de la resistividad de suelos

Existen varios métodos para medir la resistividad del terreno donde se encuentra o donde se vaya a instalar una radio base, pero las dos más prácticas y que se aproximan mejor al valor real de la resistividad son el método de Wenner y Schlumberger-Palmer. Ambos procedimientos utilizan un equipo que se llama Telurómetro que el ICE ya posee y que además se puede utilizar para verificar el estado de las puestas a tierra para su mantenimiento. Dicho instrumento se puede observar en la siguiente figura.



Figura 11. Telurómetro.

4.2.1. Método Wenner de cuatro puntos

El mejor método para probar la resistencia del suelo es el método de 4 puntos Wenner. Utiliza un medidor de resistencia del terreno digital de 4 electrodos (Figura 11), una cinta métrica, cuatro puntas de prueba y conductores (Figura 12).



Figura 12. Punta de prueba y conductor.

Para el desarrollo del método de Wenner se requiere la inserción de cuatro puntas de prueba en la zona que se hará el estudio. Las puntas de prueba están instaladas en una línea recta y equidistante (véase la Figura 13). Las puntas de prueba establecen un contacto eléctrico con la tierra. El medidor de prueba de cuatro puntos inyecta una corriente constante a través de la tierra por las dos puntas externas. La corriente fluyendo a través de la tierra (un material resistente) desarrolla una diferencia de potencial. Esta caída de voltaje resultando del flujo de corriente es entonces medido entre las dos puntas de prueba internas. El medidor entonces sabe la cantidad de corriente que esté atravesando la tierra y la caída de voltaje a través de las dos puntas de prueba del centro. Con esta información el medidor utiliza la ley de ohm ($R=E/I$) para calcular y para exhibir la resistencia en ohmios.

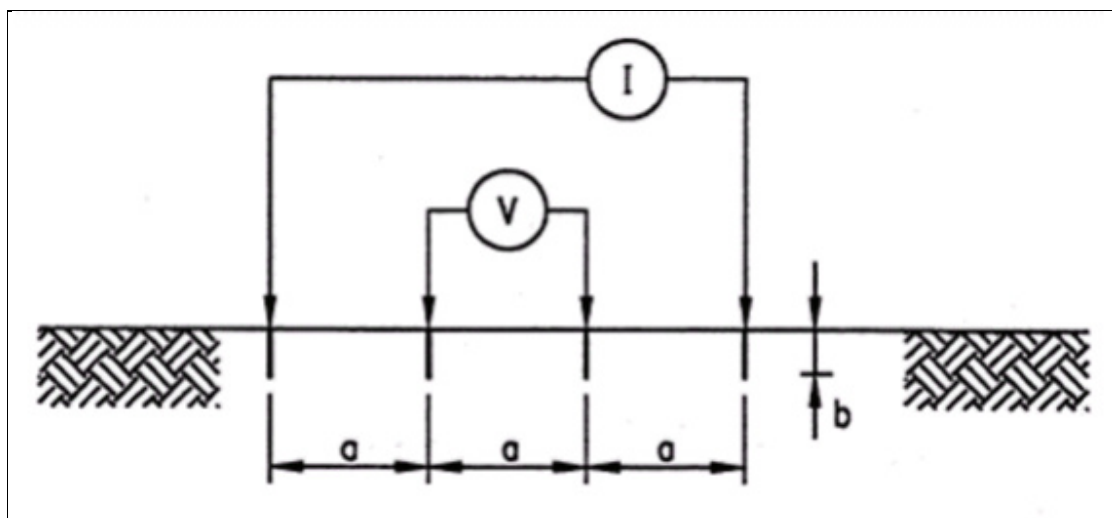


Figura 13. Posicionamiento de los electrodos.

Tomado de:[8].

Este valor exhibido de la resistencia está en ohmios y se debe convertir a ohmio-metro, que son unidades de medida para la resistencia del suelo. Ohmímetro es la resistencia de un volumen de tierra de un metro cúbico. Para convertir de los ohmios exhibidos a ohmio-metro, se debe resolver la siguiente fórmula.

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

[8]

Donde:

a: Distancia entre electrodos en metros.

b: Profundidad del electrodo en metros.

R: Valor de resistencia obtenido en la medición con el telurómetro.

ρ : Resistencia del suelo en Ohm-metro.

Si $a > 20b$ la expresión anterior se puede aproximar a:

$$\rho = 2\pi a R \text{ (con } a \text{ en m)}$$

$$\rho = 191.5 a R \text{ (con } a \text{ en pies)}$$

Las lecturas deben ser tomadas a lo largo de por lo menos dos lados del sitio y diagonalmente desde una esquina hasta la otra. Un tubo metálico o alguna estructura metálica subterránea podrían influenciar las lecturas. Cuantos más datos estén disponibles y usados en el diseño proporcionan más confianza en el resultado.

En el anexo 1 se presenta un formulario para llenar los datos obtenidos a diferentes distancias recomendadas y en el anexo 2 se encuentra el procedimiento del método Wenner paso a paso para minimizar errores de medición.

4.2.2. Arreglo de Schlumberger-Palmer

En esta configuración, los cuatro electrodos están igualmente ubicados en una línea recta. Los dos electrodos de potencial se disponen en forma simétrica respecto al centro de medición elegido y a una distancia pequeña entre sí. Los electrodos de corriente se disponen también simétricamente con respecto al centro de medición.

En la configuración de Schlumberger-Palmer los gráficos de resistividad aparente se hacen normalmente en función de la distancia L , entre el centro de medición y los electrodos de corriente.

Para las sucesivas mediciones se deben llevar a cabo diferentes espaciamientos de los electrodos extremos de corriente, dejando los de potencial sin moverse.

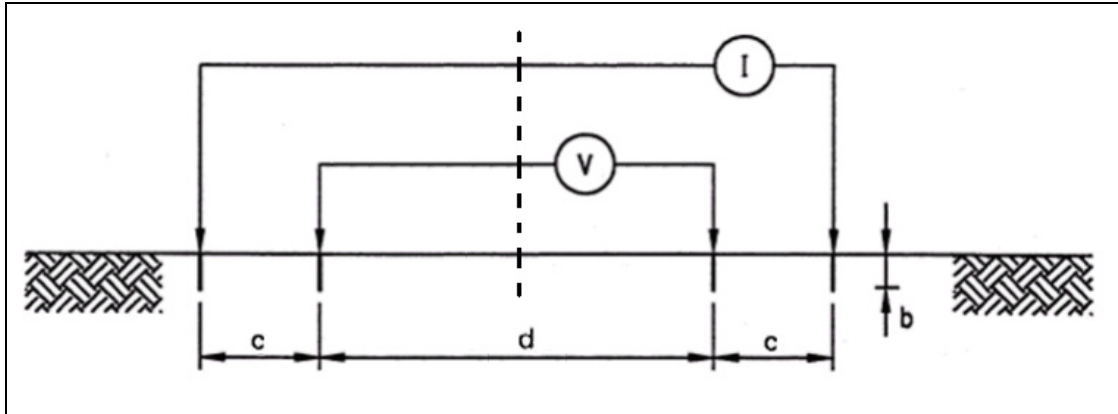


Figura 14. Método Schlumberger-Palmer.

Tomado de: [8]

Con los electrodos enterrados a una profundidad “b” en metros, y siendo esta distancia mucho menor a las distancias de separación “d” y “c”, la resistividad está dada por:

$$\rho = \frac{\pi \cdot c \cdot (c + d) \cdot R}{d}$$

[8]

Los instrumentos utilizados con la configuración de Wenner exigen una menor sensibilidad que los empleados con la configuración de Schlumberger-Palmer. Las diferencias de potencial medidas son mayores, ya que al ir separando los electrodos de corriente, también lo hacen los de potencial donde se mantiene la distancia “d” entre ellos.

4.3. Diseño de mallas

Un sistema de malla de tierra consiste en múltiples electrodos y conductores enterrados. Se utilizan cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas, con el fin de minimizar los riesgos de daños a equipos de las radio bases ante tensiones eléctricas de paso y de contacto. Los detalles sobre las conexiones de mallas y electrodos se pueden obtener del artículo 250 del código nacional eléctrico, en el punto 70.

La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0,30 a 1,0 m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciamiento adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas (la medición de la resistividad se explicará con detalle más adelante).

El cable que forma el perímetro de la malla debe ser continuo de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico de la subestación. Con ello, se evitan altas concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas. Y de ser posible, deberá colocarse en cada punto de cambio de dirección o de interconexión del anillo perimetral un electrodo. Esto se debe a que frente al escarpado pulso del rayo cada interconexión o cambio de dirección vertical u horizontal del anillo perimetral, representa un incremento de impedancia, que se traduce en un incremento de tensión.

En cada cruce de conductores de la malla, éstos deben conectarse rígidamente con soldadura exotérmica entre sí y en los puntos donde se conectan los equipos que pudieran presentar falla, los conductores deben conectarse a electrodos de varilla clavados verticalmente.

Los cables que forman la malla deben colocarse preferentemente a lo largo de las hileras de estructuras o equipo para facilitar la conexión a los mismos, ya que es una práctica común de ingeniería aterrizar a dos cables diferentes todos los equipos.

Los cables empleados en las mallas de tierra son de: cobre, aluminio y cobre revestido de aluminio. Para evitar la corrosión en terrenos de baja resistividad, algunas compañías de instalación de tierras utilizan en sus mallas de tierras, cable de cobre estañado para bajar el potencial electronegativo entre los diferentes metales.

El cobre aún es el material más utilizado porque tiene buena conductividad, es resistente a la corrosión y tiene un punto elevado de fusión.

A la hora de conectar los bastidores GSM de las radio bases a la malla de tierra se debe de conectar de forma individual, y si es posible con redundancia, como se explico anteriormente y que se ejemplifica en la Figura 15.

En el caso de una radio base con gran cantidad de equipos la instalación es compleja. Por eso, siempre que sea posible, en esos casos se deberá llevar una placa por módulo, para los efectos de distribuir desde ella a cada equipo que esté en el módulo con un cable de protección. Los conductores de protección deberán ser aislados, mientras que a nivel de vinculación de equipos puede utilizarse conductor desnudo.

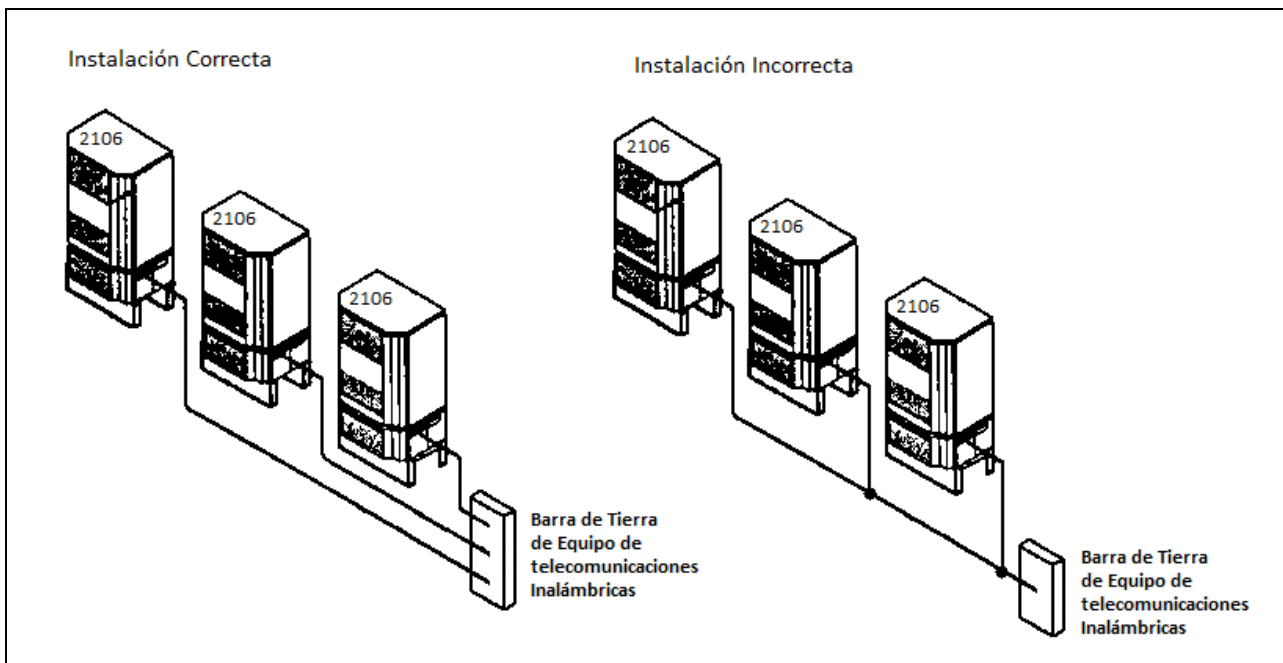


Figura 15. Conexión correcta a tierra de bastidores Ericsson 2106.

4.4. Medición de resistencia de puesta a tierra existente.

4.4.1. Método y equipo de medición

Debido a la gran aplicabilidad que se tiene para medir indistintamente en suelos con diferente grado de resistencia, se recomienda utilizar el *Método de caída de potencial del 62%*. Aún existen otros instrumentos que operan por el método de los tres puntos, que representa un sistema obsoleto que no forma parte del código de medición vigente de la IEEE. Las especificaciones del método se pueden encontrar en el artículo IEEE Std.81.2.

Los equipos requeridos en el área de telecomunicaciones son diferentes a los requeridos por el Sector de Energía, la diferencia está en la frecuencia de operación. El instrumento para telecomunicaciones necesita neutralizar las tensiones perturbadoras que se acerquen con igual frecuencia, o sea, la generada por el propio instrumento. El rango del valor teórico está entre 50 Hz a 150 Hz, pero muchas veces está entre 93 a 128 Hz. Producto a los fenómenos dinámicos generados por el Sector de Energía necesita un equipo de alta frecuencia (MHz), como por ejemplo, las sobre tensiones atmosféricas, por lo tanto se recomienda utilizar equipos diseñados para entregar mediciones con un grado de error menor al 2% y resolución no menor a 0,1Ω. Los equipos con caída de potencial al 62%, de 3 o 4 polos, disponen de cable con longitud hasta de 150 metros. Por lo que resulta un método recomendable para suelos con alta resistividad.

Todo instrumento de picas debe traer debidamente rotulado la identificación por polo. De acuerdo a la tabla 4, normalmente se utiliza tanto el código de colores como el de letras, siempre guardando el mismo ordenamiento. Los colores de los cables respetarán el mismo código establecido por polo.

Tabla 4. Código de polos para medición de resistencia de puesta a tierra

DESCRIPCIÓN	ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA A MUESTREAR		PICA DE POTENCIAL (V)	PICA DE CORRIENTE (A)
COLOR	Verde		Azul (Amarillo)	Rojo
LETRAS	X	(C1)	Y (P2)	Z (C2)

Fuente [8]

Las mediciones de resistencia de puesta a tierra se hacen con el equipo de tres o cuatro polos. En el ICE se tiene el telurómetro (Figura 11), que permite puentear ciertos polos para cambiar la operación a tres o dos polos. Aun así, el método más confiable es la lectura por tres polos.

La transformación a tres polos se logra al puentear los polos de color verde y negro, o también descritos con las letras X - X_v o C1 – P1. Para transformarlo en dos polos, se logra al puentear el segundo par de polos. Ello se empleaba para referencias a redes de agua en tubería metálica. Pero en la actualidad están obsoletas, mayormente son construidas en plástico PVC.

El funcionamiento eléctrico del instrumento se ilustra en la figura 16. El polo X se interconecta al electrodo de puesta a tierra a ser muestreado. El polo Z se interconecta al electrodo auxiliar de corriente que será el electrodo más distante a la puesta a tierra muestreada. Entre los polos X y Z fluirá una corriente eléctrica. El polo Y, conocido como electrodo de potencial, se ubica en tres posiciones a 52%, 62% y 72% de la longitud existente entre X y las distancias se toman a partir del electrodo de puesta a tierra muestreado. Que consiste en calcular el distanciamiento del electrodo de potencial Y, Y₍₋₎ y Y₍₊₎.

El instrumento realiza la transformación matemática a partir de la Ley de Ohm para calcular la resistencia de puesta a tierra muestreada.

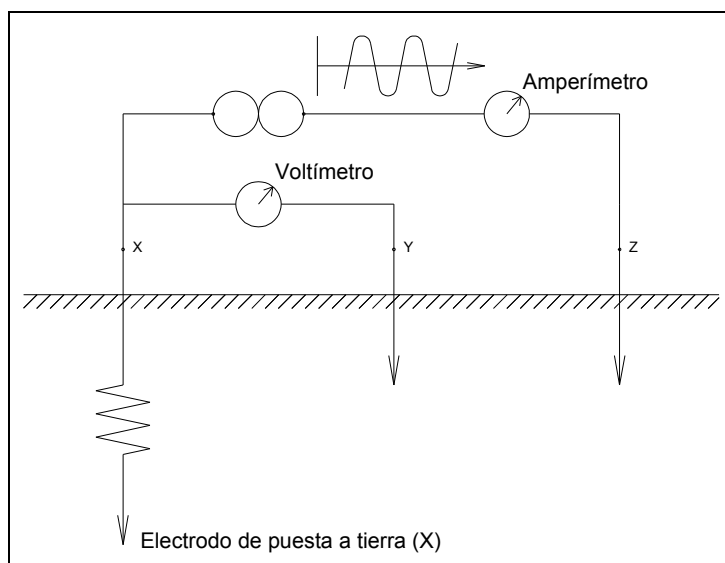


Figura 16. Diagrama unifilar (instrumento de 3 polos)

Tomado de: [8].

4.4.2. Previsiones para la medición

Se debe escoger el sitio de acuerdo a la disponibilidad de espacio en la dirección en que se instalarán los electrodos auxiliares¹ (picas). La calidad de la medición se podrá asegurar con solo una dirección de medición, pero la selección se fundamenta en lo siguiente:

- Que la máxima distancia aprovechable cumpla con lo requerido.
- Topografía regular con línea de vista.
- Posibilidad o no de sortear las obstrucciones presentes.
- Que los electrodos se puedan instalar en línea recta.
- Evitar influencia eléctrica, bajo líneas de media tensión.

El distanciamiento para los electrodos auxiliares de potencial y corriente se toma a partir del electrodo de puesta a tierra muestreado, conocido como electrodo X, utilizado como referencia del distanciamiento tal como se muestra en la figura17. La ubicación del instrumento de medición no interviene para nada, está más bien en función con la comodidad de manipulación así como de protegerlo contra la intemperie, humedad y el calor del sol. Especialmente respecto al entorno del instrumento, las terminales de cable conductor se deberán mantener aisladas entre sí.

¹Dado el caso que haya dificultades de colocar la pica se puede consultar el anexo 4 donde se explican diferentes formas de tomar la medición.

No hay necesidad de desarrollar todo el cable conductor fuera del carrete o de cualquier otra empaquetadura que utilice, basta tenerlo extendido.

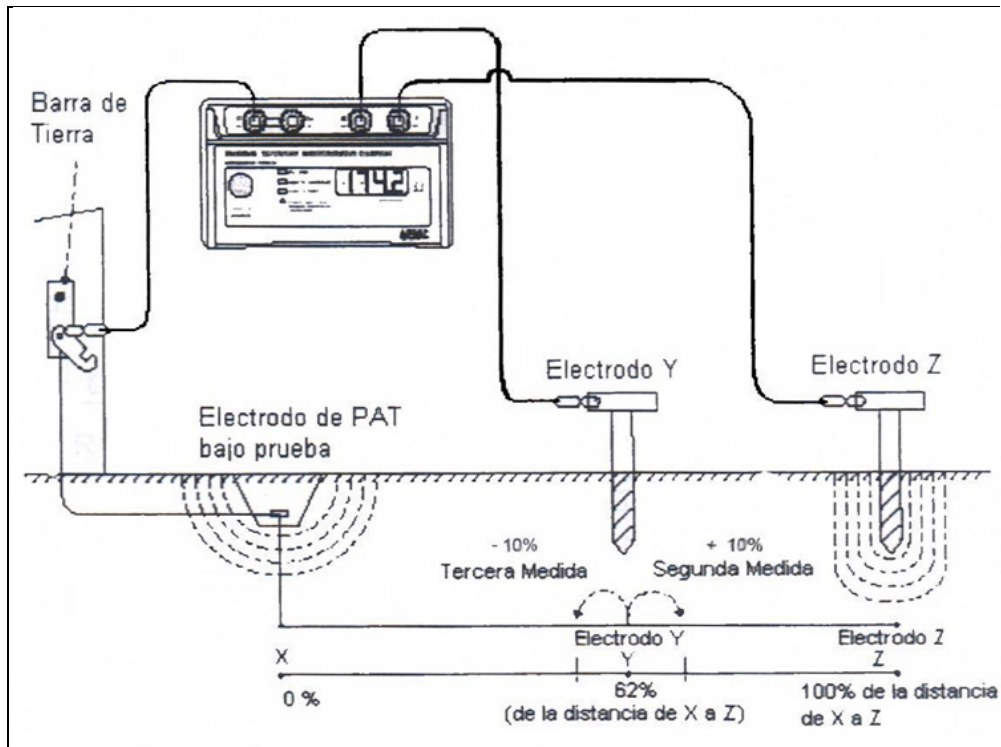


Figura 17. Caída de potencial al 62%

Tomado de: [8].

El proceso inicia con ubicar el electrodo de puesta a tierra a ser medido. Cuando no sea posible encontrarlo, se permite utilizar como referencia la infraestructura instalada, sea esto poste, torre, arqueta de puesta a tierra, cámara o unidad remota de acceso. Seguidamente se procede a desconectarlo del sistema, en el punto más conveniente.

Los distanciamientos se medirán con cinta métrica. El electrodo de corriente Z se ubicará a 6,5 veces la extensión de la puesta a tierra (según el IEEE Std 81.2). Durante el proceso de medición, los electrodos auxiliares se ubican fuera del espacio ocupado por la instalación de puesta a tierra a muestrear, preferiblemente se colocan al otro lado, de no ser posible, el distanciamiento se toma a partir del extremo final de la puesta a tierra o se podrá medir en dirección paralela a la puesta a tierra respetando una separación de un metro a lo largo entre las picas de medición y el(los) electrodo(s) de puesta a tierra.

Nota: Cuando se desconozca la dimensión de la puesta a tierra, se distanciará 30 metros la pica de corriente (Z) del electrodo a muestrear.

La ubicación del electrodo de potencial **Y**, está en función al segmento **XZ**. Para realizar la comprobación es necesario movilizar la pica de potencial en cada una de las tres posiciones: **Y**, **Y₍₋₎** y **Y₍₊₎**: tomando en cuenta que se cumpla lo siguiente:

- El incremento de la distancia XY se conoce como **XY₍₊₎**.
- El decremento de la distancia XY se conoce como **XY₍₋₎**.
- La variación con respecto a (Y) es un rango que como mínimo será igual al 10% del segmento XY, y como máximo un 10% del segmento XZ.

La efectividad del valor del distanciamiento dependerá de la existencia o no obstáculos en el camino, sin importar el distanciamiento utilizado, lo importante es, mantener siempre el mismo orden de magnitud por ambos lados de (Y). La siguiente tabla muestra ejemplos de distanciamientos esperados:

Tabla 5. Distanciamientos esperados de picas (Y, Y₍₋₎, Y₍₊₎, Z)

Y(-) (m)		Y (m)	Y(+) (m)		Z (m)
Rango (52 a 55,8)%		(62%)	Rango (68,2 a 72)%		6.5 veces la extensión de la PT
15,6	-	16,74	18,6	20,46 - 21,6	30
20,8	-	22,32	24,8	27,28 - 28,8	40
26	-	27,9	31	34,1 - 36	50
31,2	-	33,48	37,2	40,92 - 43,2	60
36,4	-	39,06	43,4	47,74 - 50,4	70
41,6	-	44,64	49,6	54,56 - 57,6	80
46,8	-	50,22	55,8	61,38 - 64,8	90
52	-	55,8	62	68,2 - 72	100

Fuente: [8]

En suelos de baja resistividad, la profundidad de la pica del electrodo auxiliar es de 10 cm. Sin embargo conforme aumenta la resistividad se hará necesario incrementar también la profundidad del hincado, a 20 cm, 30 cm o más, hasta que la alarma del instrumento se desactive.

El hincado del electrodo auxiliar se hace sin golpe de mazo, se debe introducir y sacar a

mano para evitar dañarlo. En suelos compactos o con cierto contenido de piedra, se recomienda sustituirlo por otro tipo de electrodo, tal como el electrodo de puesta a tierra, con 16 mm de diámetro que permite alcanzar mayores profundidades de hincado sin causarle mayor deterioro, así como el uso del mazo.

4.4.3. Procedimiento

Durante la fase de colocación de las picas, es importante establecer los distanciamientos entre los electrodos X y Z, de forma que las curvas de resistencia no se solapen, el tamaño de la curva va en relación con la longitud del electrodo de puesta tierra a muestrear. En distancias menores ocurrirá solapamiento, provocando error de lectura (ver figura 18). La figura 19 ilustra las curvas de radio concéntrico derivadas por el área de resistencia de cada uno. Los electrodos hincados a profundidades mayores a 3 metros requieren de distanciamientos del electrodo Z aún mayores.

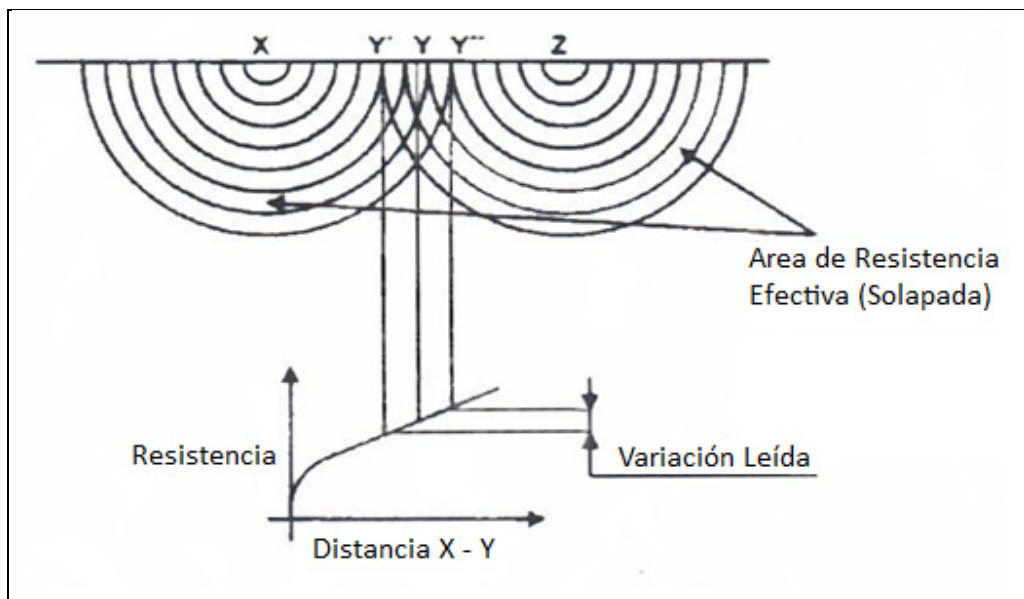


Figura 18. Relación resistencia (Ω) vs distancia (XZ) para curvas solapadas.

Fuente: [8].

La curva mostrada por la figura 19 ilustra al electrodo de corriente (Z) llevado al infinito. Ello conforma tres zonas con gradiente positiva, a los extremos la pendiente es más elevada, mientras que al centro es prácticamente cero, corresponde a una línea aplanada, conocida como "zona de equilibrio".

En la zona central o *zona de equilibrio* de la curva, ante un cambio en la distancia del electrodo de potencial, la resistencia de puesta a tierra debe permanecer prácticamente invariable. Se establece $(Y_{(-)})$ y $(Y_{(+)})$ como las nuevas ubicaciones del electrodo de potencial. Cuando la variación se efectúa a los extremos de la curva, en zonas con gradiente positiva fuerte, cualquier cambio al distanciamiento del electrodo de potencial significará otro fuerte en la resistencia que sobrepasará el 10% permitido, solamente las lecturas que tienen poco o ningún cambio de valor de resistencia de puesta a tierra representan el valor real medido, por consiguiente, al igual que la lectura, la distancia será también la correcta. En todo momento, el segmento XZ mantiene el mismo tamaño, por ende, la distancia XZ es la correcta para establecer el valor de resistencia de puesta a tierra del electrodo muestreado. Es importante recalcar que el valor real de la puesta a tierra será el medido únicamente en la posición Y, que corresponde al 62% de la longitud del segmento entre X y Z.

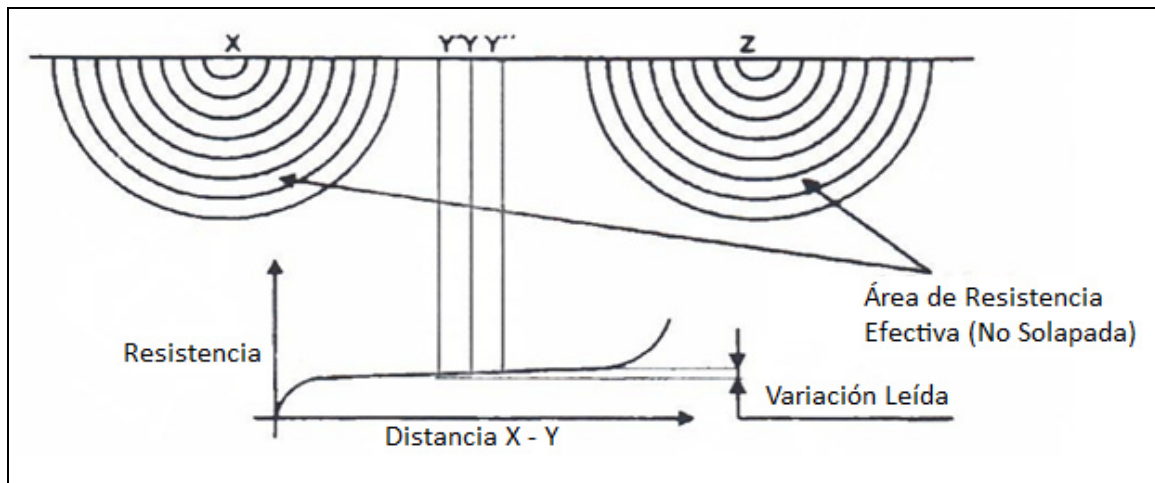


Figura 19. Relación resistencia (Ω) vs distancia (XZ) para curvas no solapadas.

Fuente: [8]

Toda medición requiere de una comprobación de estar o no en la zona de equilibrio, por cada lectura de resistencia que se obtuvo durante la comprobación, con el electrodo de potencial ubicado en Y, $Y_{(-)}$ y $Y_{(+)}$, se mantiene invariable la posición del electrodo de corriente (Z), a la distancia predeterminada.

Para garantizar que la medición se ejecuta en la zona aplanada de la curva, la diferencia máxima entre los valores de resistencias tomados en Y, $Y_{(-)}$ y $Y_{(+)}$ no debe sobrepasar el 10% del valor de resistencia tomado en (Y).

Si durante el proceso de lectura existen problemas de alta resistencia en las picas hay que aumentar la profundidad de hincado o agregar agua en las picas.

En el Anexo 3 se presenta un formulario que se debe utilizar para efectuar mediciones de resistencia de puesta a tierra en Planta Interna y Externa, establece cómo documentar las mediciones de resistencia de puesta a tierra suministrando información exacta y segura sobre cómo se obtuvo la resistencia de puesta a tierra para poder utilizarla como valor estadístico.

Y en el Anexo 4 se presentan soluciones ante sitios con dificultades para la medición de la puesta a tierra de una radio base. El ICE posee muchas radio bases que no cuentan con los espacios óptimos para realizar éste tipo de mediciones, por lo que se tendrá que hacer uso de las soluciones que se describen en el anexo para poder realizar las pruebas a los sitios.

4.5. Distribución de descargas eléctricas en el territorio costarricense.

Cada año se realiza un estudio anual sobre la distribución de descargas eléctricas en el territorio nacional por parte de la Unidad de Análisis Meteorológico y Descargas Atmosféricas del ICE. En dicho estudio se muestra información general respecto a la cantidad de rayos detectados por el sistema, mapa de densidad de descargas atmosféricas, mapa de nivel ceráuneo o días de tormenta, variación mensual de las mismas, rangos de las intensidades y horas en las que se tuvo la mayor actividad atmosférica en el 2011.

Los mapas de densidad se preparan con las descargas tipo Nube – Tierra, localizadas con mayor precisión por el sistema. El análisis se realiza sobre cuadrículas 100 km². También se incluye los denominados ‘flash’ que son todas las descargas o rayos que caen en un segundo en un radio de 10km alrededor del mismo rayo.

Para determinar la severidad en los rangos de densidad con los ‘flash’, se utiliza la siguiente clasificación:

Tabla 6. Severidad de los ‘flashes’ según su rango.

RANGO FLASH/KM2/AÑO	SEVERIDAD
0 a 5	<i>Leve</i>
5 a 10	<i>Moderada</i>
10 a 15	<i>Severa</i>
Más de 15	<i>Muy severa</i>

Fuente: [9]

En la Figura 20 se muestra el mapa de densidad de descargas atmosféricas para el año 2011. De acuerdo a este mapa, las densidades máximas clasificadas en el rango de muy severo, estuvieron ubicados en los poblados tales como Tacares, Atenas, San Ramón, Grecia, Coyol, Poas y Barva. Otro máximo se ubica al este del Pacífico Central, en los poblados de Esparza, Orotina y Puntarenas. Otras densidades dentro de los rangos de severa y moderada, se ubicaron en las zonas de Nicoya, Jicaral, Quepos, Buenos Aires, Ciudad Neily. Además las regiones de la Zona

Norte, Pacífico Norte y Pacífico Sur, así como, el este del Valle Central, se ubican en el rango de severidad moderada.

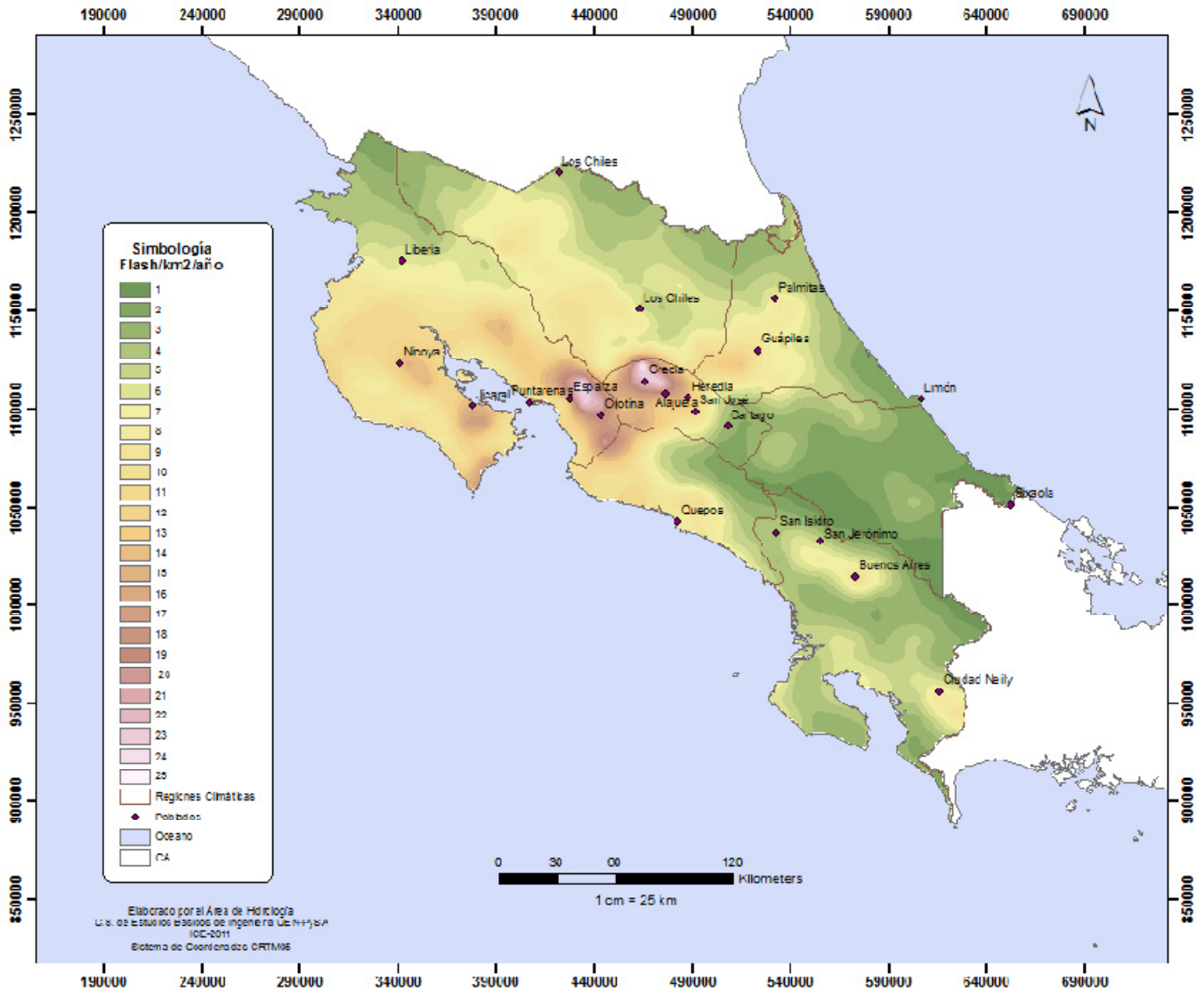


Figura 20. Mapa de Densidad de Descargas Atmosféricas para el año 2011

Fuente: [9]

Otra información que puede obtenerse del estudio anual de descargas atmosféricas es el mapa de nivel ceráuneo o número de días de tormenta. Este se elabora con los impactos tipo Nube-Tierra que el sistema localiza con mayor precisión. El análisis se lleva a cabo en las mismas cuadrículas de 100 km². En este caso, se cuenta cada día que al menos un impacto se detectó en la cuadrícula y este se toma como un día de tormenta. Originalmente el mapa de nivel ceráuneo

considera un día de tormenta, no solo cuando un rayo cae a tierra sino que se considera también si se oyó un rayo, aunque este se diera entre nube y nube o en la misma nube, es decir que se considera como día de tormenta aunque el rayo no impacte el suelo. De esta forma en la figura 21 se ve que para el 2011, de los 365 días del año, las zonas que muestran mayor número de días de tormenta, con máximos de 100 a 125 días, está directamente relacionado con las zonas de más alta densidad que se muestran en la Figura 20. Estos se ubicaron en la zona de más alta densidad del país, como era de esperarse por lo que este producto es un complemento del Mapa de Densidad de Descargas Atmosféricas.

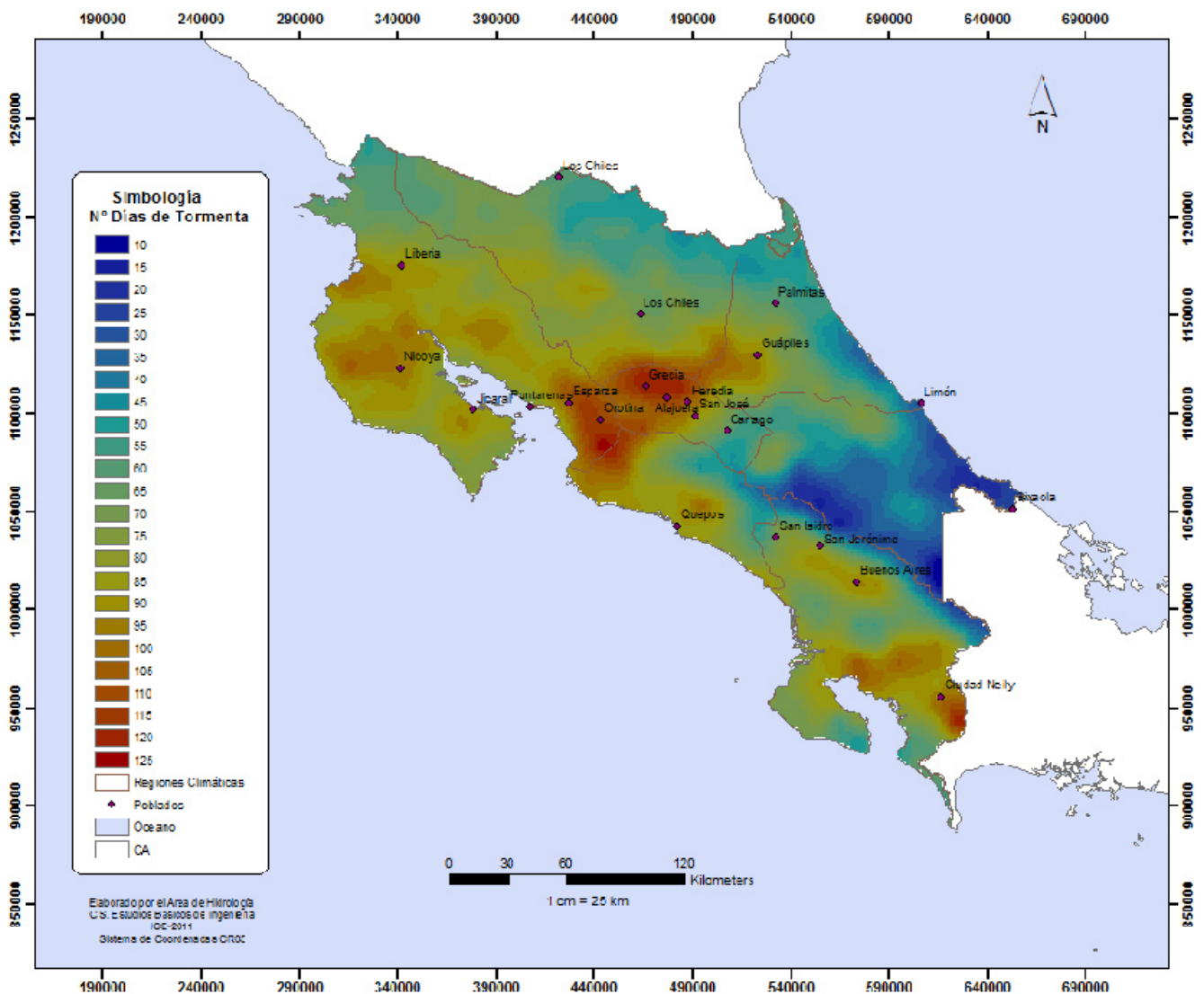


Figura 21. Mapa de Días de Tormenta para el año 2011.

Fuente: [9]

Otro dato que se mencionó que se podía obtener del estudio anual de descarga eléctricas del ICE se observa en la figura 22, que presenta la cantidad de impactos por mes. Las descargas atmosféricas estuvieron presentes en toda la época lluviosa del año en mención y superaron el valor promedio en todos los meses. En la misma Figura se puede observar que el mes de Agosto del 2011, representa el máximo absoluto con un total de 121 481 impactos. Le siguen en cantidad de descargas atmosféricas el mes de Setiembre del 2011 con un total de 120 465 descargas. Mientras que el mes con menor cantidad de rayos fue Diciembre con 472. El total anual registrado fue de 592 446 descargas atmosféricas en el país. De los cinco meses de época seca, esto es los meses de Enero a Marzo así como, Noviembre y Diciembre, tres de estos presentaron descargas atmosféricas superiores al promedio registrado, lo cual indica que fue un año bastante más activo que los valores promedios esperados. Se incluye también el año 2010 para comparar ambos años mensualmente.

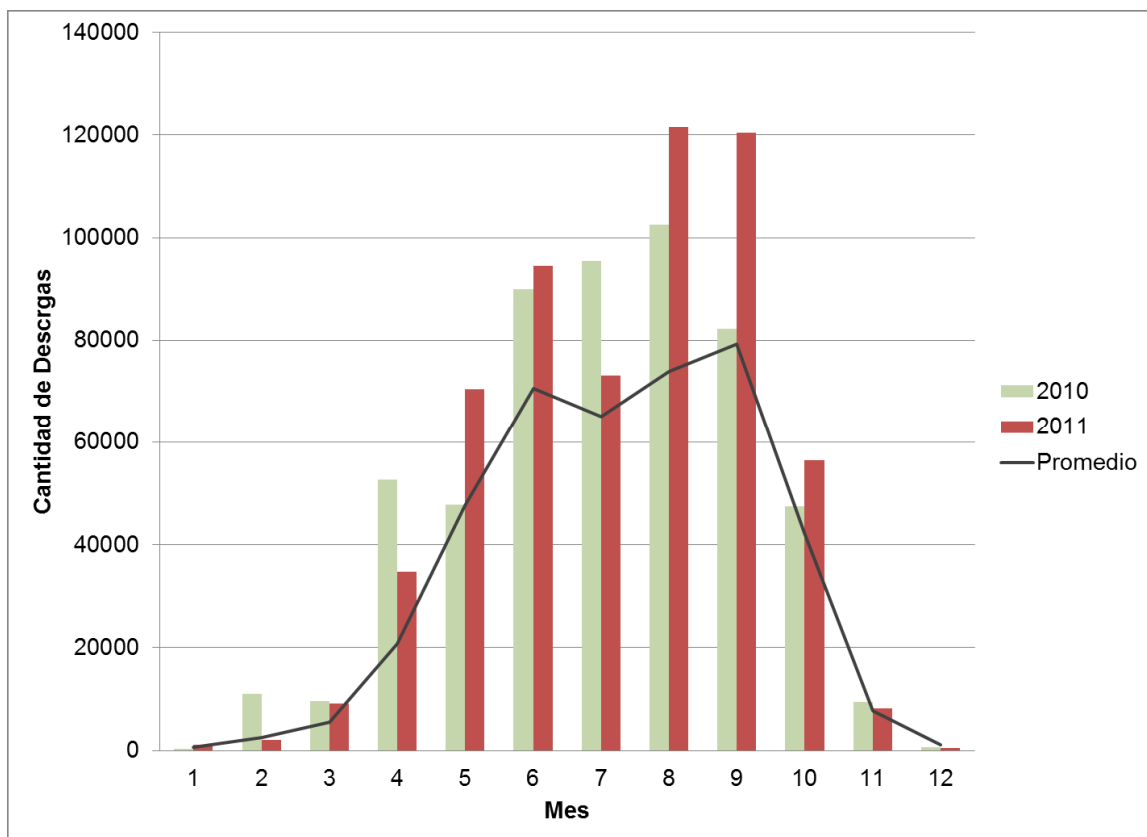


Figura 22. Variación mensual de las descargas atmosféricas en el 2010 y 2011 vrs. Promedio 2004-2011

Fuente: [9]

Del total de las descargas del 2010, el 97.5% corresponde a descargas de polaridad negativa mientras que el restante 2.5% a descargas de polaridad positiva. En la Figura 23 se muestra los rangos o clases en los que se ubican ambas polaridades. El histograma de frecuencias ilustra cómo se distribuyó la intensidad de la corriente pico estimada. Para el caso de las descargas de polaridad positiva aproximadamente un 62.5% de los impactos presenta

una intensidad de la corriente pico estimada menor o igual a los -15kA, un 37.5% de las descargas de polaridad positiva tiene un porcentaje mayor a los -16kA

En el caso de las descargas de polaridad negativa, aproximadamente el 47% de las mismas tuvo una intensidad de la corriente pico estimada menor o igual a los 15kA. Un 53% de los impactos presentaron intensidades mayores a los 16kA.

La intensidad máxima de las descargas de polaridad negativa fue de -253kA y 182kA en polaridad positiva los valores mínimos registrados fueron de -1kA y 10kA respectivamente.

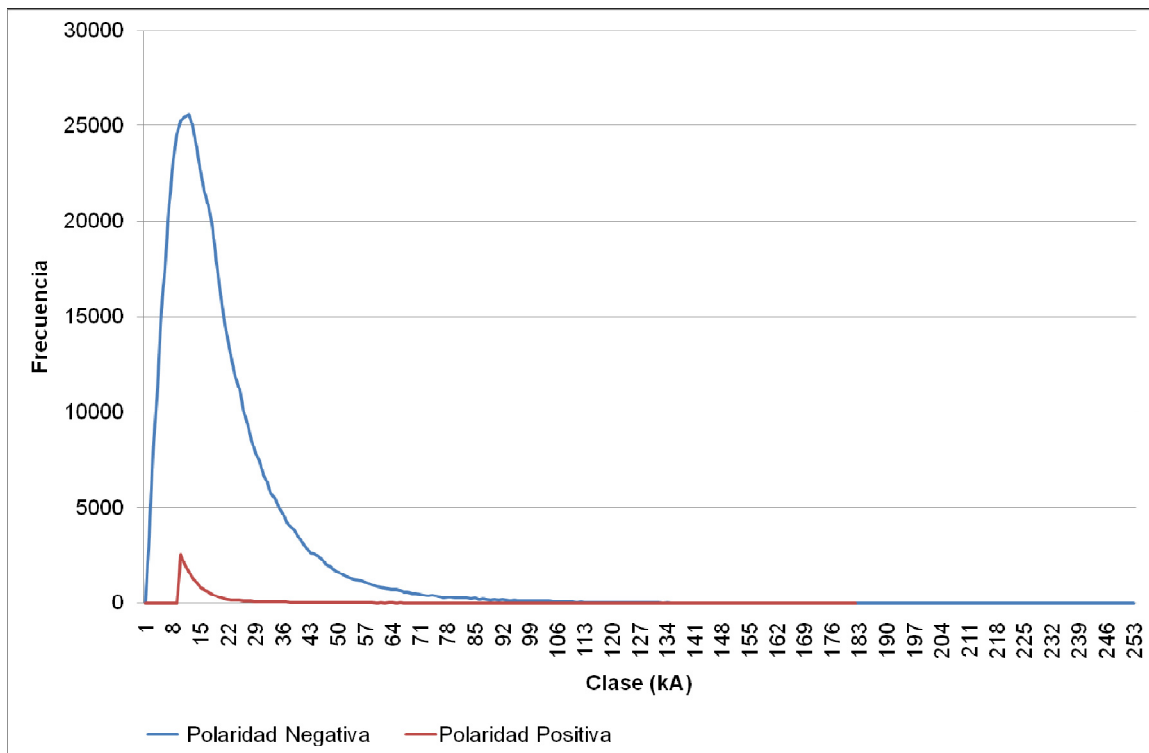


Figura 23. Histograma de Frecuencia para descargas de polaridad negativa en el país para el año 2011.

Fuente: [9]

Con todos estos antecedentes de los lugares de mayor concentración de rayos que se da en nuestro país, podemos realizar una lista de radio bases según la zona de riesgo en la que se encuentren.

Para así priorizar la intervención de los sitios y con ello, minimizar el daño a equipos de telecomunicaciones que se puedan llegar a dar a causa de descargas eléctricas.

Dicha lista se puede observar en el apéndice 3, donde se encuentra en orden de exposición ante rayería.

4.6. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.

Para la evaluación de las soluciones que se pueden presentar se debe de tomar en cuenta que las radio bases del ICE ya poseen un sistema de puesta a tierra instalado. Pero algunos sitios no están en funcionamiento por falta de mantenimiento o robo de equipo; también está el caso en que el SPT está desactualizado ante las normas internacionales que dicta la IEEE, lo cual hace necesario que estos sistemas operen bajo el código por cuestión de estándares y orden en la misma compañía.

Una alternativa de solución es desinstalar los sistemas actuales de puesta a tierra e instalar el nuevo sistema bajo las normas más actuales del código eléctrico internacional, pero esta propuesta no la hace nada viable para la compañía, ya que requiere una gasto muy considerable de recursos del cual el ICE no cuenta, al estar en una competencia por afianzarse como operador telefónico del país y sin mencionar que el ICE tiene 399 radio bases sólo en el área metropolitana y 905 en todo el territorio nacional. Por lo tanto, al no ser viable para la institución no se puede tener como alternativa.

Otra opción es diseñar con lo que ya se tiene, con esto me refiero a que se tomen en cuenta los bajantes a tierra que tienen algunos (si no han sido robadas), las arquetas, las acometidas, los electrodos que pueden ya estar instalados, etc. Esto con el fin de tener un documento donde se pueda realizar un estudio de cada sitio donde se pueda catalogar con un puntaje para la intervención al SPT, ya sea para mejorar el sistema o para reparar algún daño que éste tenga.

Para ésta solución se debió diseñar un sistema ideal para poder comparar con las radio bases actuales. La comparación se hará con un 'checklist'² que será la herramienta que calificará el sitio según su riesgo a fallar. El diseño que se realizó fueron bajo las normas del NEC, que son respaldadas por la IEEE como se mencionó anteriormente, y también se tomó en cuenta el diseño actual de las radio bases. Considerar la situación actual de los sitios es fundamental en el nuevo diseño, ya que permite saber qué se puede dejar igual del diseño anterior y así disminuir los costos de mejora del sistema de protección. También, es necesario conocer las condiciones del sitio para poder agregar al 'checklist' los materiales o los faltantes más comunes de las radio bases.

²El checklist se encuentra en el apéndice 2.

CAPITULO 5: Descripción detallada de la solución.

Con un nuevo diseño de puesta a tierra se busca un sistema con una impedancia baja al flujo de las corrientes de falla y las producidas por descargas atmosféricas. Este sistema reduce el flujo de corrientes potencialmente dañinas entre los equipos de una instalación de telecomunicaciones típica en el ICE.

Las prácticas en los Sistemas de Puesta a Tierra (SPT) de los equipos de telecomunicaciones se basan esencialmente en la resistencia. Sin embargo el factor esencial en la protección de los sistemas de telecomunicaciones y su infraestructura es la impedancia del SPT, especialmente el componente reactivo de los conductores a tierra.

En una estación de telecomunicaciones convergen equipos que realizan funciones diversas y cada uno de ellos requiere un sistema de protección y puesta a tierra.

El punto de unión de los diferentes elementos, es básicamente una barra de material conductor llamada Barra Maestra de Tierras (BMT), con las conexiones agrupadas para confinar la actividad de las sobrecargas de alimentación y de las descargas atmosféricas. La BMT unifica los elementos productores de sobretensiones, corrientes inducidas y los diferentes SPT, para el establecimiento de un punto de referencia local único de puesta a tierra.

La puesta a tierra de punto único se basa en la conexión de todos los equipos activos y pasivos de una estación de telecomunicaciones al mismo punto de tierra. Existe la necesidad de controlar las diferencias de potencial entre los extremos de conductores individuales tales como cables de cobre, barras colectoras y además brindar un camino de drenaje a las corrientes inducidas.

5.1. Diseño de los cables de puesta a tierra

5.1.1. Dimensionamiento

Para determinar el calibre apropiado del conductor, debe establecerse primero la distancia entre los dos puntos de conexión a lo largo de la ruta deseada (por ejemplo, entre la BMT y la malla de tierras del edificio) y seguidamente se utiliza la Tabla 7 para encontrar el calibre del conductor con una distancia máxima de acuerdo con la resistencia objetivo seleccionada.

Tabla 7. Longitud máxima del conductor de cobre⁽¹⁾ para cumplir con resistencia objetivo

Calibre conductor	Resistencia CD [Ω/km]	Longitud máxima [m]	
		Resistencia objetivo	
		0.005 Ω	0.010 Ω
6 AWG	1.3480	3	6
4	0.8478	5	11
3 ⁽²⁾	0.6726	7	14
2	0.5331	9	18
1 ⁽²⁾	0.4229	11	23
1/0	0.3353	14	29
2/0	0.2631	18	37
3/0	0.2087	23	48
4/0	0.1657	30	60
250 kcmil	0.1444	34	69
300	0.1204	41	83
350	0.1030	48	97
400	0.0902	55	110
500	0.0722	69	138
750	0.0482	103	207

Notas: (1) Características del conductor de cobre al descubierto a 20°C.

(2) Cuando el calibre sea de una medida no disponible comercialmente, se debe utilizar el inmediato superior.

Fuente: NEC, versión 2008. [10]

Para dimensionar cada tramo de los cables de puesta a tierra deben seguirse las siguientes indicaciones:

- a) Los cables utilizados para conectar las repisas de los equipos podrán ser de menor calibre que los mostrados en la Tabla 7. Sin embargo, en ningún caso estos cables podrán tener área de sección transversal menor a 5,3 mm² (10 AWG).
- b) El conductor entre la barra BTET y la BMT debe tener como mínimo un área de 67,4 mm² (2/0 AWG) y con una resistencia objetivo de 0,005 Ω.
- c) El conductor entre la barra BTET y la BTA debe tener como mínimo un área de 33,6 mm² (2 AWG), con una resistencia objetivo de 0,005 Ω.
- d) El conductor entre la barra BMT y la puesta a tierra perimetral y entre la BMT y el cimiento de placa corrida del edificio debe tener como mínimo un área de 67,4 mm² (2/0 AWG) con una resistencia objetivo de 0,005 Ω.

- e) El conductor entre la barra BTA-BMT del registro auxiliar de la torre y la puesta a tierra perimetral del edificio, debe tener como mínimo un área de 53,5 mm² (1/0 AWG) con una resistencia objetivo de 0,01 Ω.
- f) El conductor entre el neutro de la acometida en CA y la puesta a tierra de la acometida de CA, debe dimensionarse de acuerdo a la Tabla 8.
- g) El conductor entre la puesta a tierra de la acometida de CA y la barra BMT, debe tener como mínimo un área de 33,6 mm² (2 AWG) con una resistencia objetivo de 0,01 Ω.
- h) Los conductores entre la barra BTET y los diferentes chasis de equipos deben dimensionarse de acuerdo con la Tabla 7, con una resistencia objetivo de 0,01 Ω.
- i) Los demás conductores conectados a la BMT deben dimensionarse de acuerdo con la Tabla 7 con una resistencia objetivo 0,01 Ω.
- j) El conductor entre el terminal positivo del equipo de fuerza y distribución CD con la BTET debe dimensionarse de acuerdo con la Tabla 7 con una resistencia objetivo 0,01 Ω.

Tabla 8. Conductor del electrodo de puesta a tierra parasistemas de corriente alterna.

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo [AWG/kcmil]		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra [AWG/kcmil]	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre
2 ó menor	1/0 ó menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 a 1100	Más de 900 hasta 1750	2/0	4/0
Más de 1100	Más de 1750	3/0	250

Notas:

(1) Cuando se usan conjuntos múltiples de conductores para la entrada de la acometida, el calibre equivalente del conductor más grande de entrada de la acometida se debe determinar por la mayor suma de las áreas de los conductores correspondientes de cada conjunto.

(2) Cuando no hay conductores de entrada de la acometida el calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra se debe determinar por el calibre equivalente del mayor conductor de entrada de la acometida exigido para la carga que se va a alimentar.

(3) Esta tabla aplica también a los conductores derivados de sistemas de CA derivados separadamente.

Fuente: NEC, versión 2008. [10]

5.1.2. Instalación

La planificación e instalación de los conductores es un factor crítico para la obtención de un SPT efectivo. Debe tenerse cuidado de minimizar la inducción que podría aparecer en los conductores del SPT. Los lineamientos generales para la instalación de los conductores del sistema a tierra son los siguientes:

- a) Los conductores para el SPT deben ser aislados, excepto los utilizados en la construcción de puesta a tierra, unión equipotencial y bajantes de descargas atmosféricas. Estos conductores no deberían tener empalmes. De ser inevitables los empalmes, solamente debe utilizarse soldadura exotérmica.
- b) Los conductores para el SPT deben ser enrutados de manera tal que se eviten curvas pronunciadas o ángulos rectos. Estos conductores deben seguir la ruta más directa para minimizar las reactancias inductivas que tienden a impedir el paso de las corrientes de sobrecarga, reduciendo así la efectividad general del SPT.
- c) Para efectos de minimizar la inducción en los cableados de equipos, los conductores de tierra no deben ser canalizados en forma conjunta con otros conductores que transporten corriente alterna.
- d) Los conductores del SPT deberían ser colocados solamente en conductos no metálicos. En caso de que se tengan que canalizar por medio de conducto metálico, ambos extremos del conducto deben conectarse al conductor para tierras que contiene. Los conductores para tierras no deben estar rodeados por abrazaderas de metal, esto es esencial para poder eliminar la alta reactancia inductiva que impedirá el flujo de la sobre corriente a lo largo del conductor.
- e) La conexión de los cables a las diferentes barras debe realizarse con terminales de doble ojo como se muestra en la Figura 24. Se deberán utilizar tuercas y tornillos de cobre estañado o acero inoxidable.

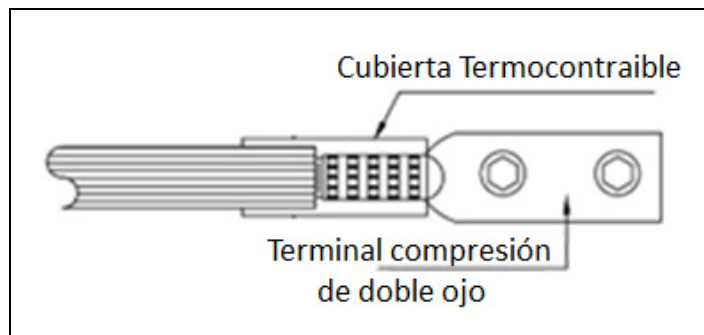


Figura 24. Terminal de doble ojo.

Fuente: basado en recomendaciones de la IEEE y resultados del informe

- f) Los terminales de doble ojo deben unirse al cable mediante soldadura exotérmica o compresión hidráulica.
- g) Cuando se realicen conexiones entre elementos de diferente material, deben utilizarse materiales impermeabilizantes para evitar el par galvánico
- h) Se permite el uso de cable trenzado de acero galvanizado en caliente con un área de sección transversal mínima de $83,6 \text{ mm}^2$ (11,7 mm de diámetro nominal) en bajantes de pararrayos de torres de telecomunicaciones y en la conexión a tierra de las barras BTCT, BTETI y BTT.
- i) Los conductores de puesta a tierra de uso interno deben tener aislamiento color verde, verde con rayas amarillas o estar identificados con marcas verdes en los puntos de inspección y extremos.

5.1.3 Rotulación

- a) Los cables de puesta a tierra internos deben ser rotulados con etiquetas plásticas con agujeros para colocar dos fajas plásticas ajustables.
- b) La rotulación debe realizarse en ambos extremos del cable.
- c) La altura de la letra utilizada debe ser igual o mayor a 5 mm.
- d) La rotulación de los cables de uso externo debe ser realizada utilizando materiales resistentes a la intemperie.
- e) Esta rotulación debe indicar el elemento de conexión en cada extremo.

5.2. Especificaciones para electrodos tipo varilla en el sistema de puesta a tierra.

- a) No debe deformarse ni alterar, en la medida de lo posible, la parte superior del electrodo, así como su recubrimiento de cobre durante su instalación, con el fin de evitar el par galvánico.
- b) Debe compactarse el suelo para asegurar un buen contacto con el conductor y la varilla de puesta a tierra.
- c) Nunca debe utilizarse arena como reemplazo de la tierra.
- d) Cuando se realicen conexiones entre elementos de diferente material, deben utilizarse materiales impermeabilizantes para evitar el par galvánico.
- e) Para propósitos de esta normativa, las conexiones cable-electrodo bajo el nivel de suelo deben ser realizadas mediante soldadura exotérmica o conector a compresión (6 ton mínimo) certificado para uso subterráneo. No se permite conector de tornillo abierto.
- f) La distancia mínima de separación entre dos o más electrodos de una puesta a tierra utilizados en sistemas de CA debe ser una vez la longitud del electrodo, de acuerdo con el artículo 250.56 del NEC versión 2008.
- g) La distancia mínima de separación entre dos o más electrodos de una puesta a tierra utilizados para descargas atmosféricas debe ser dos veces la longitud del electrodo, de acuerdo con el artículo 4.13.2.4 de la NFPA 780 versión 2011.
- h) Se puede lograr una eficiencia mayor en la conexión en paralelo de varios electrodos distanciándolos más de dos veces la longitud de cada uno de ellos.
- i) No se permite el uso de aluminio en los electrodos de puesta a tierra.
- j) El electrodo tipo varilla debe tener núcleo de acero al carbono SAE 1010/1020, recubierto de cobre electrolítico brillante, libre de imperfecciones, con grado de pureza mayor al 95% y sin trazas de zinc. Debe cumplirse con la Tabla 9.

Tabla 9. Requerimientos del núcleo de acero del electrodo tipo varilla de acero / cobre.

Código SAE o AISI	Resistencia a la tracción R_m		Límite de fluencia R_e		Alargamiento en 50 mm [%]	Dureza Brinell
	[kgf/mm ²][MPa]	[kgf/mm ²][MPa]	[kgf/mm ²][MPa]	[kgf/mm ²][MPa]		
1010	40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143

Fuente: NEC, versión 2008. [10]

- k) El electrodo tipo varilla debe ser enterrado a 750 mm de la superficie, debe ser instalado en forma vertical, horizontal, o con una inclinación no mayor a 45° con la vertical, conforme a la sección 250-53(G) del NEC, siempre que garantice una resistencia de puesta a tierra menor o igual 5 Ω .
- l) Se debe evitar el hincado (enterrar al terreno) por golpe de mazo de la varilla de electrodo de puesta a tierra, ello genera deformación y causa una afectación prematura por oxidación temprana de la cabeza. En su defecto, se recomienda utilizar métodos de rotación.
- m) El sistema de electrodos para puesta a tierra debe ser diseñado de acuerdo a la resistividad del terreno donde quede instalado.

5.3. Parámetro de Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra

- a) La resistencia del SPT en radio bases celulares, estaciones de transmisión, equipos de acceso remoto, centros de datos, debe ser menor o igual a 5 Ω .
- b) El método recomendado para la medición de la resistencia a tierra de un SPT, se indica en el punto 4.4. (Ver IEEE STD 81)

5.4. Barras de puesta a tierra

- a) Las barras de puesta a tierra deben ser construidas en cobre o acero galvanizado en caliente, con al menos 6,35 mm de espesor (1/4"), y con las dimensiones que se muestran en la Figura 25.

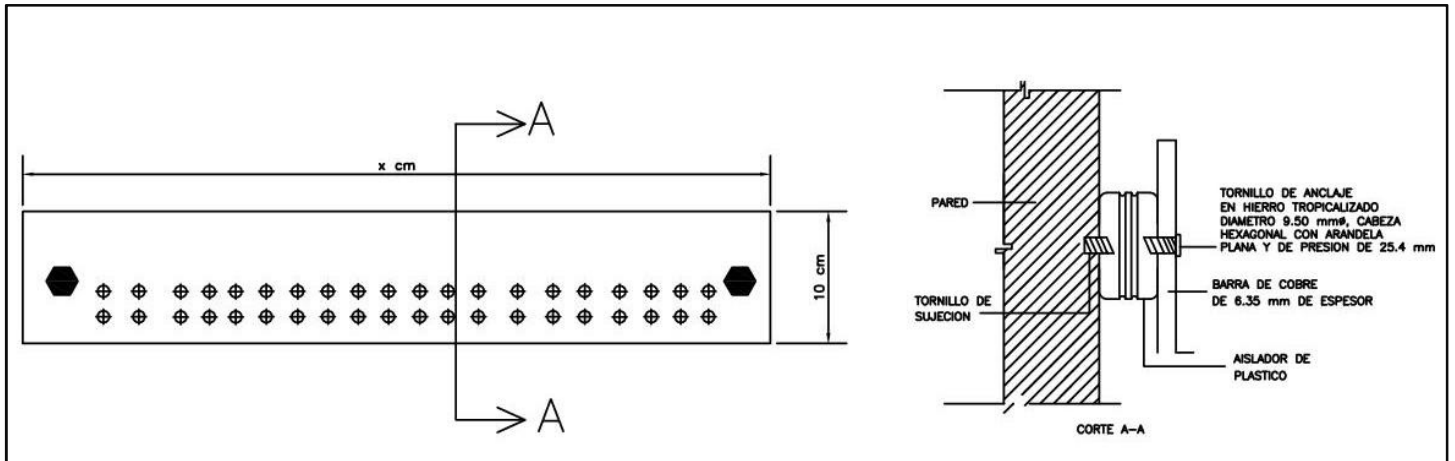


Figura 25. Dimensión barras de puesta a tierra.

Fuente: [8]

- b) La longitud de cada barra debe definirse de acuerdo a la aplicación o función que desempeñe dentro del SPT. También se debe de tomar en cuenta la cantidad de equipo que vaya a ser conectada a la placa y dejar espacio previstos par nuevo equipo.
- c) Las barras deben fijarse a los aisladores de resina epóxica con inserto de aluminio roscado, mediante tornillos como se muestra en la Figura 25. El aislador debe tener una resistencia de aislamiento de 1000 volts, y se fija a la pared con tacos de expansión o directamente al herraje.

5.4.1. Rotulación

- a) Los segmentos designados de las barras deben ser claramente identificados con letras en bajo relieve o etiquetas adhesivas resistentes a la humedad.
- b) La altura de las letras debe ser igual o mayor a 5 cm.
- c) Las barras de tierra auxiliares (BTA) deben ser identificadas con etiquetas adhesivas. La altura de las letras debe ser igual o mayor a 5 cm, indicando su numeración de acuerdo a la cantidad de barras existentes.

5.4.2. Barra de Tierras de Equipo de Telecomunicaciones (BTET)

- a) La barra BTET debe ser construida en cobre, con las dimensiones y rotulación que se muestran en la Figura 26.

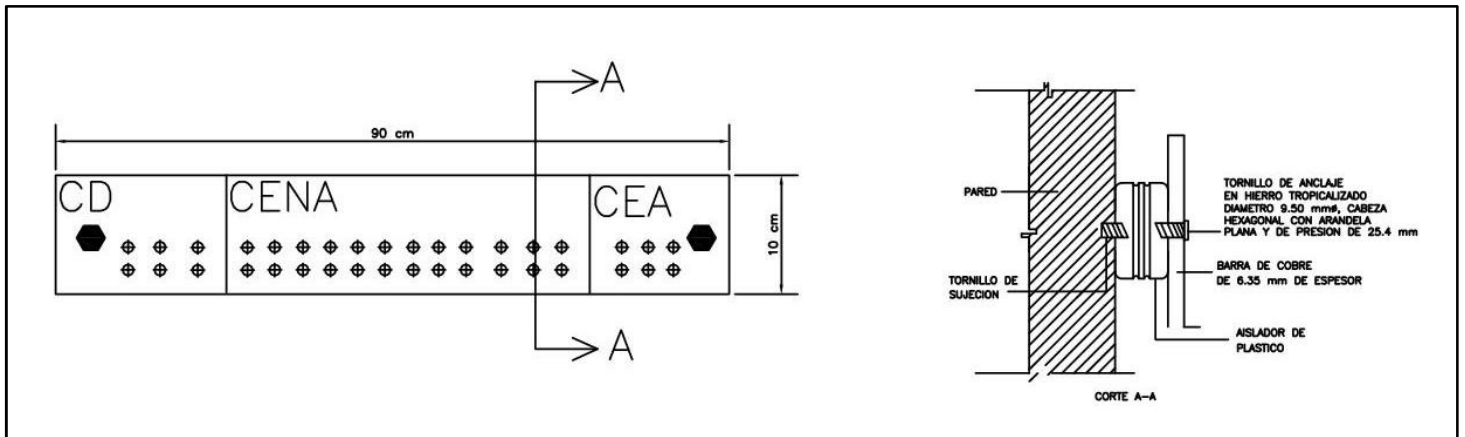


Figura 26. Barra de tierra de equipo de telecomunicaciones.

Fuente: [8]

- b) Esta barra debe ser instalada en una de las paredes internas de la estación, aislada de la misma por medio de aisladores de resina epóxica con aislamiento de 1000 volts, a una altura de 2.13 m SNPT, por medio de tornillos y pernos de expansión, como se muestra en la Figura 26. Debe rotularse con la leyenda BTET en la parte superior izquierda.
- c) Debe tener señaladas tres zonas de conexión: CD, CENA, CEA. Las zonas deben estar definidas y rotuladas con la letra correspondiente a cada una. A esta barra deben conectarse todas las barras BTA.
- d) En edificaciones de un nivel, se debe instalar un cable que conecte la BTET con la BMT. Este cable debe dimensionarse de acuerdo con la Tabla 7 con una resistencia objetivo de 0,005 Ω .

5.4.3. Sección de Corriente Directa (CD)

Es la sección donde debe ponerse a tierra el terminal positivo de cada una de las plantas de corriente directa instaladas en las edificaciones de telecomunicaciones. El calibre del cable de esta conexión debe dimensionarse de acuerdo con la Tabla 7 con una resistencia objetivo de 0,01 Ω .

5.4.4. Sección Chasis de Equipo No Aislado (CENA)

- a) La sección de equipos no aislados de la BTET es donde están conectadas eléctricamente las puestas a tierra de los equipos de transporte (central telefónica), acceso, banda ancha, electrónica de la red, distribuidor numérico (central telefónica), distribuidor principal (central telefónica), distribuidor óptico (central telefónica) y estructura metálica de bancos de baterías, vías de cables, cuyas secciones metálicas requieren un mismo nivel de potencial respecto al SPT.
- b) Adicionalmente esta sección podrá estar ampliada por un conjunto de barras BTA, de acuerdo a las necesidades de la estación.
- c) En esta sección debe conectarse el cable que une la barra BTET con la sección Productos Internos (PI) de la Barra Maestra de Tierras (BMT).

5.4.5. Sección Chasis de Equipo Aislado (CEA)

- a) Es la sección en la BTET dedicada a conectar las estructuras de los equipos que están aislados eléctricamente de la estructura del edificio. Normalmente debe alojar las conexiones de los componentes electrónicos sensitivos establecidos por el fabricante. Como por ejemplo la vía de cables o escalerillas, el banco de baterías dentro del contenedor.
- b) Adicionalmente esta sección podrá estar ampliada por un conjunto de barras BTA, de acuerdo a las necesidades de la radio base.
- c) Debe asegurarse que ninguna conexión correspondiente a otras secciones cruce el límite de esta sección.

5.4.6. Barra Tierra Auxiliar (BTA)

- a) De ser requerido se pueden establecer barras BTA derivadas de los secciones CENA y CEA de la BTET. Las BTA correspondientes a estos segmentos deben estar debidamente rotuladas de la siguiente manera: BTA-CENA, BTA-CEA. Las BTA deben ser de 60 cm de longitud y 10 cm de altura. La sujeción a la pared debe ser idéntica a la descrita para la barra BTET.
- b) Cada BTA debe conectarse a la sección correspondiente de la BTET, con un conductor con área mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG), o con un conductor diseñado de acuerdo con la Tabla 7 con una resistencia objetivo de $0,005 \Omega$.

5.4.7. Barra Maestra de Tierras (BMT)

- a) Debe instalarse una barra de cobre, como la mostrada en la Figura 27 dentro del registro principal, con la identificación BMT, empotrada 7 cm en sus dos extremos, dentro de las paredes opuestas del registro, diseñado de acuerdo a las necesidades del SPT. El registro principal debe retirarse como mínimo 60 cm de la cara externa de la estación.
- b) Esta barra debe tener un espesor de 6.35 mm y un ancho de 10 cm. La longitud debe dimensionarse de acuerdo al diseño del registro principal.
- c) Esta barra debe tener señaladas tres secciones de conexión: PI, A y PE. Las zonas deben estar definidas y rotuladas con la letra correspondiente a la zona.

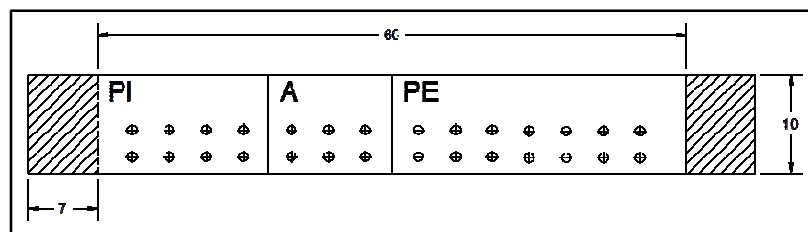


Figura 27. Barra Maestra de Tierras.

Fuente: [8]

5.4.8. Sección Productores Internos (PI)

Es la sección de la BMT dedicada a conectar los productores internos de la edificación. Los elementos que deben conectarse a esta sección son la BTGC y la sección CENA de la BTET.

5.4.9. Sección Absorvedores (A)

- a) Es el segmento de la BMT donde deben conectarse los elementos que cumplen la función de drenar a tierra directamente las corrientes de falla del SPT.
- b) En este segmento deben conectarse el cimientado de la placa corrida del edificio, el sistema de puesta a tierra del neutro aterrizado (acometida) y la puesta a tierra perimetral del edificio.

5.4.10. Sección Productores Externos (PE)

- a) Es el segmento de la BMT donde deben conectarse los elementos metálicos externos que podrían energizarse o conducir corrientes de descargas atmosféricas.
- b) En este segmento deben conectarse a la caja auxiliar de la torre, la Barra Tierras de Cables de Transporte (BTCT) y la puesta a tierra de la planta eléctrica. La conexión de estos elementos se puede hacer también a las cajas auxiliares más cercanas.

5.4.11. Barra de tierras de Galería de Cables (BTGC)

- a) En la fosa o galería de cables de la estación debe instalarse una barra de cobre, con las mismas dimensiones de la BTA, por medio de aisladores tipo granada, a 0,2 m por debajo del nivel de piso terminado (NPT), sujetos por medio de tornillos de expansión. Esta barra debe rotularse con la leyenda BTGC en la parte superior izquierda. Los aisladores tipo granada son como los mostrados en la Figura 28.



Figura 28. Aislador tipo granada para barra de tierras.

- b) Esta barra debe conectarse con la BMT por medio de un cable con una resistencia objetivo de 0.01Ω diseñado de acuerdo a la tabla 7.
- c) A esta barra deben conectarse la barra de pantallas (BTP) y la barra de los descargadores de los listones (BTL). Los conductores para conectar estas barras deben diseñarse del tal forma que tengan una sección mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG). Las barras de BTP y BTL son parte de el distribuidor principal de una central telefónica que no siempre se encuentran en las radio bases. En la figura 29 se muestra la forma de un distribuidor principal.

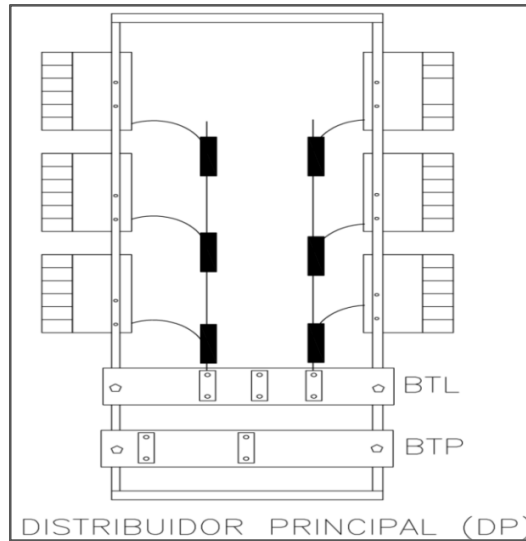


Figura 29. Barras BTL y BTP en un distribuidor principal.

Fuente: [8]

5.4.12. Barra de tierras de cables de transporte (BTCT)

- a) Debe colocarse una barra de cobre o de acero galvanizado en caliente, de las mismas características de la BTA, por medio de aisladores tipo granada, colocada a 30 cm por debajo de la parte inferior del ducto de ingreso de cables al edificio o contenedor, fijado por medio de tornillos y tacos de expansión. Debe rotularse con la leyenda BTCT en la parte superior izquierda. En esta barra deben conectarse las pantallas de los cables coaxiales o guías de onda que ingresen a la estación, de igual forma deben conectarse los dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (DPCS) que se coloquen para este tipo de cables. El accesorio a utilizar es el proporcionado por el fabricante del cable coaxial o guía de onda.
- b) Esta barra debe conectarse a la barra BMT o al registro auxiliar más cercano, con cable de sección $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG).

5.4.13. Barra de tierra de Torre (BTT)

- a) Deben colocarse barras de cobre o de acero galvanizado en caliente en la estructura de la torre, de acuerdo a las necesidades de puesta a tierra de las antenas instaladas, estas barras deben ser de 40 cm de largo por 10 cm de ancho y de 6,35 mm de espesor y deben ser instaladas por medio de aisladores tipo granada.

- b) En estas barras deben conectarse las pantallas de los cables coaxiales o guías de onda que ingresan a la estación o al equipo Ericsson GSM y cualquier otro equipo del sistema radiante en la torre. Estas conexiones deben hacerse con un cable de cobre trenzado de una sección mínima de $5,25 \text{ mm}^2$ (10 AWG), por medio de terminales de doble ojo en distancias no mayores a cinco metros.
- c) Cada una de las barras instaladas debe conectarse, por medio de un cable de acero galvanizado, al cable colector de bajante de tierra ambos del mismo diámetro por medio de soldadura exotérmica. Ver Figura 30.

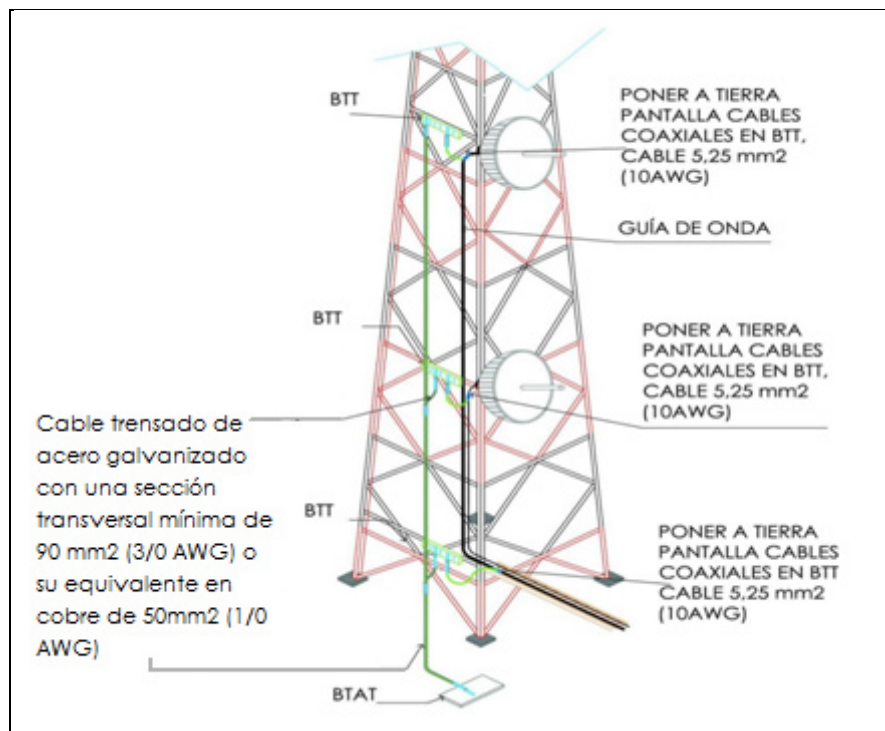


Figura 30. Barras BTT

Fuente: basado en recomendaciones de la IEEE y resultados del informe

- d) En la conexión con la barra debe utilizarse un terminal de doble ojo. La sección mínima a utilizar tanto en el cable colector como en la conexión de cada barra es 50 mm^2 para cobre trenzado o 90 mm^2 en acero galvanizado en caliente.

5.4.14. Barra de tierras de equipo de telefonía inalámbrica (BTETI)

- a) Debe colocarse una barra de cobre o acero galvanizado en el pedestal de concreto de los equipos electrónicos externos o debajo de las vías de cables coaxiales o de guías de onda, por medio de aisladores tipo granada. Las dimensiones de esta barra deben ser de 40 cm de largo, 10 cm de ancho y 6,35 mm de espesor.
- b) En esta barra deben conectarse la puesta a tierra del chasis de los equipos, las pantallas de los cables coaxiales o guías de onda, por medio de terminales de compresión de doble ojo y debe interconectarse al SPT del equipo de telefonía inalámbrica por medio de cable de acero galvanizado en caliente con diámetro mínimo de 11.11mm o en cobre desnudo con sección mínima de 27,19 mm² (4 AWG).

5.4.15. Barra de tierra auxiliar de torre (BTAT)

- a) Debe colocarse una barra de cobre, dentro del registro auxiliar de la torre, dónde debe conectarse el SPT de la torre y el SPT del equipo de telefonía inalámbrica, cuando lo amerite. Todas las conexiones en la barra deben realizarse por medio de terminales de compresión de doble ojo. Debe equipotencializarse con la BMT, por medio de un cable cuyo calibre se dimensionará de acuerdo a la Tabla 7, con una resistencia objetivo de 0,01 Ω y una sección mínima de 33,6mm² (2 AWG). Las dimensiones de esta barra deben ser 40 cm de largo por 10 cm de ancho y 6,35 mm de espesor.
- b) Esta barra debe tener la identificación BTAT, empotrada 7 cm en sus dos extremos, dentro de las paredes opuestas del registro, diseñado de acuerdo a las necesidades del SPT.

5.5. Sistema de puesta a tierra del equipo de telefonía inalámbrica

- a) Los equipos de telefonía inalámbrica deben tener su propio SPT independiente para conectar a la BTETI. La conexión entre la BTETI y el SPT debe realizarse con un cable de cobre trenzado, con una sección mínima de 27,19 mm² (4 AWG) o acero galvanizado en caliente con un diámetro mínimo de 11.11 mm, por medio de terminales de doble ojo. Este SPT debe cumplir con una resistencia menor o igual a 5 Ω .
- b) Estos SPT, se deben interconectar a la barra BTAT con el fin de lograr un equilibrio eléctrico. Estas conexiones deben hacerse con un cable de cobre trenzado diseñado de acuerdo a la tabla 7. con una resistencia objetivo de 0.005 Ω .

5.6. Sistemas de puesta a tierra perimetral del edificio o contenedor.

- a) Si es necesario un sistema de puesta a tierra aparte del de la torre ya instalada, entonces éste debe consistir de un conductor desnudo de cobre trenzado, con un área mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG), colocado en el exterior de la estación, paralelo a las paredes de la misma, formando una figura cerrada y separado un mínimo de 60 cm de ella. Debe ser enterrado a un mínimo de 76 cm. El conductor debe ser colocado en líneas rectas, sin empalmes. En los vértices, el cable debe ser conectado por medio de soldadura exotérmica a un electrodo de 3 m de largo mínimo. De ser necesario para conseguir la resistencia de 5Ω , se pueden adicionar electrodos intermedios, separados como mínimo una distancia igual al largo del electrodo manteniendo la geometría del anillo.
- b) Este sistema debe conectarse a la BMT, por medio de un terminal de compresión de doble ojo, con un conductor de una sección mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG).

5.7. Distribuidor principal (DP)

La estructura del DP debe conectarse a la sección CENA de la BTET por medio de un cable forrado de cobre trenzado, de un calibre de acuerdo a lo establecido en la Tabla 4 con una resistencia objetivo de $0,01 \Omega$.

5.8. Equipo de telefonía inalámbrica

Debe conectarse la Puesta a Tierra interna del equipo de telefonía inalámbrica a la BTETI, mediante un cable forrado de cobre con una sección mínima de $8,37 \text{ mm}^2$ (8 AWG), o seguir la recomendación del fabricante.

5.9. Cables coaxiales o guías de onda

- a) Los cables coaxiales o guías de onda que ingresen al equipo de telefonía inalámbrica o a una estación de telecomunicaciones deben ser para uso externo y provisto de placa.
- b) La placa debe ser aterrizada en la BTETI en caso de ingreso al equipo de telefonía inalámbrica o en la BTCT en caso de ingreso a la estación de telecomunicaciones.

5.10. Escalerillas externas de cables

Deben existir uniones equipotenciales entre los cuerpos de las escalerillas de cable, por medio de cable de acero galvanizado con un diámetro mínimo de 6.35 mm y terminales de doble ojo entre las juntas con tornillos de la bandeja hasta la BTT y hacia la BTCT cuando este exista. La Figura 31 muestra cómo deben ser conectadas.

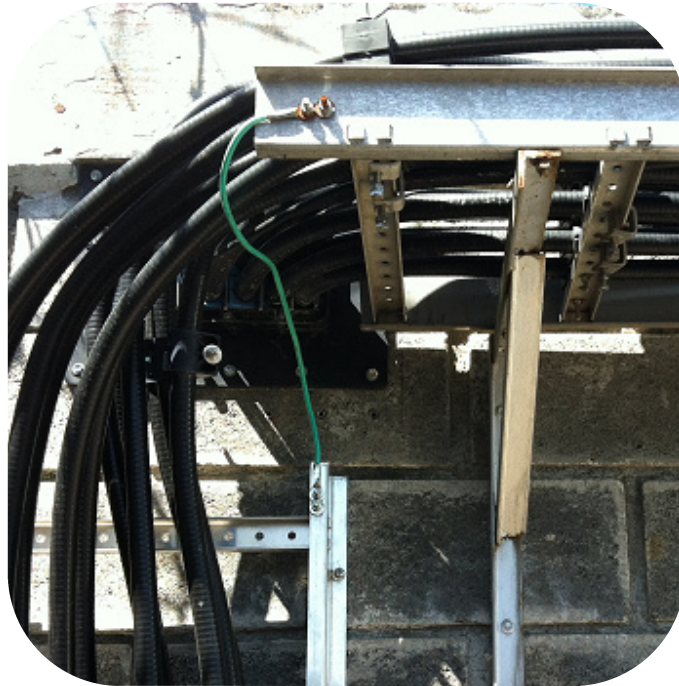


Figura 31. Unión entre escalerillas externas para la tierra

5.11. Equipos electrónicos alimentados con corriente alterna

- a) Los bastidores Ericsson que contengan equipos electrónicos alimentados con CA deben ser aislados de las vías de cable por medio de aisladores plásticos de 600 V.
- b) Además estos bastidores deben quedar separados de los bastidores con equipos alimentados con CD, como mínimo 5 cm.
- c) Los bastidores de estos equipos deben tener una conexión a la barra de tierras del tablero correspondiente de alimentación de CA, por medio de un cable de protección de equipos, cuyo calibre debe calcularse de acuerdo con la Tabla 10.

Tabla 10. Calibre mínimo para cable de protección de equipos.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de [A]	Calibre [AWG o kcmil]	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Fuente: NEC, versión 2008. [10]

5.12. Equipos alimentados con corriente alterna dentro del edificio o contenedor.

- a) Los equipos de potencia alimentados con CA, tales como módulo de rectificadores, tableros eléctricos, conmutadores automáticos de transferencia, unidades de potencia ininterrumpida (UPS), alarmas de seguridad y gestión, equipos de aire acondicionado y otros similares, deben ponerse a tierra utilizando la barra de puesta a tierra del centro de carga al que se conecta.
- b) Los equipos electrónicos de comunicaciones alimentados con CA deben ponerse a tierra desde la barra de tierras del tablero de CA por medio de su acometida eléctrica. El bastidor que aloje estos equipos debe conectarse a la barra de tierras del tablero de CA que está alimentando a los equipos que este rack contenga.
- c) En el caso de las escalerillas, deben estar eléctricamente aisladas de los gabinetes que contienen equipos con alimentación de CA.

- d) En el caso de que en el mismo bastidor se instalen equipos electrónicos que sean alimentados con CA y otros con CD, sus sistemas de aterrizamiento no se deben mezclar. El CD se mantendrá aislado del sistema CA.

5.13. Protección del sistema de alimentación eléctrica de corriente alterna

- a) La protección para la alimentación de CA que sirve al edificio o contenedor de la estación de telecomunicaciones debe consistir en un principio de protección escalonada con descargadores de sobretensiones, que inicia desde el circuito eléctrica de alimentación o acometida.

Puede obtenerse una mínima protección a través de la instalación de un descargador de sobretensiones elegido apropiadamente y ubicado normalmente en el tablero principal de distribución de potencia. Sin embargo, debe realizarse el estudio correspondiente para la implementación o no de un sistema escalonado.

La primera etapa de protección precisa de un elemento clase I, capaz de soportar los efectos (directos o indirectos) de un rayo. Este elemento debe instalarse en el punto de acometida de la estación.

La segunda etapa de protección está a cargo de un elemento clase II, que debe ubicarse en los sistemas de distribución de energía (tableros principales) y debe tener la capacidad de soportar el remanente del sistema primario de protección.

Finalmente está la tercera etapa, un elemento protector clase III, para limitar las sobretensiones ocasionadas por conmutaciones o inducciones internas. Este elemento debe estar ubicado lo más cerca posible del equipo a proteger.

- b) El diseñador es responsable por determinar que las características del descargador sean las correspondientes con la rigidez dieléctrica y la capacidad de soportar corrientes de sobrecarga de todos los dispositivos del equipo alimentado mediante corriente alterna en la estación. Esto significa que debe utilizarse uno o más descargadores, con un voltaje de ruptura ante sobrecargas no mayor a los 600 voltios (valor pico) y un dispositivo de válvula para prevenir corriente de descarga.
- c) El descargador debe cumplir con la normativa IEEE C62.41 y en su última versión.
- d) La utilización de uno o varios descargadores para proteger la alimentación CA que llega a la estación de telecomunicaciones es altamente recomendada. Algunos descargadores presentan una respuesta rápida (preferible menor a los 100 nanosegundos) y se coordinan rápidamente con el equipo alimentado mediante corriente alterna.
- e) Es importante atender las recomendaciones que el fabricante indique con respecto a la conexión de estos dispositivos al SPT.

5.14. Sistemas con transformador dentro del terreno de la estación

- a) Cuando, dentro del terreno de la estación, se ubica un transformador de uso exclusivo, debe establecerse una conexión de puesta a tierra entre la barra de tierras del tablero principal y el punto de conexión a tierra del transformador. El dimensionamiento del calibre de estos cables debe calcularse utilizando la Tabla 8.
- b) El transformador o banco de transformadores debe tener su propio sistema de puesta a tierra, que debe estar conectado con la BMT de la estación para asegurar el mismo potencial con un conductor calculado por medio de la Tabla 7 con una resistencia objetivo de 0,005 Ω .

5.15. Sistemas con transformador fuera del terreno de la estación

- a) Cuando el transformador se ubica fuera del terreno de la estación, debe establecerse una conexión entre la barra de tierras del tablero de distribución eléctrica principal y el punto de conexión a tierra ubicado en el gabinete del interruptor principal. El dimensionamiento del calibre de este cable debe calcularse utilizando la Tabla 8.
- b) El punto de conexión a tierra del gabinete del interruptor principal debe tener una conexión a su propio sistema de puesta a tierra por medio de un cable dimensionado de acuerdo con la Tabla 8, la que a su vez debe estar conectada con la BMT de la estación, para asegurar el mismo potencial, con un conductor calculado por medio de la tabla 7 con una resistencia objetivo de 0,005 Ω .

5.16. Puesta a tierra del sistema de Corriente Directa

- a) Debe conectarse la terminal positiva del equipo de fuerza y la distribución de corriente directa a la sección CD de la BTET, mediante un cable de cobre trenzado cuyo calibre lo determina el fabricante. Dado el caso que se encuentre dentro del contenedor.
- b) El equipo CD dentro de los bastidores GSM se deben conectar a la BTETI, mediante un cable de cobre trenzado cuyo calibre lo determina el fabricante.

5.17. Puesta a tierra de la planta eléctrica.

- a) Cuando el grupo electrógeno se ubique dentro del contenedor de la estación, se debe proveer una conexión entre su estructura y la BMT con el fin de ponerlas a un mismo potencial, mediante un cable de cobre trenzado, cuyo calibre se determina de acuerdo a la Tabla 7 con una resistencia objetivo de 0,005 Ω y un área mínima de 53,5 mm² (1/0 AWG).

- b) Cuando la planta eléctrica esté ubicado en un edificio separado de la estación o en el exterior, debe instalarse un sistema de puesta a tierra propio, que será conectado a la estructura del grupo electrógeno mediante un cable de cobre trenzado, cuyo calibre se determina de acuerdo a la Tabla 7 con una resistencia objetivo de $0,005 \Omega$ y un área mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG). Este SPT debe poner a un mismo potencial con la BMT o con el registro auxiliar más cercano mediante un cable de cobre trenzado, cuyo calibre se determina de acuerdo a la Tabla 7 con una resistencia objetivo de $0,005 \Omega$ y un área mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG).

5.18. Torres de telecomunicaciones

- a) Debe instalarse un sistema de pararrayos de forma que garantice una adecuada protección a los equipos que se instalen en esa estructura, de acuerdo con las indicaciones de la IEC 62305-3 en su última versión. En la Figura 32 se muestra una forma básica de conexión de un pararrayos en el punto más alto de una torre de una radio base.

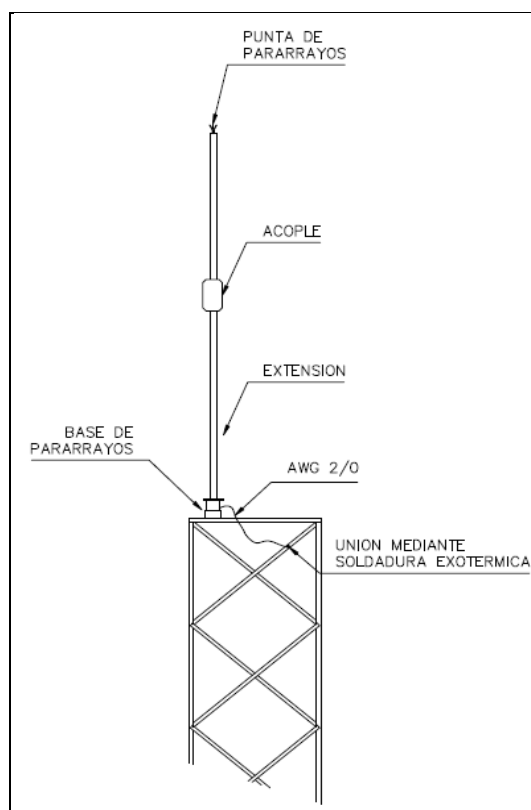


Figura 32. Detalle de conexión de punta del pararrayos de una torre.

Fuente:[11]

- b) Este sistema consiste en una o varias terminales de impacto de rayo, el o los conductores que los interconectan (bajante del pararrayos) y la puesta a tierra de la torre.
- c) La terminal de impacto de rayo, debe ser de material resistente a la corrosión. El nivel de altura debe sobresalir como mínimo 65cm sobre cualquier otro elemento instalado.
- d) El conductor bajante del pararrayos debe ser de acero trenzado galvanizado en caliente con sección transversal de 90 mm^2 o en cobre 50 mm^2 .
- e) En instalaciones existentes, cuando se requiera cambiar un tramo del bajante del pararrayos por ruptura o robo, se permite realizar una única unión con soldadura exotérmica.
- f) Se debe garantizar la unificación de potencial del bajante del pararrayos y la estructura de la torre para prevenir flameo laterales originados por la ruptura del dieléctrico del aire entre la torre y el bajante, mediante la unión física que puede ser una grapa tipo mordaza, o cinta de acero para atar, entre el bajante y la estructura de la torre. La distancia entre los mecanismos de sujeción debe ser de dos metros como máximo.
- g) El mecanismo de sujeción del bajante del pararrayos puede ser de cobre, bronce o acero inoxidable o acero galvanizado en caliente. La distancia entre los mecanismos de sujeción debe ser de dos metros como máximo.
- h) La trayectoria del bajante del pararrayos debe quedar al lado contrario de la prevista de las vías de cable de antenas o en lado más lejano de las mismas.
- i) El conductor del bajante del pararrayo y la puesta a tierra de la estructura, cuando sean de acero y que tenga contacto con la tierra, deben tener un tratamiento que evite la corrosión del material y la formación de par galvánico.
- j) La puesta a tierra de la torre consiste en un conductor de cobre trenzado, desnudo, con una sección mínima de $67,4 \text{ mm}^2$, (2/0 AWG), separado a una distancia de 60cm con la fundación de la torre. Se debe de enterrar a un mínimo de 0,45 metros, de acuerdo a la Figura 33. El conductor debe ser colocado en líneas rectas sin empalmes. En todo cambio de dirección el radio de giro no será menor a 20cm. El cable se conectará por medio de soldadura exotérmica a un electrodo de longitud mínima de 3 m de largo, enterrado verticalmente a 60 cm por debajo del nivel del suelo. En caso de la colocación de electrodos horizontales, deben enterrarse como mínimo 0,45 m.

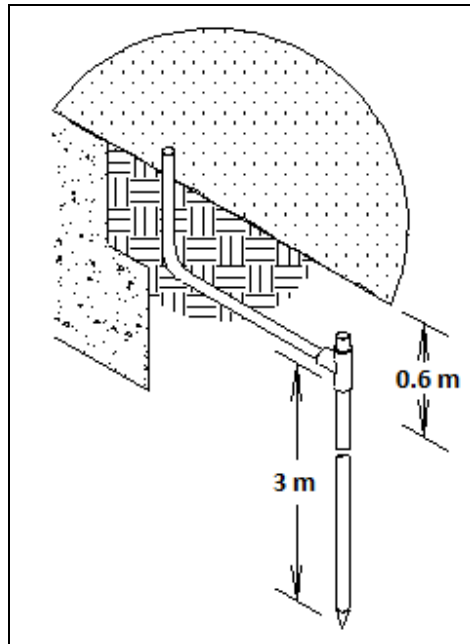


Figura 33. Instalación típica de un electrodo de puesta a tierra.

Fuente: [11]

- k) Cada uno de las patas de la torre debe conectarse a nivel de pie a la puesta a tierra de la torre y, en el caso de monopolos, debe utilizarse la prevista que trae de fábrica, mediante un conductor del mismo calibre y material que el bajante del pararrayos, unido a la estructura con soldadura exotérmica.
- l) El sistema pararrayos de la estructura para antenas debe poseer su propio SPT, con un valor de resistencia no mayor a 5Ω .
- m) La puesta a tierra de la estructura de telecomunicaciones que soporta antenas debe de interconectarse a un registro de tierras (BTAT) y de este registro, en el caso de existir edificio de telecomunicaciones, a la barra BMT del edificio, con la finalidad de mantener la equipotencialidad del sistema de puesta a tierra. Estas conexiones deben hacerse con un cable de cobre trenzado de acuerdo a la Tabla 7 con una resistencia objetivo de $0,005 \Omega$ y una sección mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG).
- n) En caso de que en un mismo sitio existan más de dos BTAT, se deben interconectar entre sí, con la finalidad de mantener la equipotencialidad del SPT. Esta conexión debe hacerse con un cable de cobre trenzado de acuerdo a la Tabla 7, con una resistencia objetivo de $0,005 \Omega$ y una sección mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG).

- o) La resistencia del SPT de la torre debe ser menor o igual a 5Ω .
- p) Para alturas de hasta 40 metros debe instalarse una única punta con un solo bajante. Para alturas superiores deben instalarse dos terminales (puntas) con sus respectivos bajantes.

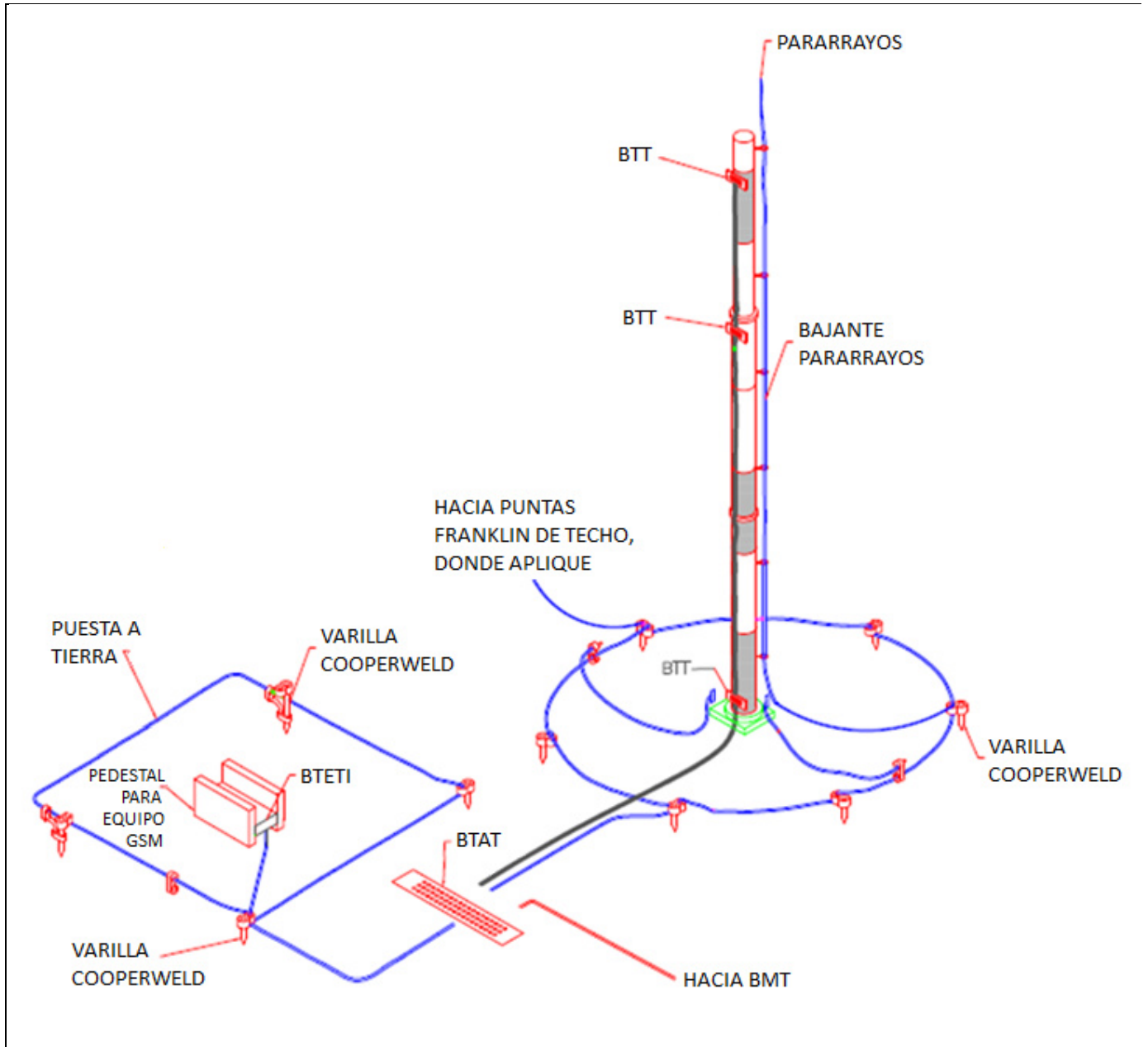


Figura 34. Puesta a tierra de un monopolo.

Fuente: basado en recomendaciones de la IEEE y resultados del informe

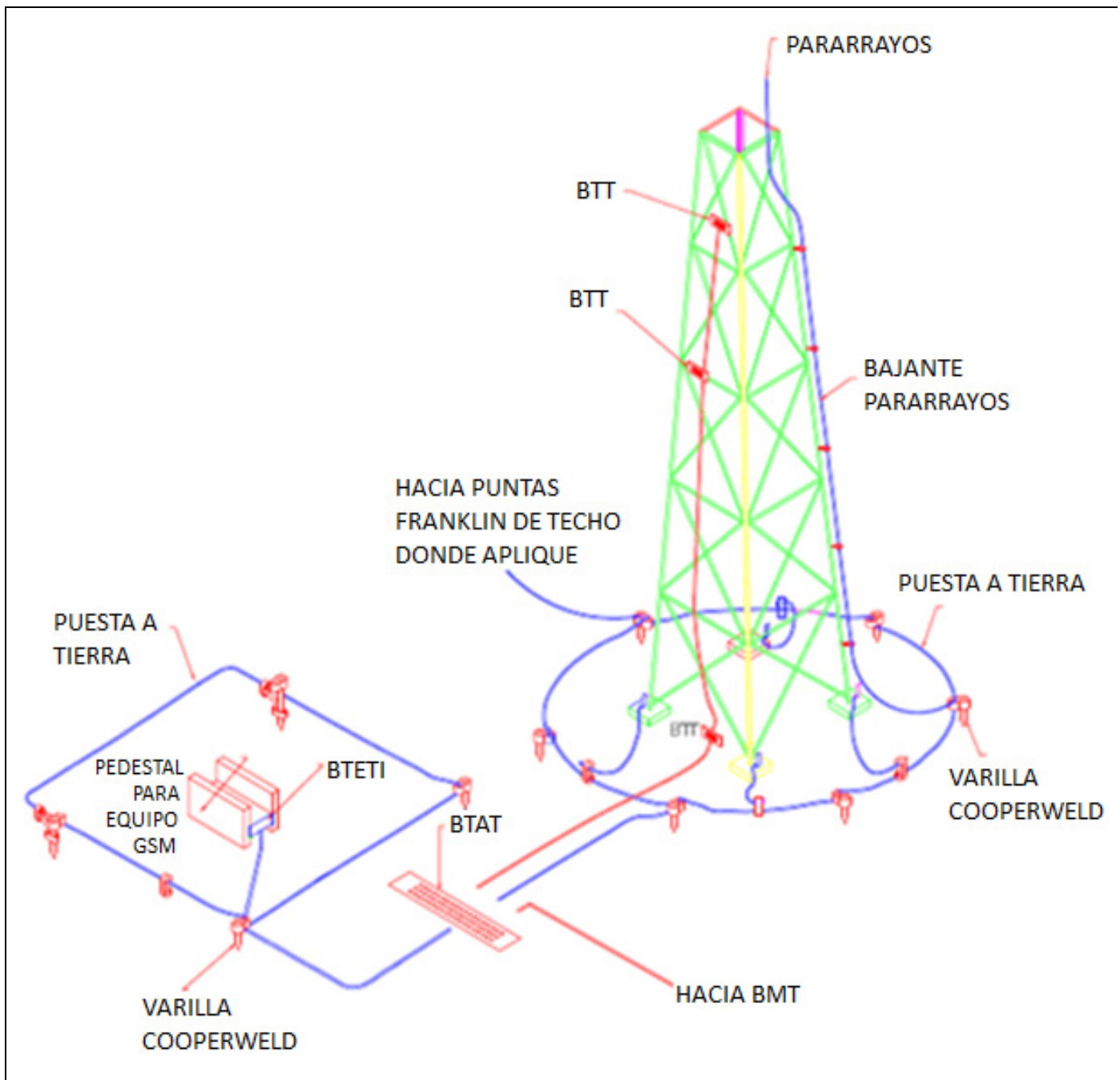


Figura 35. Puesta a tierra de una torre.

Fuente: basado en recomendaciones de la IEEE y resultados del informe

5.19. Cerca metálica de colindancia

La cerca metálica de colindancia debe conectarse a tierra, mediante cable trenzado de cobre con una sección mínima de 21.2mm² (4 AWG) o en acero galvanizado de 50 mm², con su revestimiento anticorrosivo, a un electrodo de 2.44 m de largo mínimo con 15.84 mm de diámetro, debidamente soterrado. La conexión debe hacerse en dos puntos, si la cerca mide menos de 30 m, o cada 30 m si la longitud es mayor. Las conexiones deben hacerse mediante soldadura exotérmica. Se debe asegurar la continuidad de la cerca en donde existan accesos o discontinuidades, por medio de un conductor soldado entre los postes que soportan los portones, de forma subterránea. Además se debe hacer un puente con cable entre el poste del lado de bisagra y el portón. Debe hacerse una conexión entre la cerca y la BMT en el punto más cercano entre ellos, por medio de un cable de cobre trenzado, cuyo calibre se dimensiona de acuerdo con la Tabla 7 con una resistencia objetivo de 0,01 Ω .

El conductor de puesta a tierra de la cerca metálica de colindancia, cuando sea de acero y que tenga contacto con la tierra, debe tener un tratamiento que evite la corrosión temprana del material.

5.20. Protección del edificio contra descargas atmosféricas

- a) Generalmente el edificio que aloja algunos equipos de la radio base se encuentran ceca de la torre, pero cuando el edificio no esté cubierto por la sombrilla invertida (Figura 36) del pararrayos de la torre, según la (NFPA 780) se deberá construir un SPT de forma independiente para el sistema de protección contra descargas atmosféricas que se instalen en la cubierta de techo del edificio, el cual se aterrizará al cimiento de la placa corrida del edificio. Se conectará a la placa corrida del edificio mediante un conductor, este debe ser de acero trenzado galvanizado en caliente con sección transversal de 90 mm² o en cobre 50 mm².
- b) El cimiento de la placa corrida del edificio se conectara a la BTAT con un cable de cobre trenzado de acuerdo a la Tabla 4 con una resistencia objetivo de 0,005 Ω y una sección mínima de 53,5 mm² (1/0 AWG).

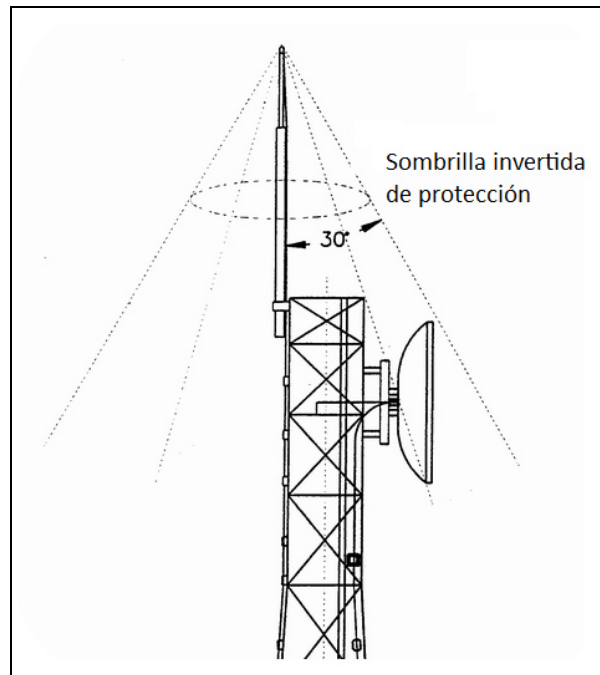


Figura 36. Sombrilla invertida de protección.

Fuente: [11]

5.21. Contenedores con equipos de telecomunicaciones

La barra BMT del contenedor debe conectarse con la BMT de la radio base, por medio de un cable cuyo calibre debe ser diseñado de acuerdo con la Tabla 7, con una resistencia objetivo de $0,01 \Omega$, con una sección mínima de $53,5 \text{ mm}^2$ (1/0 AWG).

5.22. Puesta a tierra de vehículos expendedores.

Idealmente los vehículos que transportan hidrocarburos para los diferentes sitios del ICE deben tener un sistema de conexión de su chasis al punto de conexión de la manguera con la estación, por medio un cable conductor flexible, con una sección mínima de $27,19 \text{ mm}^2$ (4 AWG), incorporado al vehículo, para mantener el equipotencial en el momento de la descarga de combustible. La distancia máxima de esta conexión es de 6 m.

El punto de conexión de puesta a tierra del cable de equipotencialidad debe estar identificado adecuadamente.

5.23. Aditivo reductor de resistencia de puesta a tierra.

Los sustitutos de terreno que se quieran utilizar, deben cumplir con los apartados 4.1.7 del IEEE std.142-2007 y el 14.5 del IEEE std.80-2000.

5.24. Electrodo profundo.

Cuando las condiciones del suelo no permitan alcanzar una resistencia ideal se permite la instalación de varios electrodos profundos, según el artículo 4.3.2 y 4.3.3 de la IEEE el cual presenta un mejor comportamiento que el de varios electrodos cortos.

5.25. Cama resistiva de piedra cuarta

En sitios donde se ubiquen torres de telecomunicaciones se recomienda colocar sobre la superficie un recubrimiento de cama de piedra cuarta con espesor de 15 cm sobre todo el área ocupada por la puesta a tierra de la torre. Se deberá tomar las medidas del caso para evitar que se contamine con otro material de suelo de menor resistividad.



Figura 37. Cama de piedra de una radio base.

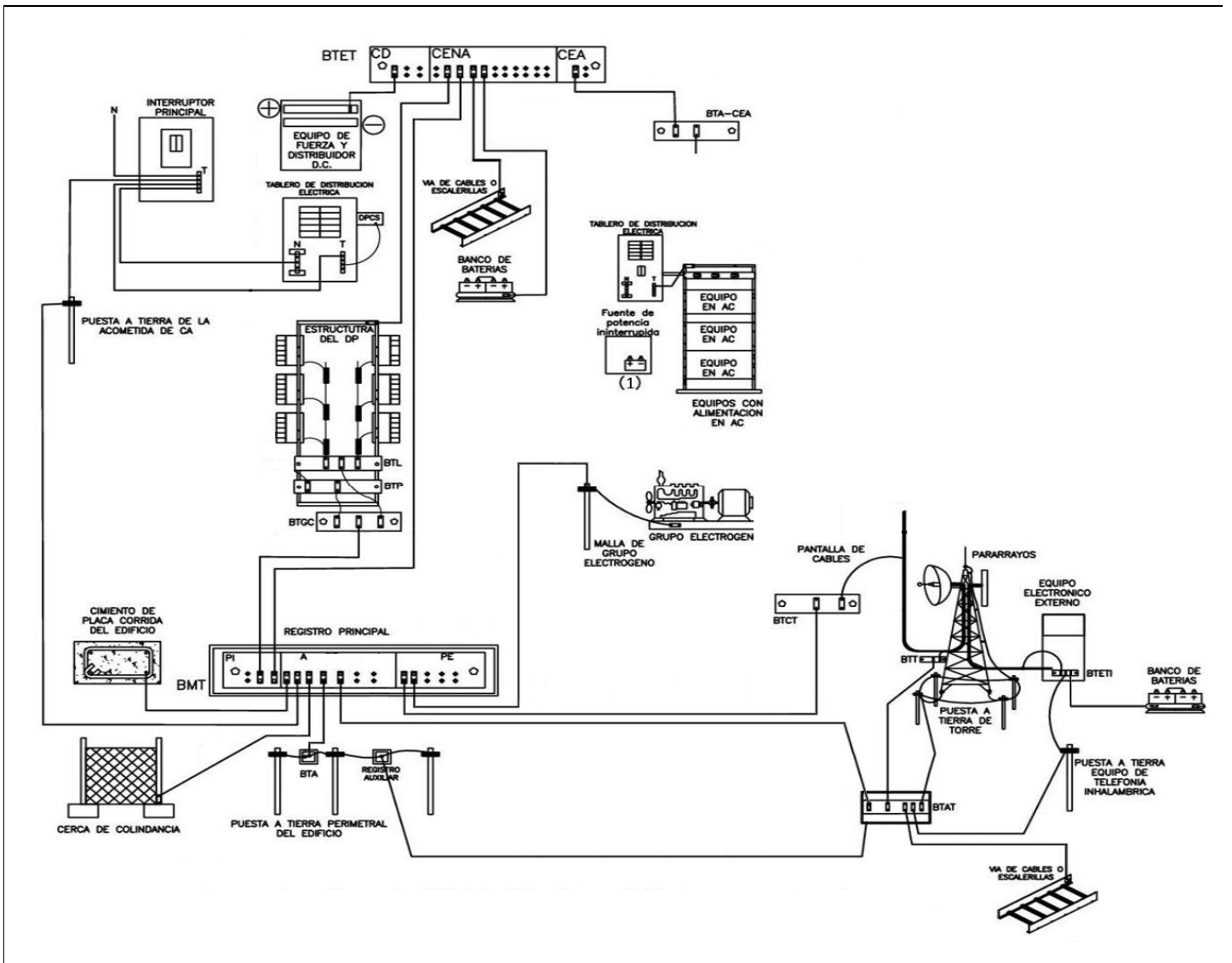


Figura 38. Sistema de puesta a tierra de punto único.

Fuente: basado en recomendaciones de la IEEE y resultados del informe

CAPITULO 6: Análisis de resultados.

La actualización y el mantenimiento de las puestas a tierra de las radio bases del Instituto Costarricense de Electricidad son de suma importancia para la operación continua del servicio de telefonía celular. Como resultado del nuevo diseño se obtuvieron una serie de datos que deben ser analizados para realizar las mejoras necesarias para asegurar la confiabilidad de los sistemas de protección.

En primer lugar se inició con el estudio de la composición de los suelos que mayoritariamente cubren el Gran Área Metropolitana. Esto se hizo con el objetivo de tener un punto de referencia de los valores promedios de resistividades de los mismos. Además, es importante resaltar que el suelo es uno de los parámetros de mayor importancia en lo que respecta al diseño de los sistemas de puesta a tierra, por lo que no se puede obviar su estudio. Así, se comprobó con tablas que las resistividades de este tipo de terrenos andan por debajo de los 100 Ω -m, por lo que se tiene una referencia de valores y además, se comprueba su buena conductividad. Los detalles de los valores de resistividad se presentaron en la Tabla 3.

Seguidamente se analizó un estudio de descargas atmosféricas para el año 2011 de un informe anual del departamento meteorológico del ICE. Una vez con la información, se obtuvieron resultados para las 7 provincias de Costa Rica, donde se pudo observar que las zonas con más incidencias de tormentas eléctricas en el territorio nacional se encontraron en Sarchí, Grecia, Tacaes, Barrio San José, Alajuela y otras pequeñas regiones del pacífico central. Con los datos mostrados por el estudio, se logró ordenar las radio bases de tal forma que los sitios con mayor incidencia de descargas eléctricas sean las primeras en que se le realicen los cambios propuestos al sistema de puesta a tierra. En el apéndice 3 se desarrolló la tabla ordenada según su zona de vulnerabilidad.

Con el estudio meteorológico también se logró saber que los períodos idóneos para la toma de mediciones de los SPT deben ser de diciembre a marzo, que es donde se registran la menor cantidad de descargas atmosféricas y que además por ser época seca los suelos son más resistivos.

Luego de todos éstos datos tomados en consideración, se rediseño el sistema de puesta a tierra. Con el fin de que el sistema proteja el equipo celular y que cumpla con las normas internacionales de electricidad, por los entes antes mencionadas de la IEEE y el NEC. El ICE debe tener en consideración que luego de un periodo considerable de tiempo se deben volver a hacer mejoras al diseño propuesto. Al haber nuevas tecnologías con el paso de los años y diferentes variables que envuelven el funcionamiento ideal del sistema de protección, se debe estar consiente que la actualización periódica del sistema de puesta a tierra es primordial.

También, se desarrollo un checklist para la empresa, con el fin de que por medio de sus técnicos puedan realizarse inspecciones a las radio bases, para conocer el estado actual de su SPT e ir creando un historial que ayudará a mejorar la planificación de mantenimiento de los sitios. Por lo que un buen mantenimiento hará que el SPT se encuentre en buen estado y cumpla su función de proteger la radio base contra descargas eléctricas.

CAPITULO 7: Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones:

- El conducir la descarga eléctrica por una ruta y conductor conocido disminuye considerablemente la posibilidad de que el pico de corriente alcance y dañe el equipo celular.
- El mejor modelo que asegura la protección del equipo celular contra descargas eléctricas es el sistema de punto único, el cual es respaldado por las normas eléctricas más recientes de la IEEE.
- Con el sistema de puesta a tierra propuesto se garantiza la disminución del riesgo eléctrico del equipo GSM.
- Con los cambios propuestos en el sistema de puesta a tierra se cumple de manera directa con el Código Eléctrico Nacional, y por consiguiente con las normas de la IEEE.
- La mejor época para realizar las mediciones de resistividad del SPT es entre los meses de diciembre y marzo por encontrarse en la estación seca lo que hace el suelo más resistivo.

Recomendación general:

La mayoría de radio bases evaluadas presentan deficiencias en su sistema de protección por lo que se recomienda el poner en práctica el modelo aquí planteado lo más pronto posible.

CAPITULO 8: Bibliografía

[1]<http://www.noticiadeimpacto.com/2013/03/mas-de-2000-rayos-cayeron-en-rio-de.html>

[2] Manual de protección contra rayos, DEHN, Capítulo 2, pag 18.

[3]<http://www.lecmex.com/Documentos/Proteccion/PROTECCION.htm>

[4] <http://standards.ieee.org/>

[5]. Quesada Ruiz Walterio, Seminario de protección integral de edificios e instalaciones en general, Colegio de ingenieros eléctricos, mecánicos e industriales, Costa Rica, 2008.

[6]De La Vega Ortega Miguel, Problemas de ingeniería de puesta a Tierra, Editorial LIMUSA, México D.F., 2002

[7] Ortuondo F. Pedro, Manual para el Proyecto y Análisis de Puesta a Tierra, Editorial Porrúa, México, 1981.

[8]Procedimientos de medición de resistividad del suelo y resistencia de puesta a tierra, Instituto Costarricense de Electricidad, 2012.

[9] Boletín anual de la Unidad de Análisis Meteorológico y Descargas Atmosféricas, Instituto Costarricense de Electricidad, 2012.

[10] National Fire Protection Association, National Electrical Code, Massachusetts, 2011.

[11] <http://personal.telefonica.terra.es/web/eb4df/esquemas/tierra.htm>

[12]Kenneth I. Kaiser, Electromagnetic Compatibility Handbook, Chapter 28, Electrical Engineering Netbase, 2004.

[13]<http://waste.ideal.es/pararrayos-1.htm>

[14]Procedimientos de medición Wenner y caída de potencial 62, Instituto Costarricense de Electricidad, 2012.

[15] <http://www.lyncol-latam.com/>

CAPITULO 9: Apéndices

1. Abreviaciones:

<i>AWG:</i>	<i>American Wire Gauge</i>
<i>BMT:</i>	Barra maestra de tierras
<i>BTA:</i>	Barra de tierras auxiliar
<i>BTCT:</i>	Barra de tierras de cables de Transporte
<i>BTET:</i>	Barra de tierras de equipos de telecomunicaciones
<i>BTETI:</i>	Barra de tierras de equipo de telefonía inalámbrica
<i>BTGC:</i>	Barra de tierras de galería de cables
<i>BTT:</i>	Barra de tierras de torre
<i>BTAT:</i>	Barra de tierras auxiliar de Torre
<i>CA:</i>	Corriente alterna
<i>CD:</i>	Corriente directa.
<i>CEA:</i>	Chasis de Equipo Aislado
<i>CENA:</i>	chasis de Equipo No Aislado
<i>DP:</i>	Distribuidor principal
<i>DPCS:</i>	Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias
<i>ICE:</i>	Instituto Costarricense de Electricidad
<i>IEEE.</i>	Institute of Electronic and Electric Engineering
<i>kcmil:</i>	<i>Miles of Circular Mils</i> (anteriormente MCM)
<i>NEC:</i>	<i>National Electrical Code</i>
<i>NFPA:</i>	<i>National Fire Protection Association</i>
<i>NPT:</i>	Nivel de piso terminado
<i>PI:</i>	Productores Internos
<i>PE:</i>	Productores Externos
<i>SNPT:</i>	Sobre el nivel de piso terminado
<i>SPT:</i>	Sistema de puesta a tierra
<i>SPTPU:</i>	Sistema de Puesta a Tierra de Punto Único
<i>UPS:</i>	Unidad de potencia ininterrumpida (<i>Uninterruptible Power Supply</i>)

2. Checklist para la revisión de un SPT de una radio base.



**CHECKLIST PARA PUESTA A
TIERRA
DE RADIO BASES DEL ICE
SJ-CR-06.2013**

Ubicación de la radio base: _____

Nombre de la radio base: _____

Código de radio base: _____

EVALUADOR:

Nombre: _____

Fecha: _____

Encargado de zona: _____

Jefe de departamento: _____

1.0	CONDUCTORES (Indicar estado)	Revisado	STATUS/ACCIÓN REQUERIDA:
1.1	Existencia de conductores: Bajante de pararrayos y uniones equipotenciales.		
1.2	Los Conductores para el SPT no tienen material aislador adherido.		
1.3	Los conductores de tierra están aislados.		
1.4	Los conductores no deben estar en conductos metálicos, si lo están, revisar que el conducto también esté aterrizado en sus dos extremos.		
1.5	Revisar que las tierras se encuentran canalizadas en plástico o material no conductor y evitar que utilicen abrazaderas de metal.		
1.6	No se encuentran cables cercanos a los conductores del SPT, si los hay, alejarlos de alguna manera.		
1.7	Los cables de tierra deben tener aislamiento color verde, verde con rayas amarillas o estar identificados con marcas verdes en los extremos y lugares intermedios.		
1.8	Cualquier conductor debe estar rotulado con su función en ambos extremos del cable.		
1.9	Los conductores deben estar rotulados con su función en ambos extremos del cable.		
1.10	Revisar continuidad de los equipos a la placa BTT y BTETI.		
1.11	Revisar continuidad de los equipos a la placa BTET (CD, CENA, CEA)		
1.12	Calibre adecuado de los conductores del SPT según las normas del NEC.		
1.13	Calibre adecuado de los conductores del SPT según las normas del NEC.		

2.0	<u>PLACAS</u> (Indicar estado)	<u>Revisado</u>	<u>STATUS/ACCIÓN</u> <u>REQUERIDA:</u>
2.1	Las barras deben estar fijadas a la pared con aisladores que resistan 1 KV. Revisar estado de aisladores.		
2.2	Las barras deben estar fijadas a la torre con aisladores tipo granada. Revisar estado de aisladores.		
2.3	Revisar continuidad de las placas con los terminales.		
2.4	Revisar continuidad de las placas con los terminales.		
2.5	Los segmentos designados de las barras deben ser claramente identificados.		
2.6	Los segmentos designados de las barras deben ser claramente identificados.		
2.7	La barra BTET debe tener señaladas las zonas de conexión: CD, CENA, CEA.		
2.8	La barra BMT debe tener señaladas tres secciones de conexión: PI, A y PE		

3.0	<u>ELECTRODOS</u> (Indicar estado)	<u>Revisado</u>	<u>STATUS/ACCIÓN</u> <u>REQUERIDA:</u>
3.1	Si es posible, revisar que los electrodos no están deformados a lo que alcance la vista.		
3.2	Revisar el estado en el que se encuentra el material.		
3.3	Probar continuidad entre el electrodo y el conductor		

4.0	<u>ESCALERILLAS</u>	<u>Revisado</u>	<u>STATUS/ACCIÓN REQUERIDA:</u>
4.1	Existencia de uniones equipotenciales entre los cuerpos de las escalerillas de cable.		
4.2	Existencia de uniones equipotenciales entre los cuerpos de las escalerillas de cable.		
4.3	Prueba de continuidad entre escalerillas.		
4.4	Prueba de continuidad entre escalerillas.		

5.0	<u>CONEXIONES</u> (Indicar estado)	<u>Revisado</u>	<u>STATUS/ACCIÓN REQUERIDA:</u>
5.1	Conexiones de cables deben de ser de doble ojo, utilizando tuercas y tornillos. Socar la tuerca.		
5.2	Conexiones de cables deben de ser de doble ojo, utilizando tuercas y tornillos. Socar la tuerca.		
5.3	Revisar que los terminales de doble ojo estén soldados y haya continuidad entre las conexiones de la placa.		
5.4	Revisar que los terminales de doble ojo estén soldados y haya continuidad entre las conexiones de la placa.		
5.5	Prueba de continuidad cable-conector.		
5.6	Prueba de continuidad cable-conector.		

6.0	<u>EXTERIOR</u> (Indicar estado)	<u>Revisado</u>	<u>STATUS/ACCIÓN REQUERIDA:</u>
6.1	Revisar estado de acometida y socar tornillos que conecta la tierra con la acometida para evitar fugas en caso de falla.		
6.2	Existencia de cama de piedra cuarta con espesor de 15 cm sobre el área ocupada por la puesta a tierra de la radio base.		
6.3	Revisar continuidad de pararrayos con el conductor drenador.		
6.4	Revisar estado de pararrayo.		
6.5	Cada bastidor posee dos conductores a tierra.		
6.6	Cada material conductor exterior debe estar aterrizado (cerca de colindancia, contenedor, portones, etc.)		

7.0	<u>RESISTENCIA PUESTA A TIERRA.</u>	<u>Revisado</u>	<u>RESISTENCIA MEDIDA:</u>
7.1	La resistencia del SPT en radio bases celulares debe ser menor o igual a 5 Ω.		

	Exteriores
	Interiores

3. Lista Ordenada de Radio Bases, según zona de riesgo en el Gran Area metropolitana.

NOMBRE DEL SITIO	CODG. GSM	CODG. 3G	CONF IG	PROVINC IA	CANTON	DISTRITO	ZONA
Atenas	RUR 03	20501-01	HUB	Alajuela	Atenas	Atenas	Metropolitana
Barba	SITE 60	40203-01		Heredia	Barva	San Pablo	Metropolitana
Barrio Jesús de Atenas	RUR 29	20502-01		Alajuela	Atenas	Jesús	Metropolitana
Calle San José Grecia (Sta Gertrudis), ALA	SITE 47	20303-01		Alajuela	Grecia	San José	Metropolitana
Carrillo / Carrillos de Poás	MTR 131	20804-01		Alajuela	Poás	Carrillos	Metropolitana
Carrizal (Roble Santa Bárbara)	SITE 50	40405-01		Heredia	Santa Bárbara	Santo Domingo	Metropolitana
Cerro Gallo	RUR 18	20206-01	HUB	Alajuela	San Ramón	San Rafael	Metropolitana
Empalme - Cambronero	RUR 467	20202-02		Alajuela	San Ramón	Santiago	Metropolitana
Espíritu Santo	RUR 215	20601-01		Alajuela	Naranjo	San Miguel	Metropolitana
Grecia 2	RUR 257	21204-01		Alajuela	Grecia	Grecia	Metropolitana
Grecia Central	RUR 38	20301-01	HUB	Alajuela	Grecia	Grecia	Metropolitana
Hotel Villa Blanca	RUR 302			Alajuela	San Ramón	Ángeles	Metropolitana
La Garita	RUR 51	20113-01	HUB	Alajuela	Alajuela	Garita	Metropolitana
La Garita Oficinas	RUR 517	20113-03		Alajuela	Alajuela	Garita	Metropolitana
La Granja de Palmares	RUR 259	20707-01		Alajuela	Palmares	Granja	Metropolitana
La Guácima	MTR 139	20105-01	HUB	Alajuela	Alajuela	Guácima	Metropolitana
La Maravilla de Alajuela	MTR 25	20106-01		Alajuela	Alajuela	Alajuela	Metropolitana
Montserrat Alajuela		20105-03		Alajuela	Alajuela	Guácima	Metropolitana
Naranjo	RUR 256	20601-03	HUB	Alajuela	Naranjo	Naranjo	Metropolitana
P.H. Garita (Tanque de Oscilación)	RUR 373	20111-01		Alajuela	Alajuela	Turrúcares	Metropolitana
Palmares	RUR 73	20701-01	HUB	Alajuela	Palmares	Palmares	Metropolitana
RACSA Canoas Alajuela		20101-04	HUB	Alajuela	Alajuela	Alajuela	Metropolitana
Ramona de San Juanillo		20603-01		Alajuela	Naranjo	San José	Metropolitana
Rosario de Naranjo	SITE 48	20607-01		Alajuela	Naranjo	Rosario	Metropolitana
San Isidro Atenas (Morazán)	SITE 67	20504-01		Alajuela	Atenas	San Isidro	Metropolitana
San José de la Montaña	SITE 51	40206-01	HUB	Heredia	Barva	San José de la Montaña	Metropolitana
San Juan Abajo de Santa Bárbara		40403-01		Heredia	Santa Barbara	San Juan	Metropolitana
San Juan de Naranjo	RUR 32	20601-02		Alajuela	Naranjo	San Juan	Metropolitana
San Juan de Poás	RUR 445	20802-02		Alajuela	Poás	San Juan	Metropolitana
San Juan de San	RUR 260	20203-01		Alajuela	San Ramón	San Juan	Metropolitana

Ramón							
San Miguel Piedades San Ramón	RUR 478	20205-05		Alajuela	San Ramón	Piedades Sur	Metropolitana
San Ramón	RUR 122	20201-01	HUB	Alajuela	San Ramón	San Ramón	Metropolitana
San Ramón 2	RUR 244	20201-02		Alajuela	San Ramón	San Ramón	Metropolitana
San Roque de Barva		40204-01		Heredia	Barva	San Roque	Metropolitana
Santa Bárbara	RUR 132	40401-01	HUB	Heredia	Santa Bárbara	Santa Bárbara	Metropolitana
Sarchí	SITE 46	21205-01	HUB	Alajuela	Valverde Vega	Sarchí Norte	Metropolitana
Sarchí Norte	RUR 518	21201-02		Alajuela	Valverde Vega	Sarchí Norte	Metropolitana
Sub-Estación. Reductora. Naranjo		20601-04		Alajuela	Naranjo	Naranjo	Metropolitana
Turrúcares	RUR 345	20111-02		Alajuela	Alajuela	Turrúcares	Metropolitana
Volcan Barva		40206-02		Heredia	Barva	San José de la Montaña	Metropolitana
Volcán Poás		20802-01		Alajuela	Poás	San Juan	Metropolitana
Volcan Poás Torre COSESNA		20302-02		Alajuela	Grecia	San Isidro	Metropolitana
Volio (San Ramón)	RUR 52	20210-01		Alajuela	San Ramón	Volio	Metropolitana
Zarcero	RUR 140	21101-01	HUB	Alajuela	Alfaro Ruiz	Zarcero	Metropolitana
2x1	MTR 01	10103-05		San José	San José	Hospital	Metropolitana
Aeropuerto Tobías Bolaños		10109-08		San José	San José	Pavas	Metropolitana
Alajuelita Centro	MTR 151	11001-02		San José	Alajuelita	Alajuelita	Metropolitana
Alajuelita RITEVE, San Felipe	MTR 39	11001-01		San José	Alajuelita	Alajuelita	Metropolitana
Alto de Guadalupe	MTR 28	10807-01	HUB	San José	Goicoechea	Guadalupe	Metropolitana
Alto de las Palomas / S.E. Escazú	MTR 172	10203-10		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Alto La Palma		10402-01		San José	Puriscal	Mercedes	Metropolitana
Angeles de Chires		10409-02		San José	Puriscal	Chires	Metropolitana
ANTEC / Dos Pinos Barrio Luján	MTR 31	10104-04		San José	San José	Catedral	Metropolitana
Archivo Nacional		11801-05		San Jose	Curridabat	Curridabat	Metropolitana
Aurora Heredia	MTR 115	40104-03		Heredia	Heredia	Ulloa	Metropolitana
Bajo Molino Heredia		40101-04		Heredia	Heredia	Heredia	Metropolitana
Banco Nacional Das		10101-06					Metropolitana
Barreal de Heredia	MTR 142	40104-01		Heredia	Heredia	Ulloa	Metropolitana
Barrio Cuba	MTR 93	10103-04	HUB	San José	San José	Hospital	Metropolitana
Barrio Don Bosco (Hospital)	MTR 88	10103-01		San José	San José	Hospital	Metropolitana
Barrio Los Angeles	MTR 23	10103-06	HUB	San José	San José	Hospital	Metropolitana
Barrio Los Laureles Escazú 2		10203-20		San Jose	Escazu	San Rafael	Metropolitana
Barrio México	MTR 46	10102-02		San José	San José	Merced	Metropolitana
Barrio San Martín, Santo Domingo	SITE 12	40305-01		Heredia	Santo Domingo	Santo Tomás	Metropolitana
Bebedero Escazú		10202-02					Metropolitana

Bellavista	MTR 43	10104-02		San José	San José	Catedral	Metropolitana
Bello Horizonte Escazú	MTR 167	10203-02		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Bello Horizonte Escazú 2		10203-15		San Jose	Escazu	San Rafael	Metropolitana
Biblioteca Nacional	MTR 161			San José	San José	El Carmen	Metropolitana
Bomberos Tibás		11303-03		San Jose	Tibas	Anselmo Llorente	Metropolitana
Boulevard Rohrmoser (casa)	MTR 52	10109-04		San José	San José	Pavas	Metropolitana
Braulio Carrillo				San José	Vázquez de Coronado	Dulce Nombre de Jesús	Metropolitana
Bribrí Pavas		10109-07		San José	San José	Pavas	Metropolitana
Calle el Llano Escazú		10203-18		San Jose	Escazu	San Rafael	Metropolitana
Calle Fallas Desamparados	SITE 01	10301-02		San José	Desamparados	Desamparados	Metropolitana
Calle Mayorga Aurora Heredia	MTR 127	40103-05		Heredia	Heredia	San Francisco	Metropolitana
Calle Ronda Santo Domingo	MTR 63	40302-01		Heredia	Santo Domingo	Santo Tomás	Metropolitana
Cariari	MTR 06	40104-02	HUB	Heredia	Heredia	Ulloa	Metropolitana
Cedros de Montes de Oca / Cedros Seminario Bíblico	MTR 68	11502-01		San José	Montes de Oca	San Pedro	Metropolitana
Cementerio de Heredia	MTR 147	40101-03		Heredia	Heredia	Heredia	Metropolitana
Cementerio Escazú		10201-03		San Jose	Escazu	Escazu	Metropolitana
Cementerio Tibás	MTR 60	11301-02		San José	Tibás	San Juan	Metropolitana
Central del Norte	MTR 29	11303-01	HUB	San José	Tibás	Anselmo Llorente	Metropolitana
Central del Sur Paso Ancho	MTR 73	10111-03	HUB	San José	San José	San Sebastián	Metropolitana
Central Oeste	MTR 36	10109-03	HUB	San José	San José	Pavas	Metropolitana
Central Real de Pereira	MTR 327	10203-07	HUB	San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Central San Jose	MTR 19	10104-06	HUB	San José	San José	Catedral	Metropolitana
Central San Pedro	MTR 70	11501-02	HUB	San José	Montes de Oca	San Pedro	Metropolitana
Centro Comercial Paco Escazú	SITE 65	10203-01		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Cerro Abejónal	RUR 358	12006-01		San José	León Cortés	San Pablo	Metropolitana
Cerro Abra		10902-02		San José	Santa Ana	Salitral	Metropolitana
Cerro Delicias		40505-01		Heredia	Heredia	Vara Blanca	Metropolitana
Cerro Santa Juana	RUR 442	12003-01		San José	León Cortés	Llano Bonito	Metropolitana
Cervantes	SITE 56	30602-01	HUB	Cartago	Alvarado	Cervantes	Metropolitana
Ciencia y Alta Tecnología	MTR 58			San José	San José	Pavas	Metropolitana
Cinco Esquinas	MTR 02	11302-01		San José	Tibás	Cinco Esquinas	Metropolitana
Ciudad Colón	RUR 22	10701-01	HUB	San José	Mora	Colón	Metropolitana
Clínica Carlos Durán / Barrio Luján El	MTR 94	10104-05		San José	San José	Zapote	Metropolitana

Cerrito							
Clínica Sto Domingo		40302-02		Heredia	Santo Domingo	San Vicente	Metropolitana
CNP	MTR 112	10103-07		San José	San José	Hospital	Metropolitana
Colima	MTR 09	11305-01	HUB	San José	Tibás	Cinco Esquinas	Metropolitana
Concepción Alajuelita		11004-01		San José	Alajuelita	Concepción	Metropolitana
Concepción de Heredia	MTR 106	40505-02		Heredia	San Rafael	Concepción	Metropolitana
Condominios Avalon Santa Ana		10904-02		San Jose	Santa Ana	Uruca	Metropolitana
Condominios Domigal		40306-03		Heredia	Santo Domingo	Santa Rosa	Metropolitana
Construplaza Guachipelín		10203-21		San Jose	Escazu	San Rafael	Metropolitana
Copey	MTR 10	10107-01		San José	San José	Uruca	Metropolitana
Copey de Santa Ana		10906-01		San Jose	Santa Ana	Brasil	Metropolitana
Corazón de Jesús Sabana Sur / Mac Donalds	SITE 15	10103-03	HUB	San José	San José	Hospital	Metropolitana
Coronado	MTR 11	11101-01	HUB	San José	Vázquez de Coronado	San Isidro	Metropolitana
Curridabat Cementerio	MTR 114	11801-01		San José	Curridabat	Curridabat	Metropolitana
Curridabat Central	MTR 12	11801-04	HUB	San José	Curridabat	Curridabat	Metropolitana
Damas Fátima Desamparados	MTR 67	10310-01		San José	Desamparados	Damas	Metropolitana
Desamparados	MTR 13	10301-03	HUB	San José	Desamparados	Desamparados	Metropolitana
Edificio Recope Das		10802-03					Metropolitana
El Bosque	MTR 45	10106-01		San José	San José	San Francisco Dos Ríos	Metropolitana
El Empalme / Palmital de Cartago (Casa Mata)	RUR 270	30802-01		San José	Desamparados	San Cristóbal	Metropolitana
El Farolito Barrio Escalante	MTR 95	10101-01		San José	San José	El Carmen	Metropolitana
El Pirro de Heredia		40101-05		Heredia	Heredia	Heredia	Metropolitana
El Prado / Plaza del Sol	MTR 35	11801-02	HUB	San José	Curridabat	Curridabat	Metropolitana
Escazu 2 / Escazú Centro	MTR 79	10201-02		San José	Escazú	Escazú	Metropolitana
Escazú AyA	MTR 168	10203-06		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Esmeralda Heredia		40103-07		Heredia	Heredia	San Francisco	Metropolitana
Firestone	MTR 171			Heredia	Belén	Asunción	Metropolitana
Fórum de Santa Ana (Pozos)	MTR 121	10903-01	HUB	San José	Santa Ana	Pozos	Metropolitana
Fórum Oficinas	MTR 141	10903-02		San José	Santa Ana	Pozos	Metropolitana
Frailles	RUR 336	10306-01	HUB	San José	Desamparados	Frailles	Metropolitana
Geroma, Pavas	MTR 58	10109-06		San José	San José	Pavas	Metropolitana
González Lahmann	MTR 15	10101-03	HUB	San José	Montes de Oca	San Pedro	Metropolitana
Gran Líbano San José		10102-05		San Jose	San Jose	Merced	Metropolitana

Granadilla (Taller Wabe)	MTR 89	11802-01		San José	Curridabat	Granadilla	Metropolitana
Grifo Alto	SITE 49	10404-01		San José	Puriscal	Grifo Alto	Metropolitana
Guachipelín Centro / Residencial Torre Alto		10203-13		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Guadalupe Centro	MTR 165	10801-01		San José	Goicoechea	Guadalupe	Metropolitana
Guadarrama de Rosario	RUR 487	10309-02		San José	Desamparados	Rosario	Metropolitana
Guatuso Patarrá	MTR 339	10307-01		San José	Desamparados	Patarrá	Metropolitana
Guayabo de Mora	SITE 70	10702-01		San José	Mora	Guayabo	Metropolitana
Hacienda Paraiso	MTR 315	10905-01		San José	Santa Ana	Piedades	Metropolitana
Hatillo	MTR 17	10110-02	HUB	San José	San José	Hatillo	Metropolitana
Hatillo 2	MTR 111	10110-01		San José	San José	Hatillo	Metropolitana
Hatillo 7		10110-04		San José	San José	Hatillo	Metropolitana
Hatillo 8		10110-05		San Jose	San Jose	Hatillo	Metropolitana
Heredia Sur	MTR 166			Heredia	Heredia	Heredia	Metropolitana
Heredia Central	MTR 18	40101-01	HUB	Heredia	Heredia	Heredia	Metropolitana
Higuito Desamparados	MTR 120	10302-01	HUB	San José	Desamparados	San Miguel	Metropolitana
Hospital (Edificio Maro)	MTR 170	10102-04		San José	San José	Hospital	Metropolitana
Hospital Cima Escazú		10203-12		San Jose	Escazu	San Rafael	Metropolitana
ICE Sabana Oficinas Centrales	MTR 137	10108-04		San José	San José	Mata redonda	Metropolitana
ICE Sabana Oficinas Centrales DAS		10108-05		San José	San José	Mata redonda	Metropolitana
INA Uruca	MTR 20	10107-03	HUB	San José	San José	Uruca	Metropolitana
INS		10101-04		San José	San José	Carmen	Metropolitana
Intel	MTR 21	40702-01	HUB	Heredia	Belén	Rivera	Metropolitana
Ipís de Guadalupe	MTR 153	10805-01	HUB	San José	Goicoechea	Purrál	Metropolitana
Irazú		30705-03		Cartago	Alvarado	Pacayas	Metropolitana
Jardines de Cascajal, San Sebastián	SITE 04	10111-02		San José	San José	San Sebastián	Metropolitana
Jardines de Moravia		10805-02		San Jose	Goicoechea	Ipis	Metropolitana
La Cañada, Sagrada Familia	MTR 44	10111-04		San José	San José	San Sebastián	Metropolitana
La Carpio	MTR 122	10107-05		San José	San José	Uruca	Metropolitana
La Condesa	RUR 180			Heredia	San Rafael	Ángeles	Metropolitana
La Gloria de Puriscal	RUR 317	10409-01		San José	Puriscal	Chires	Metropolitana
La Lucha / Finca La Lucha	RUR 177	12005-01		San José	Desamparados	San Cristóbal	Metropolitana
La Nación Tibás		11301-03		San Jose	Tibas	San Juan	Metropolitana
La Pacífica, San Francisco	SITE 05	10106-02		San José	San José	San Francisco Dos Ríos	Metropolitana
La Paulina UNED	MTR 49	11503-01		San José	Montes de Oca	San Pedro	Metropolitana
La Salle	MTR 38	10108-01	HUB	San José	San José	Mata Redonda	Metropolitana
La Soledad (Iglesia)	MTR 92	10104-01		San José	San José	Catedral	Metropolitana
La Uruca CNFL	MTR 75	10107-02	HUB	San José	San José	Uruca	Metropolitana

La Valencia	MTR 76	40306-01		Heredia	Santo Domingo	Santa Rosa	Metropolitana
Las Nubes de Coronado	MTR 335	11105-01		San José	Vázquez de Coronado	Cascajal	Metropolitana
Liceo Samuel Sáenz	MTR 26	40102-01		Heredia	Heredia	Mercedes	Metropolitana
Lindora Santa Ana		10903-06		San Jose	Santa Ana	Pozos	Metropolitana
Llorente San Joaquín de Flores	MTR 148	40803-01		Heredia	Flores	Llorente	Metropolitana
Llorente Tibás	MTR 81	11303-02		San José	Tibás	Anselmo Llorente	Metropolitana
Los Angeles / Barrio Los Ángeles San Rafael de Heredia	SITE 52	40504-01	HUB	Heredia	San Rafael	Los Ángeles	Metropolitana
Los Colegios	SITE 06	11401-01		San José	Moravia	San Vicente	Metropolitana
Los Colegios Norte, Moravia	SITE 07	11401-03		San José	Moravia	San Vicente	Metropolitana
Los Lagos de Heredia MABE		40103-06		Heredia	Heredia	San Francisco	Metropolitana
Los Sauces San Francisco		10106-03		San Jose	San Jose	San Francisco de Dos Rios	Metropolitana
Los Yoses (Pool San Pedro)	SITE 16	11501-01		San José	Montes de Oca	San Pedro	Metropolitana
Lourdes Carmiol (Vargas Araya)	SITE 08	11502-03		San José	Montes de Oca	Sabanilla	Metropolitana
Marriot	MTR 156	40703-01		Heredia	Belén	Asunción	Metropolitana
Marriot (casa P600K)	MTR 65	40702-02		Heredia	Belén	La Rivera	Metropolitana
Mas x Menos Santa Ana		10903-05		San Jose	Santa Ana	Pozos	Metropolitana
Maxibodega Desamparados		10302-02		San Jose	Desamparados	San Miguel	Metropolitana
Merced Mercado Borbón	MTR 108	10102-01	HUB	San José	San José	Merced	Metropolitana
Mercedes	MTR 162	40102-02		Heredia	Heredia	Mercedes	Metropolitana
Mercedes Norte	SITE 10	40101-02		Heredia	Heredia	Mercedes	Metropolitana
Mesas de Santa Ana		10906-02		San Jose	Santa Ana	Brasil	Metropolitana
Miraflores	MTR 27	10801-02		San José	Goicoechea	Guadalupe	Metropolitana
Monte de la Cruz	MTR 325	40504-02		Heredia	San Rafael	Ángeles	Metropolitana
Montelimar	MTR 24	10803-01	HUB	San José	Goicoechea	Calle Blancos	Metropolitana
Multiplaza Escazú	MTR 53	10203-04		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Musmani / Colegio Técnico San Sebastián	SITE 02	10110-03		San José	San José	San Sebastián	Metropolitana
Novacentro Moravia	MTR 107	10801-03		San José	Goicoechea	Guadalupe	Metropolitana
Nuevo Brasil de Mora	MTR 174	10701-02		San Jose	Mora	Colon	Metropolitana
Pacayas	RUR 71	30601-01		Cartago	Alvarado	Pacayas	Metropolitana
Pacífico INCOFER / Estación al Pacífico	MTR 97	10103-08		San José	San José	Catedral	Metropolitana
Paseo Colón	MTR 34	10102-03	HUB	San José	San José	Merced	Metropolitana
Peaje Escazú	MTR 119	10203-08		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana

Peaje Santa Ana		10905-02		San Jose	Santa Ana	Piedades	Metropolitana
Pequeño Mundo Guachipelín		10203-14		San Jose	Escazu	San Rafael	??????????????
Pinares Curridabat / Lomas de Ayarco	MTR 62	11803-01		San José	Curridabat	Sánchez	Metropolitana
Plaza Cristal (José María Zeledón)	MTR 41	11801-03		San José	Curridabat	Curridabat	Metropolitana
Plaza Gonzalez Víquez	MTR 16	10104-03	HUB	San José	San José	Catedral	Metropolitana
Plaza Mayor	MTR 135	10109-05		San José	San José	Pavas	Metropolitana
Poró de Grifo Alto		10404-02		San José	Puriscal	Grifo Alto	Metropolitana
Pozos 2 (Fórum)	MTR 149	10904-01		San José	Santa Ana	Uruca	Metropolitana
Pozos Santa Ana puente peatonal		10903-04		San Jose	Santa Ana	Pozos	Metropolitana
Puriscal	RUR 126	10401-01	HUB	San José	Puriscal	Santiago	Metropolitana
Purral de Guadalupe	MTR 132	10807-03		San José	Goicoechea	Purral	Metropolitana
Quesada Durán Zapote		10105-05		San Jose	San Jose	Zapote	Metropolitana
RACSA	MTR 69	10101-05	HUB	San José	San José	El Carmen	Metropolitana
RECOPE (antiguo BICSA)		10802-02		San José	Goicoechea	San Francisco	Metropolitana
Residencial Palermo		10203-23					Metropolitana
Rincón Grande Pavas	MTR 33	10109-02	HUB	San José	San José	Pavas	Metropolitana
Río Bermúdez San Rafael Heredia	MTR 084	40505-03		Heredia	San Rafael	Ángeles	Metropolitana
Robledal		10107-06		San Jose	San Jose	Uruca	Metropolitana
Rohrmoser II / Pavas Canal 23	MTR 90	10109-01		San José	San José	Pavas	Metropolitana
Roosevelt	MTR 113	11501-03		San José	Montes de Oca	San Pedro	Metropolitana
Rosario de Desamparados	RUR 476	10309-01		San José	Desamparados	Rosario	Metropolitana
Rotonda La Bandera		11503-02		San Jose	Montes de Oca	Mercedes	Metropolitana
Rotonda Y Griega, Parque Méndez	MTR 42	10105-01	HUB	San José	San José	Zapote	Metropolitana
S.E. Heredia		40103-04		Heredia	Heredia	Ulloa	Metropolitana
Sabana Sur, Cootepecos	MTR 86	10108-02		San José	San José	Mata Redonda	Metropolitana
Sabana Torre	MTR 37	10108-03	HUB	San José	San José	Mata Redonda	Metropolitana
Sabanilla, Mas X Menos	MTR 128	11502-02	HUB	San José	Montes de Oca	Sabanilla	Metropolitana
Salitral	SITE 61	10902-01		San José	Santa Ana	Salitral	Metropolitana
San Antonio de Alajuelita	SITE 62	11003-02		San José	Alajuelita	San Antonio	Metropolitana
San Antonio de Belén (La Rivera)	MTR 04	40701-01		Heredia	Belén	San Antonio	Metropolitana
San Antonio de Coronado / El Carmen Coronado	MTR 154	11103-02		San José	Vázquez de Coronado	Patalillo	Metropolitana
San Antonio de	MTR 59	10202-01		San José	Escazú	San Antonio	Metropolitana

Escazú							
San Antonio de Puriscal	RUR 271	10408-01		San José	Puriscal	San Antonio	Metropolitana
San Antonio Desamparados	SITE 00	10305-01	HUB	San José	Desamparados	San Antonio	Metropolitana
San Bosco Colegio San Judas Tadeo		10103-02		San José	San José	Hospital	Metropolitana
San Francisco Calle Blancos	MTR 40	10802-01	HUB	San José	Goicoechea	San Francisco	Metropolitana
San Jerónimo de Desamparados	MTR 50	10301-01		San José	Desamparados	Desamparados	Metropolitana
San Jerónimo de Moravia	SITE 54	11402-01		San José	Moravia	San Jerónimo	Metropolitana
San Joaquín 2	MTR 140	40801-02		Heredia	Flores	San Joaquín	Metropolitana
San Joaquín de Flores	MTR 22	40801-01	HUB	Heredia	Flores	San Joaquín	Metropolitana
San Josecito San Rafael	MTR 64	40502-01		Heredia	San Rafael	San Josecito	Metropolitana
San Juan Mata	RUR 191	11603-01		San José	Turrubares	San Juan Mata	Metropolitana
San Juan Tibás	MTR 47	11301-01	HUB	San José	Tibás	San Juan	Metropolitana
San Luis de Santo Domingo	SITE 53	40308-01		Heredia	Santo Domingo	Paracito	Metropolitana
San Marcos Tarrazú		10501-01	HUB	San José	Tarrazú	San Marcos	Metropolitana
San Miguel Santo Domingo	MTR 32	40303-01		Heredia	Santo Domingo	San Miguel	Metropolitana
San Miguel Tures Subestación	MTR 316	40303-02		Heredia	Santo Domingo	Tures	Metropolitana
San Pablo de Turrubares	RUR 190	11601-01		San José	Turrubares	San Pablo	Metropolitana
San Pablo Tarrazú (El Ballar)	RUR 117	12001-01		San José	Tarrazú	San Marcos	Metropolitana
San Pedro Turrubares	RUR 118	11602-01	HUB	San José	Turrubares	San Pedro	Metropolitana
San Rafael Abajo	MTR 51	10311-01	HUB	San José	Desamparados	San Rafael Abajo	Metropolitana
San Rafael Abajo Puriscal	RUR 465	10405-01		San José	Puriscal	San Rafael	Metropolitana
San Rafael Arriba	MTR 155	10304-01		San José	Desamparados	San Rafael Arriba	Metropolitana
San Rafael de Escazú Central	MTR 14	10203-05	HUB	San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
San Rafael Escazú (contenedores)	MTR 164	10201-01	HUB	San José	Escazú	Escazú	Metropolitana
San Rafael Heredia 2	MTR 123	40501-01		Heredia	San Rafael	San Rafael	Metropolitana
San Roque de Heredia	MTR 129	40102-03		Heredia	Heredia	Mercedes	Metropolitana
San Sebastián	MTR 83	10111-01	HUB	San José	San José	San Sebastián	Metropolitana
San Vicente Moravia	MTR 48	11401-02		San José	Moravia	San Vicente	Metropolitana
Santa Ana	MTR 71	10901-01	HUB	San José	Santa Ana	Santa Ana	Metropolitana
Santa Rosa Santo		40306-02		Heredia	Santo Domingo	Santa Rosa	Metropolitana

Domingo							
Santa Teresa Pastora	RUR 426	30603-01		Cartago	Alvarado	Capellades	Metropolitana
Santa Catalina Pavas		10109-09		San Jose	San Jose	Pavas	Metropolitana
Santo Domingo Central	MTR 72	40301-01	HUB	Heredia	Santo Domingo	Santo Domingo	Metropolitana
Scotiabank Sabana		10108-09		San Jose	San Jose	Mata Redonda	Metropolitana
Tabarcia	RUR 343	10703-01	HUB	San José	Mora	Tabarcia	Metropolitana
Torre Telecomunicaciones DAS	MTR 100	10108-06		San José	San José	Mata Redonda	Metropolitana
Trejos Montealegre	MTR 80	10203-03		San José	Escazú	San Rafael	Metropolitana
Trinidad de Moravia	MTR 134	11403-01	HUB	San José	Moravia	Trinidad	Metropolitana
Universidad C.R.	MTR 101	11501-05		San José	Montes de Oca	San Pedro	Metropolitana
Varablanca	RUR 365	40105-04		Heredia	Heredia	Vara Blanca	Metropolitana
Villa Olímpica, Desamparados	SITE 09	10312-01		San José	Desamparados	Gravilias	Metropolitana
Villa Real	MTR 311	10903-03		San José	Santa Ana	Pozos	Metropolitana
Vista de Mar Rancho Redondo	MTR 110	10806-01		San José	Vázquez de Coronado	San Isidro	Metropolitana
Vista Hermosa Zapote		10105-04		San Jose	San Jose	Zapote	Metropolitana
Zapote AyA / Redondel	MTR 78	10105-03	HUB	San José	San José	Zapote	Metropolitana
Zapote Rotonda	MTR 77	10105-02		San José	San José	Zapote	Metropolitana
Aeropuerto Juan Santamaria	MTR 158	20109-02		Alajuela	Alajuela	Río Segundo	Metropolitana
Alajuela Barrio El Carmen	MTR 99	20101-01	HUB	Alajuela	Alajuela	Alajuela	Metropolitana
Alajuela Central	MTR 03	20101-03	HUB	Alajuela	Alajuela	Alajuela	Metropolitana
Almacén ICE Paraiso	MTR 173	30201-04		Cartago	Paraíso	Paraiso	Metropolitana
Alto Cangreja		30802-04		Cartago	El Guarco	San Isidro	Metropolitana
Alto Cerrillos Oreamuno		30701-04		Cartago	Oreamuno	San Rafael	Metropolitana
Alto Escalera		11201-02		San José	Acosta	San Ignacio	Metropolitana
Alto Victoria Juan Viñas	RUR 512	30401-02		Cartago	Jiménez	Juan Viñas	Metropolitana
Aserri (Jockey)	RUR 02	10601-01		San José	Aserri	Aserri	Metropolitana
Aserri Abajo		10601-03		San Jose	Aserri	Aserri	Metropolitana
Barrio Carmen Lyra Turrialba	RUR 509	30501-03		Cartago	Turrialba	Turrialba	Metropolitana
Barrio San José	MTR 05	20102-01	HUB	Alajuela	Alajuela	San José	Metropolitana
Cachí	RUR 11	30204-01		Cartago	Paraíso	Cachí	Metropolitana
Calle Zurquí	RUR 342	40602-01		Heredia	San Isidro	San José	Metropolitana
Cangrejal		11204-01		San José	Acosta	Cangrejal	Metropolitana
Cañón del Guarco	RUR 93	11702-01		Cartago	El Guarco	San Isidro	Metropolitana
Cartago 2 (Hiper más) / INVU Los Ángeles	MTR 152	30701-02		Cartago	Oreamuno	San Rafael	Metropolitana
Cartago CAIC	MTR 082	30101-01		Cartago	Cartago	Oriental	Metropolitana

Cementerio de Alajuela	MTR 144	20101-05		Alajuela	Alajuela	San José	Metropolitana
Central Aserrí	RUR 253	10601-02		San José	Aserrí	Aserrí	Metropolitana
Central Carrizal		20103-01		Alajuela	Alajuela	Carrizal	Metropolitana
Central Cartago	MTR 07	30102-03	HUB	Cartago	Cartago	Occidental	Metropolitana
Central Sabanillas Acosta	RUR 453	11205-03		San José	Acosta	Sabanillas	Metropolitana
Central San Isidro Heredia	MTR 313	40601-01	HUB	Heredia	San Isidro	San Isidro	Metropolitana
Central Tejar	MTR 312	30106-03		Cartago	Cartago	Guadalupe	Metropolitana
Cerro Carbones		11205-01		San José	Acosta	Sabanillas	Metropolitana
Cerro de la Muerte	RUR 92	30802-02		San José	Dota	Copey	Metropolitana
Cerro Gurdían (Irazú TDMA)		30705-02	HUB	Cartago	Oreamuno	Santa Rosa	Metropolitana
Cerro Palomo		21201-01		Alajuela	Valverde Vega	Sarchí norte	Metropolitana
Chitaria de Pavones Turrialba	RUR 468	30506-03		Cartago	Turrialba	Tres Equis	Metropolitana
Cipreses de Oreamuno	RUR 47	30704-01		Cartago	Oreamuno	Cipreses	Metropolitana
Concepción Tres Ríos	SITE 66	30305-01		Cartago	La Unión	Concepción	Metropolitana
Corralillo 2	RUR 416	30107-02		Cartago	Cartago	Corralillo	Metropolitana
Corralillo Cartago	RUR 469	30107-01		Cartago	Cartago	Corralillo	Metropolitana
Cot	MTR 66	30702-01		Cartago	Oreamuno	Cot	Metropolitana
Coyol / Ciruelas RACSA	RUR 334	20113-04		Alajuela	Alajuela	Garita	Metropolitana
Cruce Siquiaries - Guácima		20104-03		Alajuela	Alajuela	San Antonio	Metropolitana
Cruce Tarbaca - Rio Conejo		10604-01		San José	Aserrí	San Gabriel	Metropolitana
Cruce Turrucare		20111-03		Alajuela	Alajuela	Turrucare	Metropolitana
Dulce Nombre de Tres Ríos (Jardín Tita)	MTR 133	30307-01		Cartago	La Unión	San Ramón	Metropolitana
Dulce Nombre de Tres Ríos, Guardia Rural	SITE 63	30306-01		Cartago	La Unión	Dulce Nombre	Metropolitana
El Coco	MTR 08	20104-01		Alajuela	Alajuela	San Antonio	Metropolitana
El Empalme Central	RUR 507	10308-01	HUB	Cartago	El Guarco	San Isidro	Metropolitana
El Roble Alajuela	MTR 116	20104-02		Alajuela	Alajuela	San Antonio	Metropolitana
El Roble de Alajuela (Coyol), Zona Bez	SITE 59	20102-02		Alajuela	Alajuela	San José	Metropolitana
El Trazado		30504-02		Cartago	Turrialba	Santa Cruz	Metropolitana
Finca Pandora Birrisito	RUR 511	30201-03		Cartago	Paraíso	Santiago	Metropolitana
Fraijanes	RUR 275	20107-02	HUB	Alajuela	Alajuela	Sabanilla	Metropolitana
Grano de Oro		30512-01		Cartago	Turrialba	Chirripó	Metropolitana
Guacalillo San Rafael Alajuela		20108-03		Alajuela	Alajuela	San Rafael	Metropolitana
Guadalupe, Cartago	MTR 105	30106-01	HUB	Cartago	Cartago	Guadalupe	Metropolitana


Hacienda Los Reyes	RUR 490	20105-02		Alajuela	Alajuela	Guácima	Metropolitana
INCAE - Alajuela	MTR 157	20113-02		Alajuela	Alajuela	Garita	Metropolitana
INVU Las Cañas	MTR 143	20109-01		Alajuela	Alajuela	Río Segundo	Metropolitana
Irazú Convenio	RUR 45	30705-01		Cartago	Oreamuno	Santa Rosa	Metropolitana
ITCR	MTR 56	30109-01	HUB	Cartago	Cartago	Oriental	Metropolitana
Juan Viñas	RUR 189	30401-01		Cartago	Jiménez	Juan Viñas	Metropolitana
La Agonía	MTR 109	20101-02		Alajuela	Alajuela	Alajuela	Metropolitana
La Antigua, San Rafael de Tres Ríos	MTR 87	30301-02	HUB	Cartago	La Unión	San Rafael	Metropolitana
La Carpintera Tres Ríos		30304-01		Cartago	La Union	San Rafael	Metropolitana
La Legua Los Naranjos		10603-01		San José	Aserrí	Vuelta de Jorco	Metropolitana
La Lima	MTR 55	30104-02		Cartago	Cartago	San Nicolás	Metropolitana
La Puebla Heredia		40901-03		Heredia	San Pablo	San Pablo	Metropolitana
La Suiza		30502-01		Cartago	Turrialba	La Suiza	Metropolitana
La Suiza Tuis de Turrialba	RUR 53	30507-01	HUB	Cartago	Turrialba	Tuis	Metropolitana
La Torre Tres Ríos (Pizza Hut)	MTR 74	30301-01		Cartago	La Unión	Tres Ríos	Metropolitana
Llano Grande	SITE 55	30110-01		Cartago	Cartago	Llano Grande	Metropolitana
Ochomogo	MTR 30	30104-01		Cartago	Cartago	San Nicolás	Metropolitana
Ojo de Agua Guácima		20108-01		Alajuela	Alajuela	San Rafael	Metropolitana
Orosi	RUR 69	30203-01		Cartago	Paraíso	Orosi	Metropolitana
P.H. Río Macho		30203-02		Cartago	Paraíso	Orosi	Metropolitana
Pacayitas	RUR 367	30502-02		Cartago	Turrialba	La Suiza	Metropolitana
Palmichal de Acosta	RUR 443	11203-01		San José	Acosta	Palmichal	Metropolitana
Paraíso	MTR 57	30201-01	HUB	Cartago	Paraíso	Paraíso	Metropolitana
Paraíso 2	MTR 138	30201-02		Cartago	Paraíso	Paraíso	Metropolitana
Paseo de las Flores	MTR 159	40103-01		Heredia	San Pablo	Rincón de Sabanilla	Metropolitana
Pavones	RUR 148	30506-01	HUB	Cartago	Turrialba	Pavones	Metropolitana
Peaje Alajuela		20109-03		Alajuela	Alajuela	Río Segundo	Metropolitana
Pejibaye 2 /Cantarrana de Pejibaye		30403-02		Cartago	Jiménez	Pejibaye	Metropolitana
Pejibaye de Turrialba	RUR 78	30403-01		Cartago	Jiménez	Pejibaye	Metropolitana
Pilas de Tacacorí	MTR 331	20106-02		Alajuela	Alajuela	San Isidro	Metropolitana
Pitahaya - Cartago II	MTR 104	30102-01	HUB	Cartago	Cartago	Aguacaliente	Metropolitana
Plantel ICE Eslabón	RUR 462	30506-04		Cartago	Turrialba	Pavones	Metropolitana
Providencia de Dota		11703-02		San José	Dota	Copey	Metropolitana
RACSA Cartago / Metrocentro		30102-02		Cartago	Cartago	Occidental	Metropolitana
Rep. Tarbaca		10602-02		San José	Aserrí	Tarbaca	Metropolitana
Repetidor Sabanas		11205-02		San José	Acosta	Sabanillas	Metropolitana
Rincón de Alajuela		20110-01		Alajuela	Alajuela	Desamparados	Metropolitana
S.R. Angostura		30506-02		Cartago	Turrialba	Pavones	Metropolitana
Sabanilla, Alajuela	RUR 120	20107-01	HUB	Alajuela	Alajuela	Sabanilla	Metropolitana
San Blas	SITE 11	30103-01		Cartago	Cartago	Carmen	Metropolitana

San Diego Tres Ríos	SITE 03	30302-01	HUB	Cartago	La Unión	San Diego	Metropolitana
San Francisco San Isidro	MTR 163	40604-01		Heredia	San Isidro	San Isidro	Metropolitana
San Gerardo de Dota	RUR 351	11703-01		San José	Dota	Copey	Metropolitana
San Gerardo de Dota	RUR 351			San José	Dota	Copey	Metropolitana
San Ignacio de Acosta	RUR 175	11201-01	HUB	San José	Acosta	San Ignacio	Metropolitana
San Juan Chicua		30703-01		Cartago	Oreamuno	Potrero Cerrado	Metropolitana
San Miguel de Cachi		30204-02		Cartago	Paraíso	Cachí	Metropolitana
San Pablo de Heredia	MTR 146	40901-01		Heredia	San Pablo	San Pablo	Metropolitana
San Pedro de Poás	RUR 158	20801-01	HUB	Alajuela	Poás	San Pedro	Metropolitana
San Rafael de Oreamuno	MTR 85	30103-02		Cartago	Oreamuno	San Rafael	Metropolitana
San Rafael Guácima	MTR 124	20108-02		Alajuela	Alajuela	San Rafael	Metropolitana
San Ramón de Tres Ríos	MTR 61	11504-01	HUB	Cartago	La Unión	San Ramón	Metropolitana
Santa Cruz	SITE 14	30504-01		Cartago	Turrialba	Santa Cruz	Metropolitana
Santa Eulalia	RUR 251	20507-01		Alajuela	Atenas	Santa Eulalia	Metropolitana
Santa María de Dota Central		11701-01		San José	Dota	Santa María	Metropolitana
Santa Maria Dota	RUR 161	11701-02		San José	Dota	Santa María	Metropolitana
Santa Teresita		30505-01		Cartago	Turrialba	Santa Teresita	Metropolitana
Santiago de San Ramón	RUR 151	20202-01		Alajuela	San Ramón	Santiago	Metropolitana
Tambor	SITE 58	20112-01		Alajuela	Alajuela	Tambor	Metropolitana
Taras	MTR 54	30104-03	HUB	Cartago	Cartago	San Nicolás	Metropolitana
Tayutic		30508-01		Cartago	Turrialba	Tayutic	Metropolitana
Tejar Centro	MTR 169	30801-01		Cartago	El Guarco	Tejar	Metropolitana
Tejar El Guarco	SITE 64	30801-02	HUB	Cartago	El Guarco	Tejar	Metropolitana
Terramall	MTR 145	30302-02	HUB	Cartago	La Unión	San Diego	Metropolitana
Tierra Blanca	SITE 17	30108-01		Cartago	Cartago	Tierra Blanca	Metropolitana
Tobosi	RUR 160	30111-01		Cartago	Cartago	Quebradilla	Metropolitana
Tres Equis	RUR 137	30510-01	HUB	Cartago	Turrialba	Tres Equis	Metropolitana
Tucurrique	SITE 57	30402-01		Cartago	Jiménez	Tucurrique	Metropolitana
Turrialba	RUR 138	30501-01	HUB	Cartago	Turrialba	Turrialba	Metropolitana
Turrialba	RUR 222	30501-02	HUB	Cartago	Turrialba	Turrialba	Metropolitana
UCR Turrialba	RUR 237	30501-04		Cartago	Turrialba	Turrialba	Metropolitana
Vuelta de Jorco	RUR 438	10603-02		San José	Aserrí	Vuelta de Jorco	Metropolitana

Alta vulnerabilidad	■
Media vulnerabilidad	■
Baja vulnerabilidad	■

Capítulo 10: Anexos

1. Tabla para mediciones de resistividad del suelos:

 SERVICIOS TÉCNICOS	Servicios Técnicos Lyncole	Informe de Campo de Resistividad del Suelo	
		COMPañÍA CONFIDENCIAL	LEF-1001.01
<i>La Unión de Ciencia y Aterramiento™</i>		Número de Proyecto:	
Cliente: _____ Nombre Del Proyecto: _____ Fecha De La Prueba: _____			
Condiciones: _____ Suelo: _____			
Prueba Completada en: _____ Método de la Prueba: _____			
Instrumento de Prueba: _____ Número de Serie: _____ Fecha de Calibración: _____			
Cálculo: Resistencia del suelo ($\Omega\text{-m}$)= 1.915 x Espaciamiento de Punta de Prueba (pies) x R (Ω)			
Resultados de la Prueba			
Ubicación de la Prueba	Espaciamiento de la Punta de Prueba (pies)	Lectura del Medidor (Ω)	Resistencia Del Suelo Calculada ($\Omega\text{-m}$)
1	5 pies	Ω	
	10 pies	Ω	
	15 pies	Ω	
	20 pies	Ω	
	30 pies	Ω	
	40 pies	Ω	
	60 pies	Ω	
	80 pies	Ω	
	100 pies	Ω	
	2	5 pies	Ω
10 pies		Ω	
15 pies		Ω	
20 pies		Ω	
30 pies		Ω	
40 pies		Ω	
60 pies		Ω	
80 pies		Ω	
100 pies		Ω	
3		5 pies	Ω
	10 pies	Ω	
	15 pies	Ω	
	20 pies	Ω	
	30 pies	Ω	
	40 pies	Ω	
	60 pies	Ω	
	80 pies	Ω	
	100 pies	Ω	
			Ω

2. Procedimiento de medición Wenner:

Equipo requerido

- Probador de Resistencia de la tierra de cuatro puntas
- Por lo menos cuatro puntas de prueba
- Cuatro conductores aislados del alambre
- Cinta de medición
- Martillo (para conducir las puntas de prueba)
- Manual del usuario para el medidor

Procedimiento

El siguiente procedimiento es genérico y funcionará con todos los medidores. El manual del medidor debe ser consultado para detalles operacionales.

Paso 1. Verificar que la tira de metal entre el medidor C1 y los terminales P1 estén desconectados (utilizado para la prueba de 3 puntos).

Paso 2. Instalar las 4 puntas de prueba en la tierra equidistantes en una línea recta. Generalmente el espaciamiento más corto es realizado primero (Ejemplo 5').

Paso 3. Usando los conductores, conecta las terminales C1, P1, P2 y C2 a los electrodos. Los electrodos deben ser conectados en orden del extremo, con los terminales C1, P1, P2 y C2. El resultado del examen será inválido si los electrodos no están conectados apropiadamente.

Paso 4. Presiona el botón de prueba y lee el indicador digital. Registra la lectura en la hoja de trabajo en la localización apropiada. Si la lectura no es estable o exhibe una indicación del error, comprobar las conexiones con minuciosidad. Para algunos medidores, los ajustes de la GAMA y la PRUEBA DE CORRIENTE pueden ser cambiados hasta que se alcance una combinación que proporciona una lectura estable sin indicaciones de error.

También, una modo eficaz de disminuir la resistencia del electrodo a la tierra es vertiendo agua alrededor de él. La adición de humedad es insignificante para la lectura, alcanzará solamente una mejor conexión eléctrica y no influenciará los resultados finales. También una punta de prueba más larga o puntas de prueba múltiples (a una distancia corta) pueden ayudar.

Paso 5. Poner las puntas de prueba en cada uno de los espaciamientos indicados arriba y registra las lecturas en la hoja de trabajo (Según anexo 1). Los pasos 1-5 de este procedimiento se deben repetir en múltiples ubicaciones en el área para obtener un perfil del suelo confiable.

NOTA: La pérdida de corriente, tubos de agua enterrados, las envolturas de cables y otros factores pueden interferir y distorsionar las lecturas. Las medidas se deben tomar a lo largo de 3 direcciones en cada sitio como mínimo. A veces esto no puede ser factible, pero cuantos más datos puedan ser obtenidos, el modelo de suelo generado será más exacto.

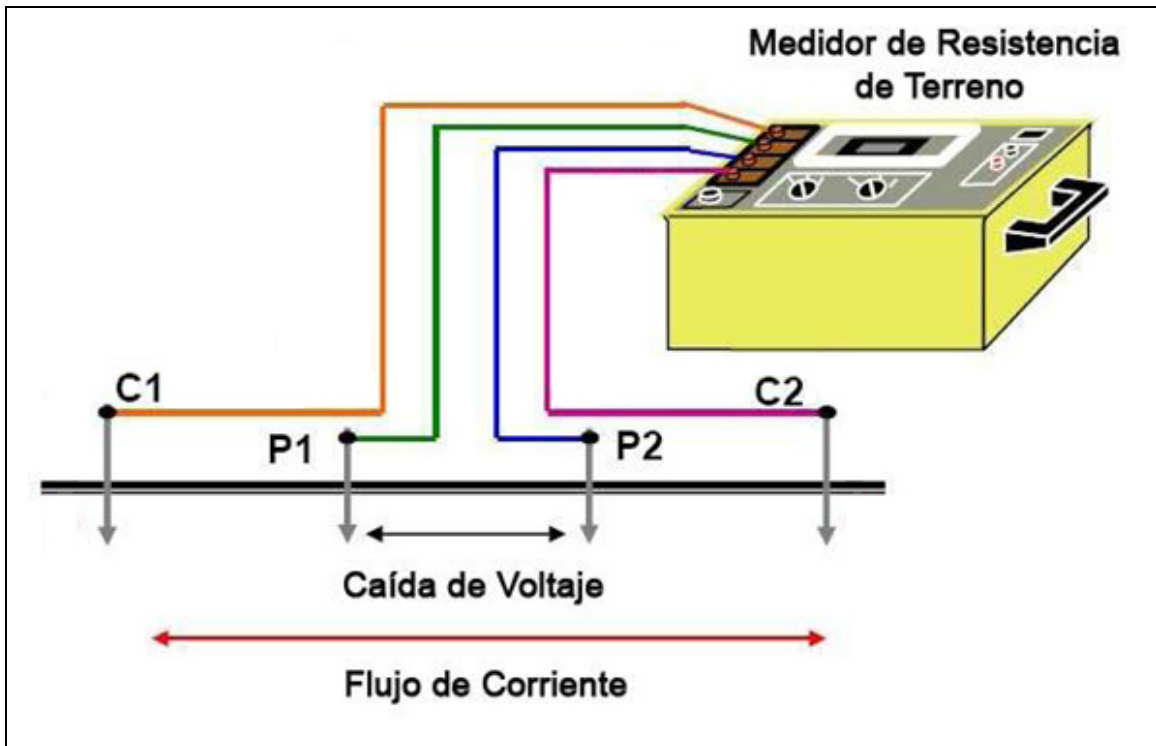


Figura 2.1. Forma de conexión para la medición de resistividad del suelo.

3. Tabla de Medición de Puesta a Tierra

<p>Comité Protección & Puesta a Tierra (CP&PT)</p> <p>Subgerencia de Telecomunicaciones, ICETEL</p> <p>MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA</p> <p>Método caída de potencial del 62%</p>		
DISTRITO:	CODIGO:	
PLANTA INTERNA		
CENTRAL: <input type="checkbox"/>	RADIOBASE: <input type="checkbox"/>	
CORRIENTE ALTERNA: <input type="checkbox"/>	EQUIPO SENSIBLE: <input type="checkbox"/>	RAYO: <input type="checkbox"/>
PLANTA EXTERNA		
EQUIPO ELECTRONICO: <input type="checkbox"/>	CAJA DE DISPERSION: <input type="checkbox"/> N°	
ARMARIO: <input type="checkbox"/>	CAMARA: <input type="checkbox"/> N°	MENSAJERO: <input type="checkbox"/> Ubicación:
INSTRUMENTO	N° Activo:	Fecha de calibración:
SENTIDO DE MEDICION:		Clima:
<p>DATOS DE MEDICION:</p> <p style="background-color: #cccccc; padding: 5px;">$Z_{(x \rightarrow z)} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$ $Y_{62\%} = Z \times 0,62_{(x \rightarrow y)} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$ Resistencia = $\underline{\hspace{1cm}} \Omega$</p> <p style="text-align: center;">$Y_{(+)} = Y_{62\%} + 10\% = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$ $R_{(+)} = \underline{\hspace{1cm}} \Omega$</p> <p style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;">$Y_{(-)} = Y_{62\%} - 10\% = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$ $R_{(-)} = \underline{\hspace{1cm}} \Omega$</p> <p>Cambio de resistencia: $\Delta R \leq 10,00 \%$ en donde: $\Delta R_1 = R_{62\%} - R_{(+)}$ y $\Delta R_2 = R_{62\%} - R_{(-)}$ $\Delta R_1 =$ $\Delta R_2 =$ $\Delta R =$</p> <p style="background-color: #cccccc; padding: 5px; text-align: center;">ΔR: se toma el mayor valor entre ΔR_1 y ΔR_2</p>		
_____	_____	_____
FECHA	NOMBRE Y APELLIDOS	FIRMA

4. Sitios con dificultad de medición

No todos los sitios ofrecen facilidad para efectuar la medición de puesta a tierra. El procedimiento de medición se debe realizar como un ensayo no destructivo. Cuando existan obstáculos que lo dificulten ejecutar, siempre habrá que buscar la forma de cómo poder sortearlo. Seguidamente se muestran ejemplos de cómo proceder ante situaciones adversas.

4.1. PROTECCIÓN CONTRA CORRIENTE PARASITA EN EL TERRENO

Anterior a efectuar la medición de resistencia de puesta a tierra, se debe verificar la existencia de corriente parásita en el terreno. Mediante el uso de un voltímetro se verifica que el voltaje se encuentre dentro del rango de tolerancia del equipo, normalmente establecido en 20V. La prueba se hace al electrodo (X) y (Z).

Cuando se exceda la tolerancia del instrumento, se podrá continuar con la medición trenzando los cables auxiliares y envolviendo el cable de corriente alrededor del cable de potencial, permitiendo así cancelar el efecto de voltajes inducidos. La figura 4.1 ilustra la forma del envolvimiento, de persistir la presencia del voltaje, se debe poner en puesta a tierra la pantalla del cable del instrumento si la posee.

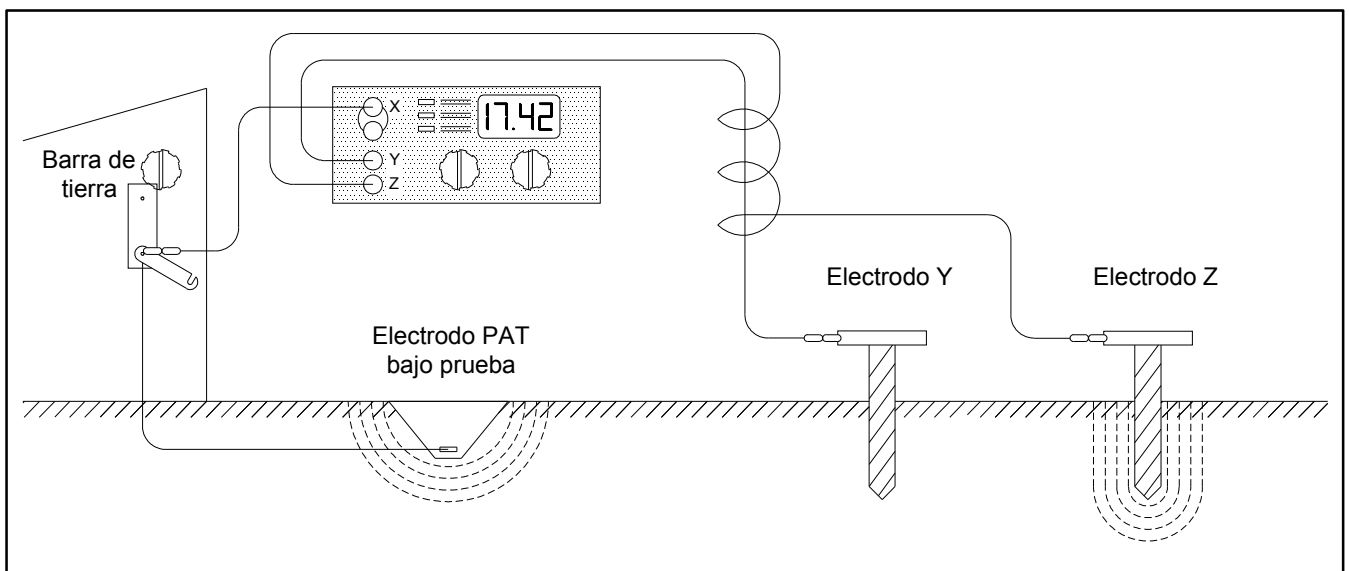


Figura 4.1. Medición de resistencia de Puesta a Tierra en presencia de corrientes parásitas

4.2.SUPERFICIE PAVIMENTADA

En situaciones de superficie pavimentada enasfalto o concreto, no hay posibilidad para efectuar el hincado del electrodo auxiliar, se recomienda entonces, construir una piscina por cada electrodo, tal como se muestra en la figura 4.2. El tamaño será suficiente como para sumergir al electrodo de forma acostada. Los muros se hacen con material de suelo arcilloso. El agua presente satura el volumen de vacíos presente en el pavimento y reduce así la resistencia aparente del material. Así se logra una lectura sin interferencia de la resistencia de puesta a tierra.

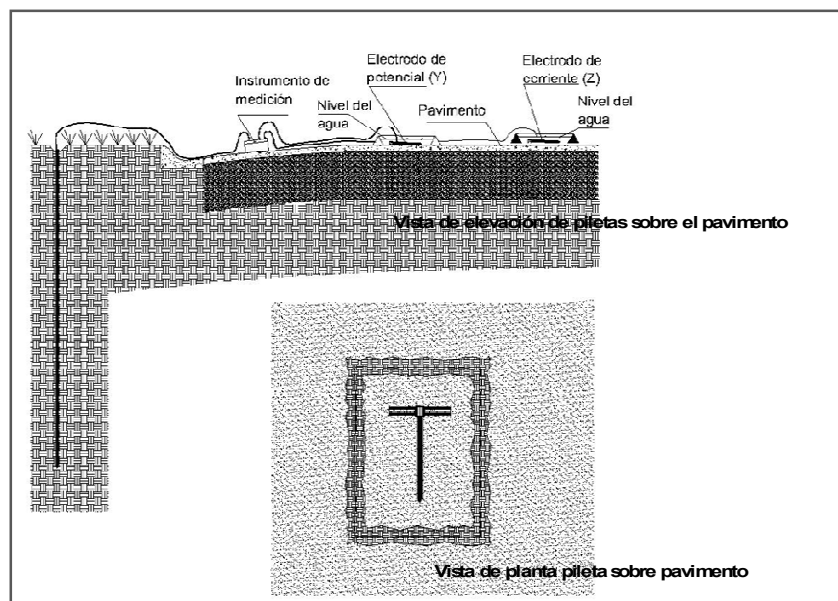


Figura 4.2. Superficie pavimentada

4.3.SUPERFICIE GRANULAR DE GRAVA O LASTRE

Los suelos granulares tipogra de río o de tajo de lastre, normalmente son duros para hincar, deterioran aceleradamente el electrodo auxiliar producto del fenómeno de hidra compactación presente. Consecuentemente se recomienda sustituirlo por otro electrodo de puesta a tierra de 16 mm de diámetro, de acero cobre, el cual tiene un núcleo de acero mucho más durable que soporta mejor el golpe de mazo durante el proceso hincado. Adicionalmente posee mayor facilidad para desechar y reemplazarlo, su recubrimiento de cobre mejora la recepción de corriente eléctrica cuando ésta fluye por suelos resistivos de este tipo.

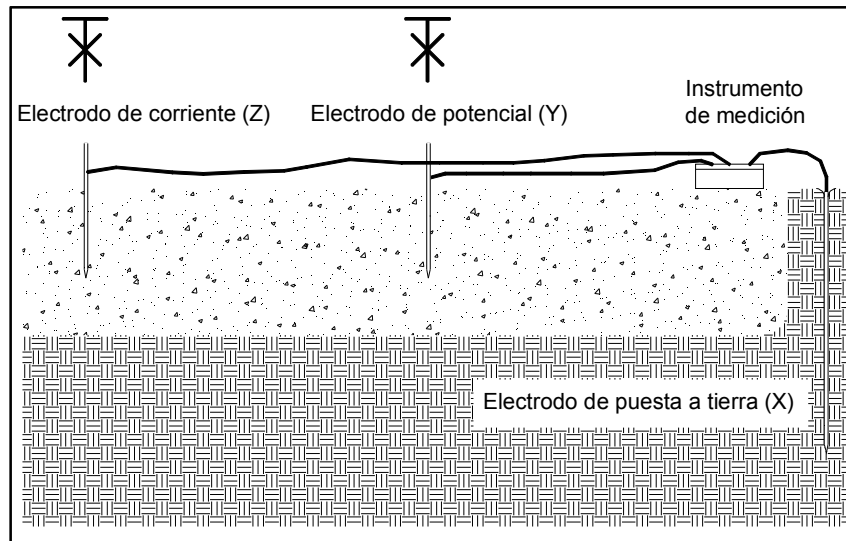


Figura 4.3. Superficie granular electrodo auxiliar sustituido por electrodo de puesta a tierra

4.4. OBSTACULO INTERMEDIO (DEPRESION)

En circunstancias donde exista una depresión a superar, como la zanja mostrada por la figura 4.4, que obliga a instalar los electrodos (Y) y (Z) a uno y otro lado, se recomienda intercambiar el electrodo auxiliar (Z) por un electrodo de puesta a tierra que ofrezca mayor longitud, capaz de superar la profundidad del obstáculo. El cambio mejorará la receptibilidad entre los electrodos y la profundidad del hincado será hasta que el instrumento deje de indicar la alarma de falla. También se recomienda medir en otra dirección y corroborar lecturas.

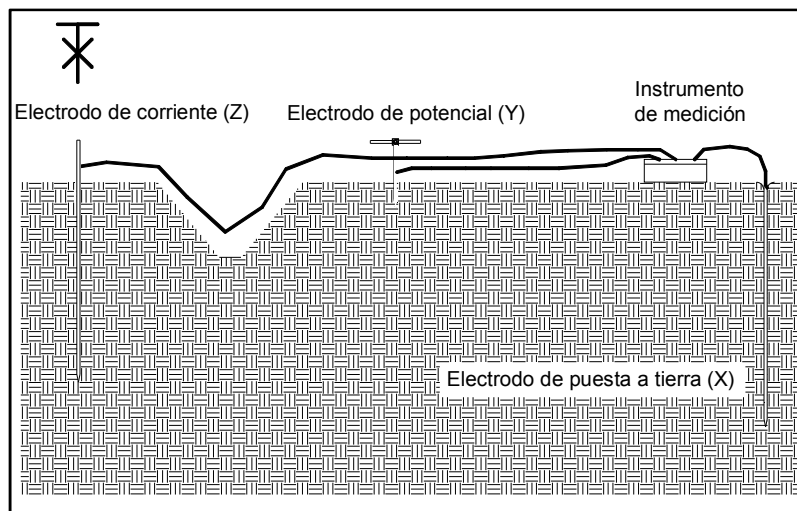


Figura 4.4. Obstáculo intermedio de depresión sustitución del electrodo auxiliar (Z) por electrodo de puesta a tierra

4.5. OBSTACULO INTERMEDIO (DESNIVEL DE TERRAZA)

En superficie de terreno conformado por terrazas a desnivel tal como se muestra en la figura 4.5, la sobre altura existente entre una y otra, activará la señal de falla del instrumento durante la lectura de medición, igualmente se recomienda hacer el intercambio de electrodos, por otro más largo en (Z) que supere la profundidad del obstáculo; como es el electrodo de puesta a tierra la profundidad del hincado estará en función a desactivar la señal de falla del instrumento.

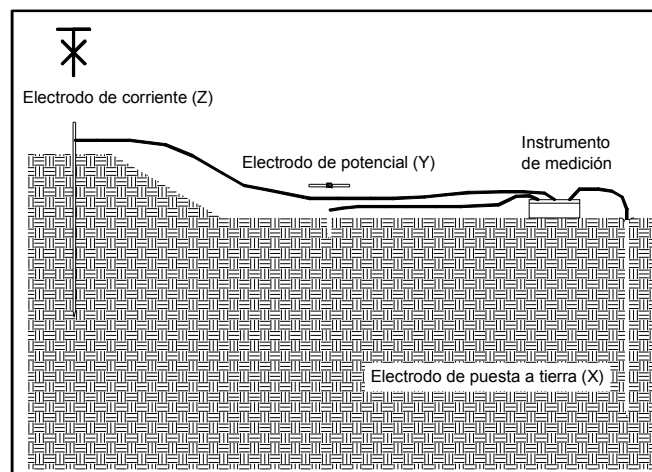


Figura 4.5. Obstáculo intermedio (desnivel de terraza) sustitución del electrodo auxiliar (Z) por electrodo de puesta a tierra

4.6. SUELO PLÁSTICO

En suelo plástico, el material se deforma con facilidad y se desprende momentáneamente del electrodo, esta falta de adherencia incrementa la lectura de resistencia, para evitarlo, se debe moldear a mano el suelo contra el electrodo o llenar de agua el orificio. La figura 4.6 ilustra esta situación.

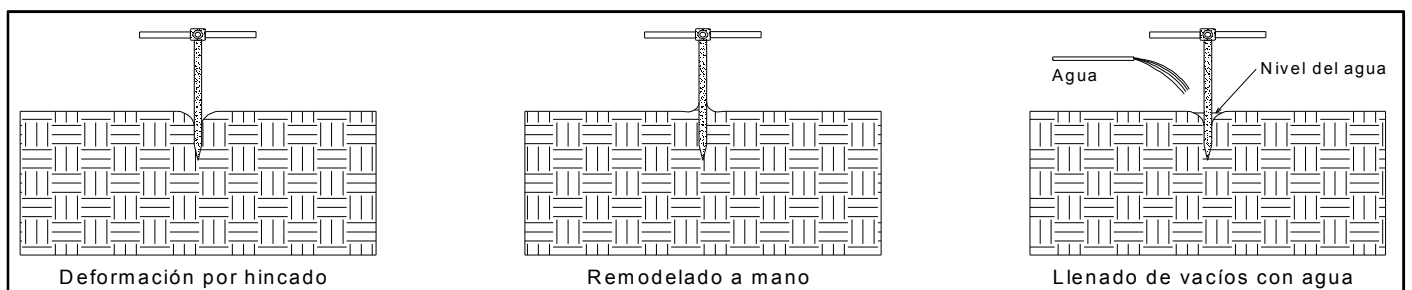


Figura 4.6. Suelo plástico