

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

Tesis de Grado

Previo a la obtención del título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Mención en Gestión Empresarial

Tema:

**“DISEÑO Y EJECUCION DE DESMONTAJE Y ARMAJE CON SISTEMA DE
TIERRA PARA TORRE DE COMUNICACIONES EN LA FINCA LIMONCITO”**

Realizado por:

William Ríos

Diego Sánchez

Director de Tesis

Ing. Orlando Philco Asqui

Guayaquil

Ecuador

2011



TESIS DE GRADO

Título

“DISEÑO Y EJECUCION DE DESMONTAJE Y ARMAJE CON SISTEMA DE TIERRA PARA TORRE DE COMUNICACIONES EN LA FINCA LIMONCITO”

Presentada a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Por:

William Ríos

Diego Sánchez

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
Mención en Gestión Empresarial**

Miembros del Tribunal

**Ing. Manuel Romero
Decano de la Facultad**

Ing. Luis Córdoba

Director de Carrera

Ing. Orlando Philco A.

Director de Tesis

Ec. Gloria Contreras

Coordinador Administrativo

Ing. Luis Vallejo

Coordinador Académico

INDICE

RESUMEN.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I	
DISEÑO DEL PROYECTO DE EJECUCION.....	3
1.1	Planteamiento
del problema.....	3
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivo General.....	3
1.4 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Hipótesis.....	4
CAPITULO II	
CONCEPTUALIZACION DE LAS TORRES DE TELECOMUNICACIONES.....	5
2.1 Tipos de Torres.....	5
2.1.1 Monopolos.....	6
2.1.2 Torres Auto Soportadas.....	7

2.1.2.1 Estructuras de las Torres Auto Soportadas.....	10
2.1.2.2 Criterios de diseño de Torres Autosoportadas.....	12
2.1.2.3 Accesorios de las Estructuras Autosoportadas.....	13
2.1.2.4 Montaje de las Torres Autosoportadas.....	16
2.1.3 Torres Venteadas.....	17
2.1.3.1 Instalación de Sistema a Tierra.....	19
2.2 Resistividad previo Aterrizamiento de Torres de Telecomunicaciones.....	22
2.3 Características del Suelo.....	22
2.3.1 Factores que afectan la resistividad del terreno.....	23
2.3.2 Análisis del suelo en la Finca Limoncito.....	27
2.4 Conceptualización de medición de resistencia a tierra para Torres de Telecomunicaciones.....	27
2.4.1 Componentes de un Sistema de Puesta a Tierra.....	29
2.5 Principios y Métodos de Puesta a Tierra.....	31
2.5.1 Tipo de Prueba.....	32
2.5.2 Tipo de Aparato.....	33
2.5.3 Lugar Físico.....	34
2.6 Descripción de Métodos más comunes.....	34
2.6.1 Método caída de potencial.....	34
2.6.2 Método de Triangulación o de los 3 puntos.....	37

2.6.3 Método de la Relación.....	38
2.6.4 Método de Wenner.....	39
2.6.5 Método de Schlumberger.....	40
2.6.5.1 Métodos Involucrados en la Prueba de Resistencia de Tierra.....	41
2.6.5.2 Efectos Fisiológicos de Descarga de Corriente por el Cuerpo Humano.....	46
2.6.5.3 Valores Recomendados por Normas.....	48
2.6.6 Naturaleza de un Electrodo a Tierra.....	49
2.6.7 Resistencia del Electrodo.....	50
2.6.8 El Electrodo o Varilla para Sistema de Tierra.....	50
2.7 Esferas de Influencia de un Electrodo.....	52
2.7.1 Longitud del electrodo Vs. Resistencia.....	52
2.7.2 Resistencia Vs. el número de Electrodos.....	53
2.7.3 Métodos para la reducción de la Resistencia Eléctrica.....	53
2.7.3.1 Tipos de tratamiento químico.....	58
2.9 Descripción de Torre ventada de la Finca Limoncito.....	65
2.9.1 Protección contra rayos.....	67
2.9.2 Descargas directas.....	67
2.9.3 Descargas indirectas.....	68

CAPITULO III

REUBICACION DE LA TORRE DE COMUNICACIONES EN LIMONCITO.....	69
3.1 Inspección de nuevo sitio.....	70
3.2 Sitio final para reubicar torre de comunicaciones.....	72
3.2.1 Diseño de Torre Venteada.....	72
3.3 Aplicación del método 4 electrodos.....	75
3.4 Montaje de Torre de Comunicaciones.....	79
3.4.1 Espesor de los Vientos.....	81
3.4.2 Tensado de los Vientos.....	82
3.4.3 Fundiciones de base de Torre y de Anclajes.....	82
3.5 Implementación de Sistema Tierra para la Torre de Comunicaciones.....	87
3.6 Conductor o Cable utilizado en el Proyecto.....	89
3.6.1 Conectores de Puesta a Tierra del Proyecto.....	90
3.6.2 Instalación de la puesta a Tierra.....	90
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFIA.....	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Torre Monopolo.....	6
Figura 2.2: Monopolo mimetizada o camuflada de palmera.....	7
Figura 2.3: Estructura triangular (auto soportada) de telefonía celular.....	8
Figura 2.4: Cimentación en concreto a torre auto soportada.....	9
Figura 2.5: Torre auto soportada con escalerilla para cables guía de onda.....	10
Figura 2.6: Luz baliza para torres de comunicaciones.....	14
Figura 2.7: Escalerilla para cables guisas de onda de torre auto soportada.....	15
Figura 2.8: Implementación de torre venteada.....	18
Figura 2.9: Electrodo para tierra en base de anclaje de torre venteada.....	20
Figura 2.10: Cono de protección de pararrayo y torre con todos sus accesorios.....	21
Figura 2.11: Prueba de Resistividad del Terreno con Teluometro.....	33
Figura 2.12: Método de caída de potencial para medir la resistividad.....	35
Figura 2.13: Método de las tres puntas.....	38
Figura 2.14: Método Wenner.....	40
Figura 2.15: El método <i>Schlumberger</i>	40
Figura 2.16: (a) (b) Principio de una prueba de resistencia de tierra.....	42
Figura 2.17: Tensión de paso.....	44
Figura 2.18: Grafico de voltaje o tensión de paso.....	45

Figura 2.19: Voltaje o Tensión de contacto o de toque.....	46
Figura 2.20: Componentes de la resistencia de tierra en un electrodo de tierra.....	49
Figura 2.21: Electrodo para sistema de tierra.....	51
Figura 2.22: Resistividad de la tierra y “esfera” del electrodo.....	52
Figura 2.23: Electrodo de varilla en posiciones de norma.....	59
Figura 2.24: (a) (b) Electrodo de placa y varilla.....	60
Figura 2.25: Características de electrodo electrolítico.....	62
Figura 2.27: Pararrayo y luz de baliza en torre de comunicaciones.....	68
Figura 2.26: Proceso para realizar soldadura exotérmica.....	65
Figura 3.1: Torre ventada de comunicaciones en Limoncito.....	69
Figura 3.2: Sitio escogido para reubicar torre de comunicaciones.....	70
Figura 3.3: Ilustración de la franja de servidumbre.....	71
Figura 3.4: Sitio final para reubicar torre de comunicaciones.....	72
Figura 3.5: Vista de inclinación del terreno para la torre de comunicaciones.....	73
Figura 3.6: Software Tower 3.2 diseño torre auto soportada para Limoncito.....	74
Figura 3.7: Plano de Torre venteada para Limoncito.....	75
Figura 3.8: Los 4 electrodos para medición de método Wenner.....	76
Figura 3.9: Plantación de electrodos en sitio cercano al lugar de reubicación de la Torre.....	76

Figura 3.10: Conexión al Teluometro a los 4 electrodos plantados.....	77
Figura 3.11: La plantación de electrodos en sitio escogido para la torre.....	77
Figura 3.12: Medición con método Wenner en suelo Limoncito igual a 6.19Ω	78
Figura 3.13: Medición de resistividad en sitio para torre de comunicaciones.....	78
Figura 3.14: Montaje de la torre de comunicaciones en Limoncito.....	79
Figura 3.15: Anclajes que tensionan los vientos de la Torre de comunicaciones.....	80
Figura 3.16: Base fundida para anclaje.....	83
Figura 3.17: El anclaje y sus 3 tensores.....	83
Figura 3.18: Torre de comunicaciones instalada.....	85
Figura 3.19: Vista de la torre reubicada en la finca Limoncito.....	86
Figura 3.20: Instalación de red de alambre con electrodos para sistema de Tierra.....	87
Figura 3.21: Proceso de soldadura exotérmica.....	88
Figura 3.22: Soldado exotérmico del anillo con electrodo.....	89
Figura 3.23: Conector de Puesta a Tierra.....	90
Figura 3.24: Configuración de la conexión de varillas de puesta a tierra.....	91
Figura 3.25: Conexión de pararrayo, luz de baliza y antenas.....	92

AGRADECIMIENTO

Nuestro reconocimiento y gratitud a todas las personas que de una forma u otra, estuvieron demostrándonos su apoyo, aliento y tolerancia, especialmente a nuestra familia, padres, madres y hermanos como también familiares y amistades cercanas.

A nuestros profesores, por transmitir sus conocimientos, filosofías, dedicación y esfuerzo, por convertirnos personas profesionales e íntegras; a las autoridades de la Facultad Técnica por la consideración y estímulo que nos han brindado en todo momento, y en especial al Decano, Director de carrera, Coordinador académico y a nuestro Director de Tesis por su ardua y valiosa colaboración, orientación en el desarrollo de la presente tesis.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis está dedicado a todos los estudiantes de la Facultad Técnica de la carrera de Telecomunicaciones, como así también a los estudiantes de ingeniería Eléctrico-mecánica. Que se utilice el procedimiento y técnicas para determinar un sistema de tierra adecuado a las torres de comunicaciones, para que lo utilice como material de apoyo o guía, en el momento de realizar un trabajo de ejecución.

A todos nuestros familiares, profesores y autoridades por la expectativa, apoyo incondicional y consejos, a todos ellos, está dedicada esta tesis.

RESUMEN

El trabajo presente se desglosa por tres capítulos, el primer capítulo es el diseño del proyecto de tesis, se enuncia el planteamiento del problema, la justificación que sostiene el título de este proyecto, así también la importancia de los objetivos en lo que se refiere a diferenciar los diferentes tipos de torre para las telecomunicaciones, así también elegir el método para medir la resistividad del suelo, cuando se requiere instalar un sistema de tierra este debe proteger a las personas del sitio ante caída de rayos, proteger los sensibles equipos electrónicos instalados en el lugar.

El capítulo dos, es el marco teórico acerca de los factores que afectan la resistividad del terreno, se utilizó el método de los 4 electrodos para medir $6,22 \Omega$ como resistividad del terreno, de allí teóricamente se detalló otros métodos para hallar la resistividad; como caída de potencial, método de triangulación, entre otros.

El tercer capítulo detalla la reubicación de la torre de comunicaciones de la finca Limoncito, elaboración de 3 bases de concreto para los anclajes, finalmente la torre tiene una altura de 18 metros, en este lugar es mas alto comparado al anterior sitio. Luego se procedió a instalar un sistema de tierra para la torre y se hizo con una malla de forma triangular con 3 electrodos de cobre de 1,50 metros, la soldadura para unir los 3 electrodos es con soldadura exotérmica, cuando este instalados las antenas de los enlaces de radio y de internet deberán conectarse el cable de tierra a la malla de 3 electrodos.

INTRODUCCIÓN

Los equipos y antenas de los sistemas de internet y radiocomunicación de dos vías, deben estar aterrizados adecuadamente, con ello se evitará daños en las sensibles tarjetas electrónicas de transmisión y recepción. El enlace de internet, cubre una distancia lineal de aproximadamente 50 kilómetros que desde la Facultad Técnica provee la conexión a una computadora que está en un aula de la Finca Limoncito.

Se hace un análisis para calcular la resistividad del terreno utilizando las tablas de distintos tipos de terreno, dentro del marco teórico se describe, su clasificación y en base al análisis se propone el método de aterrizamiento para la torre. Es estratégico reubicar la torre de comunicaciones de Limoncito, y que en el proyecto contemple el análisis y diseño de los sistemas de protección contra rayos, el sistema de puesta a tierra es asunto fundamental en el diseño la seguridad a seres humanos que están cerca de la torre.

Con las mediciones de resistividad se escogió el adecuado sistema de aterrizamiento para la torre de comunicaciones, en caso de eventual caída de un pararrayo, la torre posee un pararrayo eficiente.

El presente proyecto de tesis aparte de la ejecución de desmontaje y armaje de una torre de comunicaciones para la finca limoncito contempla además analizar el terreno para la adecuada aterrizamiento de la torre mencionada, la finca Limoncito, perteneciente a la Facultad Técnica de la Universidad Católica de Guayaquil (UCSG).

Esa información y conocimiento de fundamentos de puesta a tierra no están a menudo disponibles a ingenieros, contratistas y proyectistas. El enfoque de este

trabajo de grado, es el entregar a estudiantes de ingeniería en telecomunicaciones la información esencial y conocimiento básico para entender y diseñar un sistema de puesta a tierra seguro, eficaz y confiable.

CAPITULO 1

DISEÑO DEL PROYECTO DE EJECUCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aleatoria y impredecible caídas de descargas eléctricas provocara daños irreversibles en equipos electrónicos de telecomunicaciones, junto a la perdida de enlace entre la finca Limoncito de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y la Estación Terrena de CNT Cerro azul, incidiendo sobre la calidad de servicio necesaria en la gestión de información (datos)

1.2 JUSTIFICACION

El estudio y diseño a nivel de ingeniería a desarrollar permitirán establecer protecciones de aterrizamiento a la torre de comunicaciones de la finca limoncito, para brindar seguridad a los moradores y estudiantes de la carrera de Agropecuaria que un futuro cercano asistirán en aulas técnicamente adecuadas y se hospedaran en un edificio residencia. El lugar de reubicación de la torre fue seleccionado por el estudio de suelo realizado para alcanzar las normas técnicas de la IEEE.

1.3 OBJETIVO GENERAL

1. Reubicar la torre de comunicaciones en la Finca Limoncito de la UCSG, con implementación de un sistema de tierra y sus respectivas protecciones contra descargas atmosféricas.

2. Realizar el levantamiento de información de parámetros técnico
3. Desarrollar un criterio de análisis para la reubicación de la torre de comunicaciones en la Finca Limoncito de la UCSG.

1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Investigar y comparar los diversos tipos de torres para comunicaciones en virtud al análisis desarrollado
2. Investigar las normas técnicas adecuadas para el sistema de puesta tierra de la torre de comunicaciones.
3. Desmontar y trasladar la torre de comunicaciones realizar el montaje de la torre en el lugar técnicamente elegido.
4. Realizar el aterrizamiento para torre de comunicaciones en finca Limoncito

1.5 HIPOTESIS

La reubicación de la torre de comunicaciones de la finca limoncito de la UCSG evitara circunstancias fatídicas protegiendo a los seres humanos y equipos de telecomunicaciones instalados en la finca manteniendo la conexión a internet y radiocomunicación de dos vías con la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

CAPITULO 2

CONCEPTUALIZACION DE LAS TORRES DE TELECOMUNICACIONES

El tipo y dimensiones de una torre para telecomunicaciones va combinado fundamentalmente a:

- El sistema de comunicación a instalar
- El terreno disponible
- Tipo y cantidad de antenas a instalar.
- Restricciones en la desplazabilidad de dichas antenas en función del sistema instalado.

Existen actualmente muchas compañías que se dedican a fabricar estas estructuras y muchas de ellas tienen sus modelos optimizados para que se tenga un correcto funcionamiento de la estructura, en donde los perfiles y ángulos varían de tamaño y espesor dependiendo de la altura de la estructura, y del lugar en donde se va a construir, afectando principalmente la velocidad del viento que exista en el lugar en cuestión. Con el uso de software de análisis estructurales es posible realizar diseños e inclusive simulación del esfuerzo que soportará una torre con diferente carga (soportes y antenas).

2.1 TIPOS DE TORRES

El primer objetivo de esta tesis describe, conocer y comparar las torres que se diseñan y se construyen en beneficio de las comunicaciones.

2.1.1 MONOPOLOS

Los monopolos son postes afilados huecos hechos de acero galvanizado que se construyen de tubos articulados que pueden llegar hasta 60 metros.

Debido a su construcción, son costosos de fabricar, pero simples de levantar. Se utilizan sobre todo en ambientes urbanos donde hay espacio limitado disponible para la base de la torre. La huella máxima de un monopolo de 60 m es de unos 2x2 m.



Figura 2.1 Torre monopolo

Este tipo de torre son instaladas en lugares en donde se requiere conservar la estética, pues son las que ocupan menos espacio, y se pintan de algún color o se adornan para que se permita que la estructura se mimetice y se simule por ejemplo, el de una palmera, aunque esto puede ser concepción de un proyecto para que se aplique en el

Ecuador en las ciudades donde se quiera moderar el impacto visual por parte de torres (radiobases) de telefonía celular. Ver figura 2.2



Figura 2.2 Monopolo mimetizada o camuflada de palmera

Como estas estructuras están sobre terrenos, se deberá construir una cimentación adecuada para resistir vientos, debilidad del terreno. Es complementario con un óptimo trabajo de obra civil.

2.1.2 TORRES AUTO SOPORTADAS

Las torres auto soportadas son caras pero algunas veces son necesarias, particularmente cuando se requiere una gran altura. Pueden ser tan simples como un mástil robusto enterrado en una fundación de concreto. Cuando por el diseño del enlace de comunicaciones se necesita altura que sobrepasa los 20 metros, se debe

escoger implementar una torre auto soportada de base triangular o cuadrada (ver figura 2.3).

Se deben cumplir estándares de calidad ASTM¹ y ANSI/EIA² para este tipo de torres. Para su fabricación se utilizarán materiales de la más alta calidad, diferentes calibres y espesor de pared, galvanizados por inmersión en caliente posterior a su fabricación. La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y del fabricante de la torre.

La cimentación de sus bases es trabajo de obra civil extenuante, que requiere construir cimientos como para un edificio, ver figura 2.4.



¹ *American Society for Testing and Materials*; Sociedad americana para las pruebas de materiales, los científicos e ingenieros las usan en sus laboratorios y oficinas; los arquitectos y diseñadores las usan en sus planos; las agencias gubernamentales de todo el mundo hacen referencia a ellas en códigos, regulaciones y leyes.

² *American National Standards Institute/Electronic Industries Alliance*, Instituto nacional americano de normas/Alianza de industrias electrónicas

Figura 2.3 Estructura triangular (auto soportada) de telefonía celular

Como se dijo deberán de contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que están sometidas.



Figura 2.4 Cimentación en concreto a torre auto soportada

Las torres auto soportadas se pueden construir con tres o cuatro lados, es decir con base triangular o cuadrada. Están formadas por perfiles angulares formando secciones generalmente fabricadas con hierro galvanizado para resistir la corrosión.

Cuanto más ancha es la base de la torre, mayor carga puede tolerar.

Algunas veces se puede utilizar una torre ya existente, aunque se deben evitar las antenas de transmisión AM (Amplitud modulada) porque toda la estructura es activa.

Las torres de estaciones FM (Frecuencia modulada) son aceptables si se mantienen por lo menos algunos metros de separación entre las antenas.

Se debe tener en cuenta que si bien las antenas de transmisión adyacentes pueden no interferir con su conexión inalámbrica, una FM de alta potencia puede causar interferencia en el cable ethernet.

Siempre que se utilice una torre ocupada por muchas antenas, se debe tener cuidado con la puesta a tierra y se debe considerar la conveniencia de utilizar cable apantallado para los datos y que los cables de guías de onda donde viaja la señal hacia y desde los equipos debe tener una escalerilla independiente.

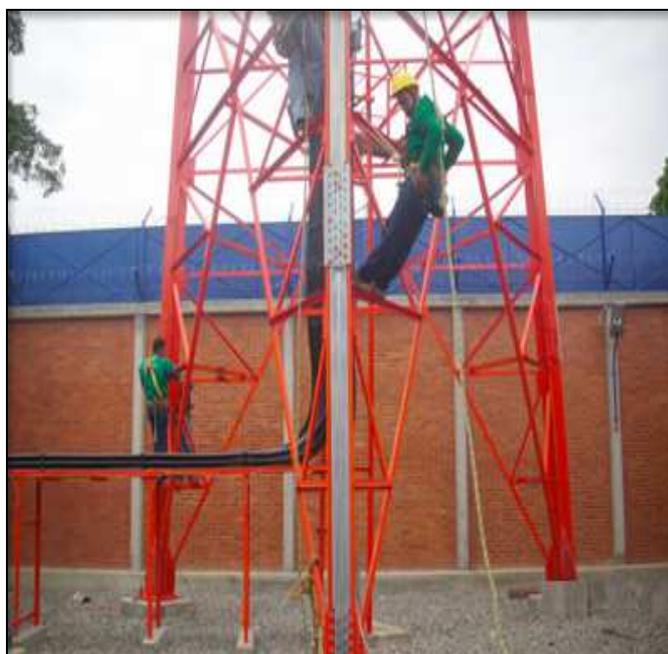


Figura 2.5 Torre auto soportada con escalerilla para cables guía de onda

2.1.2.1 ESTRUCTURAS DE LAS TORRES AUTOSOPORTADAS

El material que se suministrará para la estructura de las torres auto-soportada está constituido por los siguientes elementos:

- La sección transversal de los diferentes tramos es un triángulo o cuadrado de dimensiones variables con la altura.
- Los montantes: se encuentran ubicados en el vértice del triángulo o cuadrado son en ángulo de diferente calibre de acuerdo con la ubicación (base, intermedios, cumbre), función y con las características de peso y viento al cual van a estar sometidos, todos cumplen con la norma ASTM-36
- Las riostras: son las diagonales que unen los montantes formando las tres o cuatro caras de la torre. Se construyen en ángulo disminuyendo su sección y longitud a medida que la altura de la torre aumenta, cumple con la norma ASTM-36.
- Las riostras van unidas a los montantes mediante pernos de fijación que lo sujetan a los refuerzos.
- Los refuerzos: son platinas que fijan los montantes y las riostras, unas van soldadas directamente al montante y las otras reciben las riostras en el centro de cada cara de la torre.
- Los pernos: utilizados para la unión de los diferentes elementos son de grado cinco (5), variando su dimensión con respecto a su ubicación de acuerdo a la norma SAE³ (A325).
- La soldadura es de tipo MIG (*Metal Inert Gas*) aumentando la resistencia a los esfuerzos sometidos, esta soldadura no requiere ser descarbonada por lo tanto el galvanizado penetra perfectamente en estos puntos.

³ *Society of Automotive Engineers*; Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores; A 325 se refiere a la calidad de los pernos de acero.

2.1.2.2 CRITERIOS DE DISEÑO DE TORRES AUTOSOPORTADAS

Estos criterios pueden aplicarse para la torre venteada de la finca Limoncito, pues con el software especializado, se puede calcular su estructura, la carga y/o esfuerzo, cimentación, etc. Así se describe los siguientes criterios:

CONDICIONES CLIMATICAS

En cuanto a la carga del viento el pre diseño se ha desarrollado con base en una velocidad de 75 millas por hora (120 Kilómetros por hora). En el caso de la torre de Limoncito se deberá proyectar la resistencia de vientos de hasta 100 Kph.

CARGAS

Las cargas puntuales de las estructuras estarán generadas por antenas sólidas de diferentes diámetros Ejemplo 8, 4, 2 y 1 Pies. Para el análisis de carga de las estructuras tomaremos como diámetro estándar 2 antenas de 8 pies para cada elemento.

CIMENTACIÓN

La cimentación de las estructuras se calcula de acuerdo al sitio de instalación y tipo de superficie donde se vaya a instalar.

La cimentación más frecuente es la cimentación profunda en suelos normales y la superficial en suelos rocosos, también se utiliza el sistema de viga corrida en concreto para terrazas y azoteas previo cálculo estructural.

Para el caso de torres venteadas la cimentación es mas sencilla, se realiza cimentación para colocar anclajes, en el diseño propuesto se realizará 3 bases de anclaje fundidas en concreto.

PINTURA

- Las estructuras serán galvanizadas por inmersión en caliente (Hot-dip⁴), posterior a su fabricación según las normas técnicas correspondientes.
- Sobre el galvanizado se aplicará una capa de wash-primer⁵
- Posterior al wash-primer aplicará pintura naranja y blanco según la normativa de ICAO⁶ Aeronáutica Civil.

2.1.2.3 ACCESORIOS DE LAS ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS

De acuerdo con su requerimiento, las torres se construyen con los siguientes accesorios y elementos:

Plataforma de Descanso: Las plataformas se construyen interiores a la torre con ángulos de acero para los marcos del piso y las barandas (opcional). Dentro del marco del piso se colocan mallas antideslizantes que sirven de soporte para los instaladores. Las alturas de instalación son determinadas por el cliente o se manejarían con las siguientes medidas:

- Una (1) para las torres de treinta (30) metros

⁴ El hierro o el acero limpio y libre de oxido se sumerge en zinc fundido para crear cromados

⁵ No es una pintura, es un acondicionador de superficies metálicas. Su principal objetivo es proporcionar una base que dé buena adherencia a la capa de pintura que se va a aplicar

⁶ *International Civil Aviation Organization*, reglamenta códigos y normas para la aviación internacional.

- Posteriormente se instalarán una (1) cada quince metros o más

Escalerilla de seguridad: Para las torres auto soportadas se recomienda escalera interior o exterior de acceso cuya estructura lateral se fabrica en ángulo de 1 ½" x 1 ½" x ¼" y los peldaños en varilla de 5/8". El ancho de la escalera es de 40 centímetros y la separación entre peldaños es de 30 centímetros. Su instalación se hace interiormente, apoyada en herrajes diseñados para este fin.

Luces de Obstrucción: Juego de luces de obstrucción, llamadas también luz baliza según normas FAA⁷, consistente de una o en algunos casos de doble luz para la cima de la torre, esta se enciende con foto control y posee un sistema intermitente gradual, cable de bajada 3 x 14. Esta señalización sirve para evitar que aviones ligeros o similares se estrellen o tuvieren accidentes por la torre.

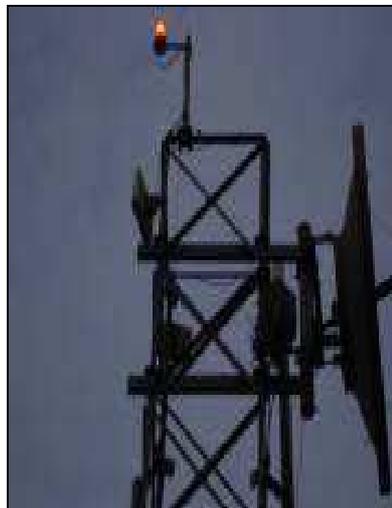


Figura 2.6 Luz baliza para torres de comunicaciones

⁷ *Federal Aviation Administration*, Establece normas técnicas de seguridad y administración para la aviación

Escalerilla Vertical de Guía Onda: Se fabrica en ángulo de acero, el ancho 60 cm. Y sus peldaños o travesaños están separados 80 cm, tienen perforaciones para facilidad de sujeción del cable, de esta forma las conexiones desde las antenas en la torre mantienen seguridad de que los cables guías de onda estén protegidos contra vientos y la posible atenuación en la línea de transmisión por movimientos bruscos de la guía de onda. Ver la figura 2.7



Figura 2.7 Escalerilla para cables guías de onda de torre auto soportada

Bandeja Porta cables Pararrayo y Puesta a Tierra: Este sistema está constituido por una “jabalina” pararrayos de cobre acero de 5/8" x 8 pies para la cima, cable de bajada 2/0 de cobre recubierto con caucho y conjunto de puesta a tierra, consistente en colocar varillas de copperweld⁸ de 5/8" x 8 pies en fosos excavados previamente en seis puntos al rededor de la placa de base de la torre y unidas entre sí mediante

⁸ Elemento bimetálico compuesto por un núcleo de acero y una película externa de cobre unidos metalúrgicamente. La capa de cobre brinda protección suficiente contra la corrosión del terreno y la varilla en conjunto permite una adecuada difusión a tierra de las corrientes de falla que se puedan presentar en el sistema eléctrico.

cable de cobre desnudo # 4, la conexión de las barras y el cable se hace con soldadura cadwell⁹. A cada uno de los montantes se le conecta el anillo del cable y el sistema en total debe tener en su medición correcta.

2.1.2.4 MONTAJE DE LAS TORRES AUTOSOPORTADAS

El montaje de las torres incluye el proceso de fabricación y la ejecución de las labores requeridas para su instalación y pintura hasta dejarlas listas para la colocación de las antenas. A continuación se hace un breve resumen de las actividades a desarrollar en la fabricación y montaje de torres para telecomunicaciones.

- Fabricación con respecto a los planos de diseño.
- Análisis y clasificación de las piezas de fabricación para el montaje secuencial.
- Cimentación.
- Montaje de la estructura de la torre de acuerdo a su clasificación, especificaciones
- Instalación de escalera de acceso
- Instalación de plataforma de descanso
- Instalación de dispositivo de seguridad para ascenso
- Instalación de escalerilla de guía de onda
- Instalación del sistema de pararrayo y puesta a tierra
- Instalación del sistema de luz de obstrucción

⁹ Es un método simplificado para realizar conexiones eléctricas soldables exotérmicas.

- Aplicación de pintura y wash-primer
- Pintura de las juntas y retoques de pintura en general

2.1.3. TORRES VENDEADAS

Una torre vendeada a la que se pueda trepar es una excelente elección para muchas instalaciones, pero para estructuras muy altas se necesita una torre auto soportada. Las torres vendeadas son mucho más económicas pero ocupan un área considerable ya que los vientos deben estar anclados a una distancia de la base que es por lo menos la tercera parte de la altura.

Cuando se dispone de terreno, una torre vendeada es ideal para cubrir todas las necesidades de comunicaciones, incluyendo internet inalámbrico, celulares y radiodifusión. Como se dijo este tipo de torre es apta para aplicaciones de radiocomunicaciones, enlaces microondas, enlaces inalámbricos, sistemas punto-punto, enlaces de datos y cámaras de observación, se describe una torre vendeada con las siguientes características:

- 🚧 Tramo (segmentos) de torre de 3 metros de altura.
- 🚧 Tubo galvanizado, peldaños tipo "L".
- 🚧 Medida interior: 25 x 25 x 25cms.
- 🚧 Promedio de tramos apilables: 10 tramos (30mts).
- 🚧 Tensores, anclas y cables de acero.
- 🚧 Pararrayos
- 🚧 Luz Baliza

En el caso de instalar las torres venteadas, se deberá colocar una polea en la cima del mástil facilita su instalación, el mástil se asegura a la sección más baja ya colocada, mientras que las dos secciones de la torre se acoplan con una unión articulada. Una cuerda pasada por la polea facilita el levantamiento de la siguiente sección. Luego de que esa sección esté vertical, sujétela a la sección más baja del mástil. El mástil se retira, y si es necesario se puede repetir la operación. Se debe tensar fuertemente los cables de vientos cuidadosamente, deben tener todos, la misma tensión. Elija los puntos de anclaje para que los ángulos, vistos desde el centro de la torre, estén tan equiespaciados como sea posible.



Figura 2.8 Implementación de torre venteada

2.1.3.1 INSTALACION DE SISTEMA A TIERRA

Realizar una instalación de tierra adecuada es sumamente importante esto con el fin de evitar que los equipos se dañen por exceso de energía estática o por causa de un rayo.

Es por ello que se provee de un cortocircuito a tierra en caso de que caiga un rayo, y un circuito para que la energía estática excesiva sea disipada. La estática puede causar una degradación significativa de la calidad de la señal, particularmente en receptores sensibles, establecer un cortocircuito a tierra es sencillo. El instalador simplemente debe proveer un camino lo más corto posible desde la superficie conductora más alta (un pararrayos) hasta la tierra.

Cuando un rayo impacta el pararrayos, la energía viaja por el camino más corto, y por lo tanto va a eludir el equipamiento. Este cable a tierra debe ser capaz de manejar corrientes grandes (se necesita un cable grueso, como un cable de cobre trenzado AWG 8). Si se usa cable coaxial entre la antena y el radio, es recomendable conectar a tierra el cable coaxial. En la práctica, todas las torres y mástiles tienen los mismos elementos a proteger:

- Antenas
- Cables de bajada de antenas: guías de onda y cables coaxiales.
- Cables de descenso de balizamiento.

La toma a tierra de las estructuras metálicas de soporte, (torres o mástiles) tiene por objeto canalizar las descargas que pudiesen entrar, no solo por éstas, sino por todo elemento vinculado eléctricamente a éstas. En la figura 2.9 hay un esquema que

ilustra una base de anclaje de una torre venteada instalada con varillas de cobre que son parte de sus sistema de tierra.

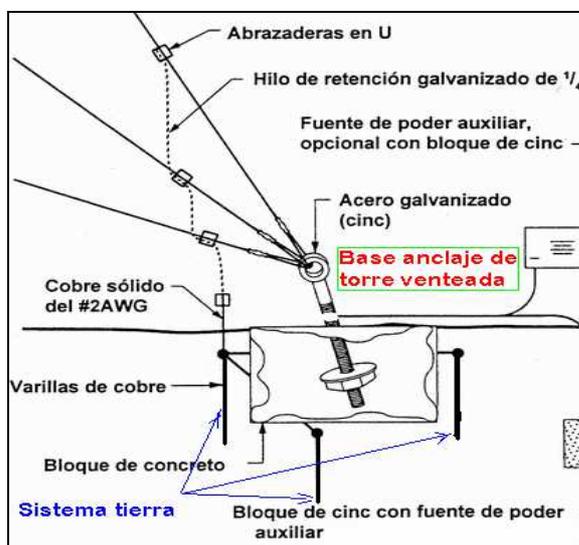


Figura 2.9 Electrodo para tierra en base de anclaje de torre venteada

Ya que constructivamente las torres y mástiles son diferentes, sus conexiones a tierra también lo serán, en cambio los descensos de antenas y balizas se protegen de la misma manera (independientemente de su estructura de soporte).

Parte importante complementaria del sistema de tierra, es la selección del pararrayo adecuado. La instalación de los pararrayos debe garantizar la protección de los seres humanos, equipos y edificios contra descargas atmosféricas directas, no protegiendo cuando estas son transmitidas a través de la red de distribución de energía eléctrica.

Una instalación de un pararrayos está dividida en tres partes:

- Estructura de recolección
- Estructura de descenso
- Estructura de flujo (tomas de tierra propias)

Todo tipo de antena a instalar en una torre deberá estar indefectiblemente debajo del "cono de protección" del pararrayos. Se define así al cono de 30° con vértice en el extremo superior del pararrayos.

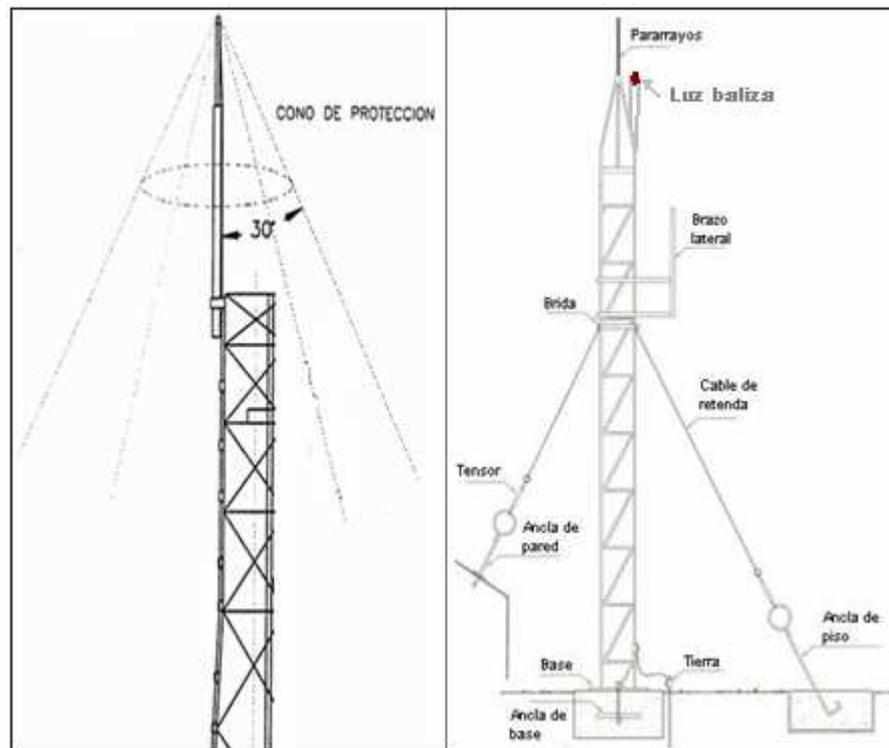


Figura 2.10 Cono de protección de pararrayos y torre con todos sus accesorios

Para diseñar una torre de comunicaciones hoy en día se cuenta con programas profesionales para este tipo de estructuras, por ejemplo el tower.

Se procede a realizar el segundo objetivo específico de este proyecto de tesis que es la de investigar métodos adecuados para el sistema de tierra que protegerá a la torre de comunicaciones de Limoncito.

2.2 RESISTIVIDAD PREVIO ATERRIZAMIENTO DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES

El estudio de sistemas de tierra es muy fundamental en diseños de proyectos de telecomunicaciones, los equipos electrónicos, transmisores y receptores son muy sensibles a variaciones de voltaje, es por ello que para elegir un sistema de tierra en una torre de telecomunicaciones, primero debemos saber cuál es la resistividad del terreno donde estará ubicada la torre.

La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m³ de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra. El lugar donde está ubicada la torre de comunicaciones de la Facultad Técnica es la finca Limoncito, este predio es de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), ubicada en el Km. 48 vía a la costa, provincia de Santa Elena.

2.3 CARACTERISTICAS DEL SUELO

Las características del suelo determinan el diseño y construcción física de un sistema de puesta a tierra necesario para lograr una resistencia determinada. Esto incluye la selección de los tipos de electrodos, investigadores sobre el tema denominan la selección del método de los electrodos (normalmente múltiples), el espaciamiento de los electrodos y la colocación de los mismos electrodos.

La característica más importante de la cual estamos preocupados es la conductividad del suelo o habilidad de conducir la electricidad, inversamente llamado resistividad de suelo.

Pruebas de la resistividad del suelo establecen la resistencia contra el flujo de corriente del suelo y finalmente determinan el diseño de sistema de puesta a tierra necesario para lograr una resistencia a tierra específica.

Podemos aconsejar que el mejor método de afrontar esta situación, sea el de proceder por la vía experimental y de efectuar una serie de mediciones sistemáticas en todas las posibles condiciones.

Se procede a medidas sistemáticas de la resistencia total de instalación de tierra o se busca la resistencia deseada, aumentando el número de electrodos, la profundidad del entierro o con otro medio que la práctica lo aconseje, se trata de llegar a un valor inferior al máximo, que permita contener el potencial de tierra entre valores adecuados no peligrosos.

Pero antes se describen factores que afectan la resistividad del suelo, como el contenido de humedad, contenido de electrolitos y metales, y cambios ambientales de temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación, variaciones estacionales, Sales Solubles, Granulometría, Composición del suelo, estado higrométrico.

2.3.1 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Se debe hablar sobre la naturaleza del terreno, esta se refiere a que la resistividad varía según el tipo de terreno, es decir se tiene una resistividad más elevada en un terreno rocoso que en uno donde haya arena.

Se describen los factores siguientes:

Humedad

La resistividad varía según la humedad del terreno, mientras más húmedo sea éste más baja será la resistividad del terreno y mientras más seco este el terreno mayor será la resistividad de éste, es por esta razón que debe procurarse un terreno un poco más húmedo para obtener mejores valores. El terreno es rara vez homogéneo y, la resistividad del mismo varía geográficamente y a diversas profundidades. El contenido en humedad cambia según la estación del año, varía en función de la naturaleza de las subcapas de la tierra y la profundidad del nivel de agua subterránea permanente.

Temperatura

Aquí también la temperatura afecta en las mediciones ya que el calor crea una resistencia en el terreno, ya que es como si se tuviera un terreno seco. Y por el contrario a temperaturas muy bajas la poca humedad que hay en el terreno puede congelarse (solo la superficie del agua), y como se sabe el hielo no es un buen conductor por lo que se eleva la resistividad del terreno.

Salinidad

Como se sabe el agua por sí sola no conduce la electricidad pero con sales se convierte en un excelente conductor, es por esto que mientras más sales contenga el terreno y este húmedo más bajo serán los valores de resistividad.

Estratigrafía

Esta afecta por el exceso de rocas y piedras de tamaño considerable en un terreno ya que las rocas y piedras provocan una mayor resistencia en el terreno.

Compactación

Aquí la resistividad disminuye mientras más compactado este un terreno ya que cuando no está bien compacto hay pequeños espacios de aire los cuales impiden que la corriente eléctrica se pueda esparcir por el terreno.

Variaciones estacionales

Las estaciones también intervienen en el valor de la resistividad de un terreno ya que en una estación calurosa como lo es primavera el terreno estará más seco que si se tuviera una estación con muchas lluvias y por esto los valores cambiarían según la estación del año en que nos encontremos es por esto que se recomienda hacer varias mediciones en diferentes estaciones del año para determinar la resistividad promedio. Por esto se recomienda hacer varias mediciones en el terreno en diferentes posiciones y después sacar un promedio de estas para obtener un valor de resistividad más exacto.

Sales Solubles

La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; esto es, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es

prácticamente la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.

Composición del Terreno

La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m (unidad de medida de la resistividad del suelo, ohmio metro), por lo que una varilla electrodo enterrada 3m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 Ω (ohms) respectivamente.

En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 ohm o menos con una sola varilla electrodo es virtualmente imposible.

Granulometría

Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra.

Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.

Estado Higrométrico

El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático¹⁰. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante.

¹⁰ Es la parte superior saturada de agua en el subsuelo. Los niveles freáticos del suelo determinan la estrategia que se usara para la construcción de un pozo de agua o de una construcción.

Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

2.3.2 ANALISIS DEL SUELO EN LA FINCA LIMONCITO

En la tabla 2.1 se aprecia datos importantes acerca del terreno en la finca Limoncito, se determino por medio de las pruebas realizadas por ingenieros de la carrera de agronomía, que el suelo en la finca es arcilloso, en la tabla 2.1 se detalla algunas características adicionales previas al análisis del terreno en Limoncito.

Longitud Oeste	79° 53' 00"	Precipitación media anual	807,87mm
Latitud Sur	02° 09' 12"	Temperatura media anual	25°C
Altitud	40 msnm	Humedad relativa media anual	75%
Suelo	Arcilloso	pH	6.4

Tabla 2.1 Datos del terreno en Limoncito

2.4 CONCEPTUALIZACION DE MEDICION DE RESISTENCIA A TIERRA PARA TORRES DE TELECOMUNICACIONES

Cuando los proyectos abarcan torres medianas y grandes de telecomunicaciones, el tema de la resistividad del terreno es fundamental para encontrar la profundidad de la roca, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, planta generadora o transmisora en radiofrecuencia. Asimismo puede ser utilizada estas mediciones para demostrar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión. En este punto es necesario aclarar que la medición de la resistividad del terreno, no es un requisito para obtener la resistencia de los electrodos a tierra.

Las conexiones de puesta a tierra en general poseen impedancia compleja, teniendo componentes inductivas, capacitivas y resistivas, todas las cuales afectan las cualidades de conducción de la corriente.

Las resistencias de la conexión son de particular interés en los sistemas de transmisión de energía (bajas frecuencias), debido a la conexión. Por el contrario, los valores de capacitancia e inductancia son de particular interés en altas frecuencias como en comunicaciones de radio y descargas atmosféricas. La unidad de la resistividad para suelos más común usada es el *ohm por metro*, que se refiere a la medida de resistencia entre las caras opuestas de un metro cubico de suelo. Teóricamente, la resistencia del terreno de cualquier sistema de tierra o electrodo, R, puede ser calculado usando la formula general de resistencia: $R = \rho (L/A)$.

ρ = Resistividad de la tierra (ohm-metro)

L= Longitud del trayecto del conductor (metros)

A = Área transversal del trayecto (metros cuadrados)

El suelo de arcilla normal que tiene la finca de Limoncito tiene una resistividad de 40-500 ohm por metro por lo que una varilla enterrada a 3 metros tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohms respectivamente. En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm por metro o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra baja con una sola varilla es virtualmente imposible.

Este proceso de diseño será detallado más adelante. Por lo tanto, la resistividad del suelo es una constante proporcional que relaciona la resistencia de un sistema de tierra a la longitud del trayecto conductor y su área transversal, es imprescindible medir la resistividad del suelo como parte del proceso de diseño. La resistividad puede variar ampliamente en diferentes medios de suelo.

2.4.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

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

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

***Electrodos:** Elemento metálico que permanece en contacto directo con el terreno, facilitando el paso a éste de las corrientes de falla. Construidos con materiales resistentes a la humedad y la acción química del terreno.

***Línea de enlace con tierra:** También conocido como anillo de enlace, está formado por un conjunto de conductores que unen a los electrodos con el punto de puesta a tierra. Debe ser de cobre desnudo, su sección no será inferior a 35 mm² y en ningún caso inferior a sus derivaciones.

***Punto de puesta a tierra:** Es un punto situado fuera del suelo, generalmente dentro de una cámara, que sirve de unión entre el anillo de enlace y la línea principal de tierra.

b) Línea principal de tierra: Formado por conductores de cobre que parten del punto de tierra, y se usan para conectar todas las derivaciones necesarias para la puesta de tierra, a través de los conductores de protección. Su recorrido debe ser corto para reducir los efectos inducidos y sin cambios bruscos de dirección. La línea principal de tierra será de cobre desnudo. Su sección no será inferior de 16 mm² y en ningún caso inferior a las de sus derivaciones. El conductor principal de equipotencialidad debe tener una sección no inferior a la mitad de la del conductor de protección mayor de la instalación, con un mínimo de 6 mm² sin embargo puede ser reducido a 2.5 mm² si es de cobre.

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

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

- * El neutro de la red.
- * Otras masas.
- * A elementos metálicos distintos de las masas.
- * Un relé de protección.

2.5 PRINCIPIOS Y METODOS DE PUESTA A TIERRA

Queda claro que existen objetivos porque se hace un estudio y medición de la resistividad del suelo donde se proyectará instalar una torre de telecomunicaciones, aquí se enmarca como propósitos principales, para los cuales se debe medir o determinar los valores de impedancia de puesta a tierra, resumiendo tenemos:

- ✓ Determinar la impedancia actual de las conexiones de puesta a tierra.
- ✓ Como control y verificación los cálculos en el diseño de sistemas de distribución de puesta a tierra.
- ✓ La adecuación de una puesta a tierra para transmisión de radiofrecuencia.
- ✓ La adecuación de la puesta a tierra para protección contra descargas atmosféricas.
- ✓ Asegurar, mediante el diseño apropiado de la puesta a tierra, el buen funcionamiento de los equipos de protección.

La resistencia de toma de tierra es, prácticamente, la resistencia del volumen del material del terreno que rodea el elemento de la toma hasta una distancia aproximada 5 m. Las mediciones de tierra deben realizarse, no solo durante la energización, sino periódicamente para determinar las posibles variaciones.

La medición de resistencia a tierra de electrodos es una técnica que requiere conocer aparte del método de medición, algunos factores que afectan los resultados de las mediciones, y que son:

- El tipo de prueba.

- El tipo de aparato empleado.
- El lugar físico de las puntas de prueba

2.5.1 TIPO DE PRUEBA

Existen varios tipos de pruebas o llamados métodos. Autores describen una cantidad significativa de métodos, aquí nombramos los más utilizados en aterrizamiento de torres de telecomunicaciones. Aunque muy parecidas, los resultados de las mediciones no son exactamente los mismos. Así tenemos el método de tierra conocida, método de los tres puntos, método de la caída potencial, método de la relación.

Cada uno de ellos tiene ventajas y desventajas. El método de la tierra conocida, consiste en encontrar la resistencia combinada entre el electrodo a probar y uno de resistencia despreciable. Con éste método se hace circular una corriente entre dos tomas a tierra, esta corriente se distribuye en forma similar a las líneas de fuerza entre polos magnéticos. La desventaja de éste método es encontrar los electrodos de resistencia conocida y los de resistencia despreciable.

El método de los tres puntos, consiste en enterrar tres electrodos, se disponen en forma de triángulo. Este método es conveniente para medidas de resistencia de las bases de las torres monopolos que también se las llama “ventadas”. La de la finca Limoncito es de ese tipo. Pero no es conveniente para las medidas de resistencia bajas como las de las mallas de puesta a tierra de grandes estaciones de radio (radiobases) como los de telefonía celular.

2.5.2 TIPO DE APARATO

Como se ha dicho la medición de la resistividad del terreno, no es un requisito para obtener la resistencia de los electrodos a tierra, que es lo que está normalizado, no todos los aparatos de medición de resistencia a tierra trabajan de la misma manera. Existen diferencias muy marcadas en el tipo de corriente empleada.

Para medir la resistividad del suelo se requiere de un telurómetro o *megger* de tierras de cuatro terminales con sus cuatro puntas enterradas la misma distancia, y espaciadas la misma longitud en línea recta.

Para la medición de resistividad del suelo en Limoncito utilizamos un telurómetro (ETO GP-1) que opera con frecuencia de 135 Hz y corriente de operación menos de 10 A. Como se ve en la figura 2.11.



Figura 2.11 Prueba de Resistividad del Terreno con Telurometro

Este aparato se basa en el método de compensación y funciona con un generador magneto de C.A., que lleva un transformador en serie de relación exacta, es decir, que la intensidad por el primario es siempre igual a la del secundario.

2.5.3 LUGAR FISICO

Las varillas electrodos de los instrumentos de medición pueden ser colocadas en todas direcciones como a una infinidad de distancias entre ellas. Aunque es el mismo punto de medida, las lecturas no son idénticas; a veces ni en terrenos vírgenes debido a la presencia de corrientes de agua o de capas de distinta resistividad. En los terrenos industriales es aún mayor la diferencia debido a la presencia de objetos metálicos enterrados como tuberías, varillas de construcción, rieles, canalizaciones eléctricas, etc.

Todos los resultados son aproximados y se requiere cuidado tanto con el equipo de prueba como con la selección de los puntos de referencia de la puesta a tierra.

2.6 DESCRIPCION DE METODOS MÁS COMUNES

Autores como (Moreno, Valencia, Cárdenas, & Villa, 2007), describen los métodos para la medición de las impedancias de puesta a tierra, a los siguientes:

2.6.1 METODO CAIDA DE POTENCIAL

Este es el método más empleado para la medición de la resistencia de sistemas de tierra. Este método también es conocido por algunos autores como:

- ✓ Método de las dos picas

- ✓ Método de los tres puntos ó el método del 62%

El medidor de uso común para la prueba de resistencia de tierra es el óhmetro de tierras que debe tener una calibración vigente.

El método consiste en hacer circular una corriente entre dos electrodos: uno llamado **E** que corresponde a la red de puesta a tierra y un segundo electrodo auxiliar denominado de corriente (**C**) y medir la caída de potencial mediante otro electrodo auxiliar denominado de potencial (**P**), ver la figura 2.12.

Conociendo el valor de tensión y el valor de corriente se podrá obtener el valor de la resistencia mediante ley de Ohm (V/I).

La resistencia de los electrodos auxiliares se desprecia, porque la resistencia del electrodo **C** no tiene determinación de la caída de potencial V . La corriente I se comporta como constante. La resistencia del electrodo **P**, hace parte de un circuito de alta impedancia y su efecto se puede despreciar.

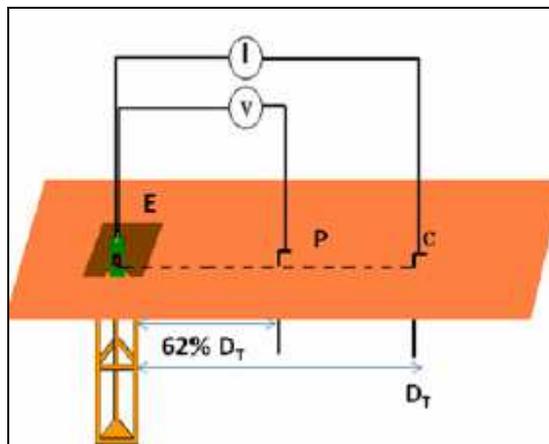


Figura 2.12 Método de caída de potencial para medir la resistividad

Los electrodos de potencial y corriente (**C** y **P**) deben clavarse a una profundidad de 50 a 60 cm aproximadamente, y deben estar firmemente clavados en el suelo y tener un buen contacto con tierra.

Con el fin de obtener una medida correcta, los tres electrodos deben estar bien alineados y la distancia entre **E** y **P** debe ser un 62% de la distancia entre **E** y **C** (Distancia Total, **DT**). Esta distancia está basada en la posición teóricamente correcta para medir la resistencia exacta del electrodo para un suelo de resistividad homogéneo.

La localización del electrodo **P** es muy importante para medir la resistencia del sistema de puesta a tierra. La localización debe ser libre de cualquier influencia del sistema de puesta a tierra bajo medida y del electrodo auxiliar de corriente. La distancia aconsejable entre el electrodo de puesta a tierra **E** y el de corriente **C** es de 20 metros. Para comprobar la exactitud de los resultados y asegurar que el electrodo bajo prueba está fuera del área de influencia del de corriente, se deberá cambiar de posición el electrodo de potencial **P**. La primer medición se hace con el electrodo auxiliar **P** a la distancia $0.62 \times DT$.

La medición se debe repetir a las distancias $0.52 \times DT$ y $0.72 \times DT$. Si los dos resultados obtenidos no difieren en más de un 10 % con respecto a $0.62 \times DT$, entonces el primer resultado será el correcto. En caso de una diferencia superior al 10 % se debe incrementar la distancia entre el electrodo auxiliar de corriente **C** y el electrodo de puesta a tierra bajo prueba **E**, repitiendo el procedimiento anterior hasta que el valor de resistencia medido se mantenga casi invariable.

Se recomienda repetir el proceso variando la posición de los electrodos auxiliares **C** y **P** con respecto al electrodo de tierra (180° o al menos 90°). El resultado final a considerar será el valor medio de los resultados obtenidos. Una excesiva resistencia de los electrodos auxiliares puede impedir que la corriente que debe pasar por el electrodo de corriente **C** pase por el mismo o que no se pueda medir el potencial a través del electrodo potencial **P**.

Muchos equipos de medición cuentan con indicadores que parpadean si la medida no es válida. Esto puede deberse a un mal contacto con el suelo o por elevada resistividad del mismo.

En estos casos, se recomienda compactar la tierra que rodea a los electrodos de modo que se eliminen capas de aire entre los mismos y la tierra. Si el problema es la resistividad, se puede mojar el área alrededor del electrodo, con lo que está disminuirá.

2.6.2 METODO DE TRIANGULACION O DE LOS 3 PUNTOS

Consiste en enterrar tres electrodos (R_x , R_y y R_z), se disponen en forma de triangulo, tal como se muestra en la figura 2.13, dos electrodos auxiliares son las resistencias R_y y R_z respectivamente. Estos dos electrodos se colocan de tal forma que conformen un triángulo con el electrodo en estudio.

Se miden las resistencias entre cada electrodo y los otros dos y se determina la resistencia del electrodo en estudio, R_x , mediante la siguiente fórmula:

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

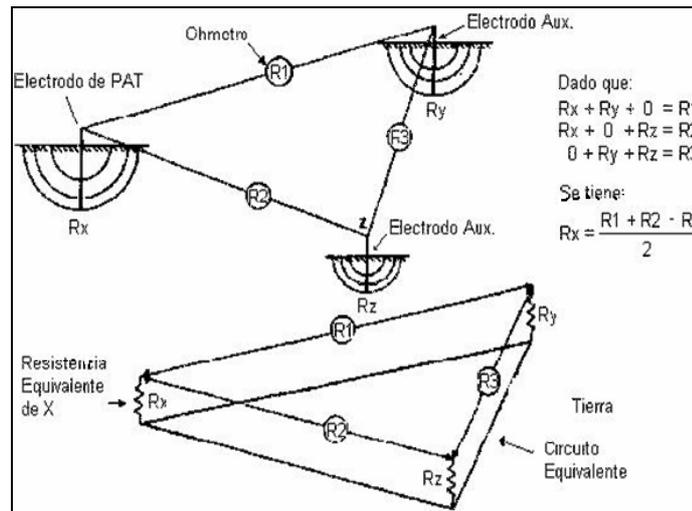


Figura 2.13 Método de las tres puntas

Donde R_1 , R_2 y R_3 quedan determinadas por las fórmulas indicadas en la figura 2.12. Este método es conveniente para medidas de resistencias de las bases de las torres, tierras aisladas con varilla o puesta a tierra de pequeñas instalaciones. No es conveniente para medidas de resistencia bajas como las de mallas de puesta a tierra de subestaciones grandes.

El principal problema de este método es que A y B pueden ser demasiado grandes comparadas con X (A y B no pueden superar a $5X$), resultando poco confiable el cálculo.

2.6.3 METODO DE LA RELACION

En este método la resistencia a medir, es comparada con una resistencia conocida, comúnmente usando la misma configuración del electrodo como en el método de la caída de potencial. Puesto que este es un método de comparación, las resistencias son independientes de la magnitud de corriente de prueba.

La resistencia en serie R de la tierra bajo prueba y una punta de prueba, se mide por medio de un puente el cual opera bajo el principio de balance a cero.

2.6.4 METODO DE WENNER

Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos colocados en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente.

En la figura 2.14 muestra la disposición esquemática de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores. La resistividad aparente (ρ) está dada por la siguiente expresión:

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

Donde:

a: es la distancia entre electrodos en m.

b: es la profundidad de enterrado de los electrodos en m

r: es la lectura de la resistencia en el telurómetro en Ω .

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

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot r \quad (\text{Ecuación 2})$$

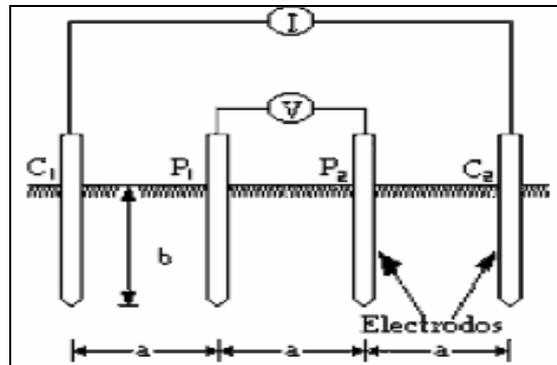


Figura 2.14 Método Wenner

Fuente: www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html

2.6.5 MÉTODO DE SCHLUMBERGER

El método de *Schlumberger* es una modificación del método de *Wenner*, también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial **a** se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos **na** de la separación base de los electrodos internos **a**. La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura

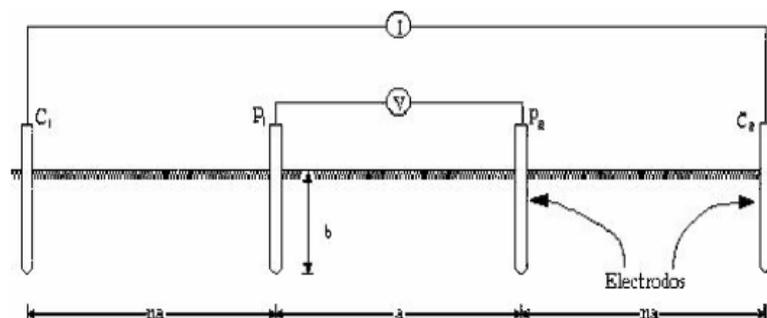


Figura 2.15 El método *Schlumberger*

La resistividad se calcula por:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (n + 1) \cdot na \quad (\text{Ecuación 3})$$

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

En resumen estos dos últimos métodos son los más efectivos el principio una corriente conocida desde el teluometro se genera para y esta es una corriente constante que es pasada a los 4 electrodos, la caída de potencial (una función de la resistencia) es entonces medida a través de los dos electrodos interiores, el teluometro tiene calibrado sus puntas y se lee directamente en ohmios.

2.6.5.1 METODOS INVOLUCRADOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE TIERRA

La resistencia a tierra de cualquier sistema de electrodos teóricamente puede calcularse de las formulas basadas en la formula general de la resistencia:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

En donde:

ρ es la resistividad de la tierra en ohm-cm

L es la longitud de la trayectoria de conducción

A es el área transversal.

Para entender el método de prueba a tierra, nos apoyaremos en el diagrama esquemático de la figura 2.16 (a). Tenga presente nuestras observaciones previas con referencias al diagrama de capas de tierra con la distancia cada vez mayor desde un

electrodo, las capas de tierra son de área de superficie mayor y por lo tanto de menor resistencia.

Ahora, presumamos que se tienen tres varillas enterradas en la tierra a una cierta distancia separadas y con un voltaje aplicado, como se muestra en la Figura 2.16 (a).

La corriente entre las varillas 1 y 2 se mide con un amperímetro, la diferencia de potencial (voltaje) entre las varillas 1 y 3 se mide con un voltímetro. Si la varilla 3 se ubica más cerca de la varilla 1 en varios puntos entre las varillas 1 y 2, preferiblemente en línea recta se puede obtener una serie de lecturas de voltaje.

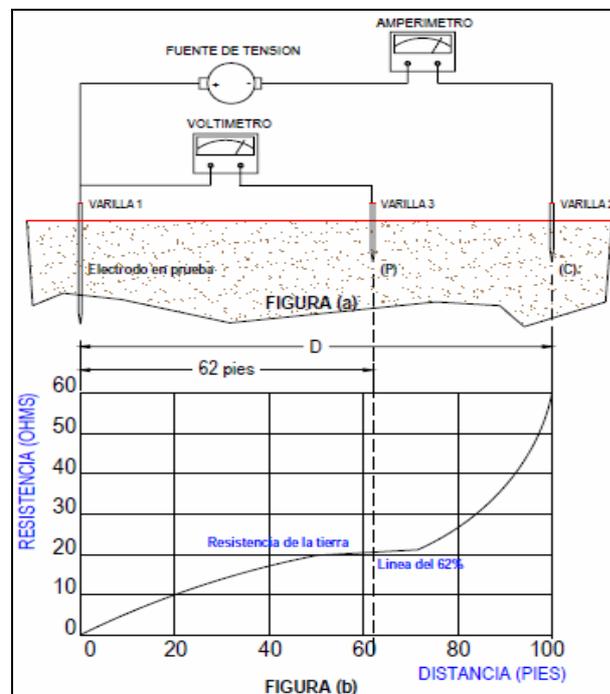


Figura 2.16 (a) (b) Principio de una prueba de resistencia de tierra

Por la ley de ohm $R=V/I$ se puede determinar la resistencia de la tierra en cualquier punto medido. Por ejemplo, si el voltaje medido V entre las varillas o electrodos 1 y 3 es 28 voltios y la corriente medida I es 2 amperios, la resistencia de la tierra R en ese punto sería 14 ohmios.

Una serie de valores de la resistencia puede graficarse contra la distancia para obtener una curva de comportamiento del suelo tal como se aprecia en la figura 2.15 (b). Obsérvese que a medida que la varilla 3 se mueve lejos de la varilla 1, los valores de la resistencia aumentan pero la cantidad de incremento se va disminuyendo cada vez mas hasta que se alcanza el punto donde el valor de incremento se vuelve tan pequeño que casi puede considerarse constante, unos 20 ohmios, tal como se puede ver en la figura 2.16 (b).

Las capas de tierra entre las varillas 1 y 3 tienen un área de superficie tan grande que añaden poco a la resistencia total. Más allá de este punto, a medida que la varilla 3 se acerca a las celdas de tierra de la varilla 2, la resistencia gradualmente se eleva. Cerca de la varilla 2, los valores suben de manera rápida.

Ahora, digamos que la varilla 1 es nuestro electrodo de tierra bajo prueba, de una curva de resistencia a tierra típica, como la Figura 2.16 (b), se puede con el grafico anterior analizar lo siguiente.

Denominemos a la varilla 2, punta C de corriente de referencia y a la varilla 3, punta P de referencia de potencial, la resistencia correcta se obtiene usualmente si P (varilla 3) se coloca a una distancia del centro del electrodo a tierra (varilla 1) cerca del 62% de la distancia entre el electrodo de tierra y C (la varilla 2).

Por ejemplo, en la figura 2.16 (a) la distancia D desde el electrodo de tierra a C es de 100 pies equivalente 33,3 metros. Tomando el 62% de esta distancia, obtenemos 62 pies. De la figura 2.16 (b), la resistencia para esta distancia es 20 ohmios. Esta es la resistencia medida del electrodo a tierra, de hecho la corriente puede existir en otras trayectorias entre los dos electrodos fijados, de tal manera que la varilla 3 pueda y

quizá deba ser localizada en otro punto fuera de la línea recta. Esta regla funciona bien para electrodos sencillos, tales como barras copperweld enterradas.

También funciona para un pequeño grupo de varillas, pero se debe conocer el verdadero centro eléctrico del sistema de electrodos con bastante precisión. También, la precisión de las lecturas es mejor si la resistividad de la tierra entre los tres electrodos es razonablemente constante.

Por último, C debe estar lo suficientemente lejos del sistema de electrodos a tierra de modo que el 62% de la distancia este fuera de la “Esfera de Influencia” del electrodo de tierra.

Básicamente, ahora conocemos el método de prueba de resistencia a tierra. El resto es refinamiento en métodos de prueba, el uso de electrodos o sistemas de electrodos y la información acerca de la resistividad de la tierra.

Tensión de paso.- Según las normativas de la IEEE 81, “la Tensión de Paso es la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un metro, en la dirección del gradiente de potencial máximo”.

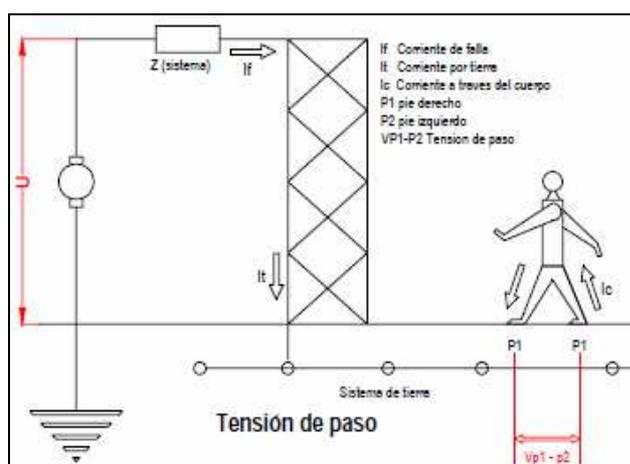


Figura 2.17 Tensión de paso

Cabe recordar que bajo circunstancias de falla, la circulación de una corriente (I), por una toma de tierra, sitúa a ésta a una tensión o voltaje (Vo), denominada de “puesta a tierra”, en relación con un punto lejano, de potencial cero, definiendo el cociente (Vo/I) la resistencia (R), de la toma de tierra, que tal como se verá más adelante, interviene como elemento de cálculo de la corriente que circula (de la cual depende el comportamiento de las protecciones) y de la propia tensión o voltaje (Vo).

El gradiente de potencial en una región coincide, prácticamente, con el valor más elevado que puede alcanzar una “tensión de paso”, que adquiere evidentemente, sus valores más elevados, en las proximidades inmediatas de los electrodos de tierra. La tensión de paso (Vp) es una fracción de la tensión de puesta a tierra (Vo).

Deberá considerarse que, cuando las dimensiones de la toma de tierra son pequeñas, respecto a su distancia (x), del lugar considerado, el gradiente de tensión o voltaje en ese lugar no depende más que de (x) y de (I).

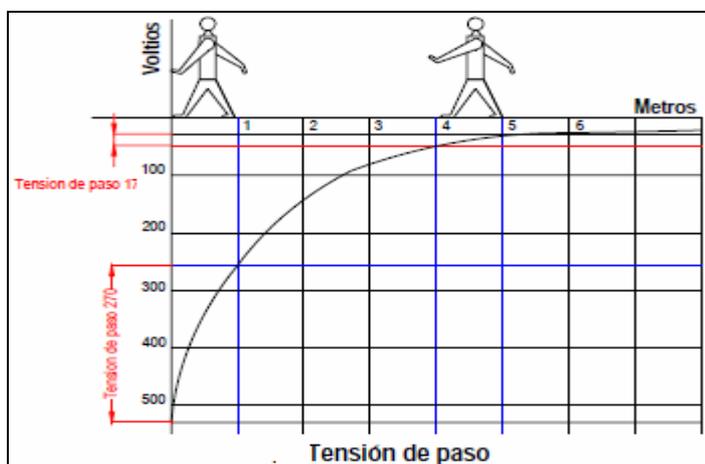


Figura 2.18 Grafico de voltaje o tensión de paso

En terreno Homogéneo, de resistividad (ρ) tiene por expresión:

$$Gx = 0.16 \rho \cdot l / X^2 \text{ (V/m)}$$

Por ejemplo, si circula una corriente de 5000 A por una toma de tierra en el terreno con una resistividad de 500 $\Omega \cdot m$, el gradiente a 50 m del centro de la puesta a tierra será igual a 160 V/m.

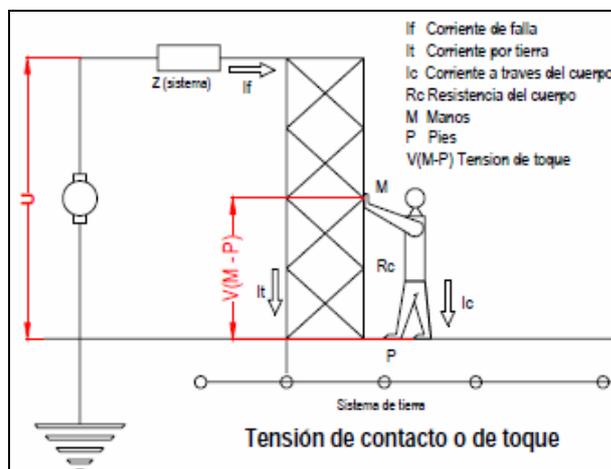


Figura 2.19 Voltaje o Tensión de contacto o de toque

La normativa IEEE 81: define la tensión de contacto o de toque como sigue; “La tensión de contacto es la diferencia de potencial entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia igual a la distancia horizontal máxima que pueda alcanzar una persona, o sea , aproximadamente, 1 metro”. Ver figura 2.19.

$$V_x = 0,16 \rho I/X \text{ ecuación 7}$$

2.6.5.2 EFECTOS FISIOLÓGICOS DE DESCARGA DE CORRIENTE POR EL CUERPO HUMANO

A) Umbral de sensibilidad.

El establecimiento de los límites a partir de los cuales la corriente eléctrica resulta peligrosa presenta notables dificultades. Puede dar idea de ello las dispersiones que aparecen en la determinación del umbral de sensibilidad sobre el paso de la corriente

eléctrica, definido como el valor de la intensidad mínima que percibe una persona al hacer circular una corriente de mano a mano.

Mientras que algunos detectan la corriente con intensidad de 0,5 mA, otros no empiezan a percibir su paso hasta que ésta no alcanza valores cercanos a los 2 mA.

B) Umbral de no soltar.

Este fenómeno tiene lugar por la excitación de nervios y músculos flexores bajo la acción de la corriente eléctrica, de forma que al quedar contraídos, inhabilitan al individuo a dejar el conductor, toda vez que los extensores son menos potentes que los flexores. Por estudios realizados se ha comprobado que el sexo es una variable influyente.

C) Muerte aparente.

Cuando el nivel de intensidad se eleva por encima del umbral de no soltar, se afectan grandes funciones fisiológicas, como la respiración y la circulación. En efecto para una intensidad del orden de 20 a 30 mA, la contracción muscular puede difundirse y alcanzar los músculos respiratorios (intercostales, pectorales y diafragma), originando una parada circulatoria (central o periférica), que ocasiona una asfixia con cianosis, para desembocar prontamente, en un estado de muerte aparente y en una parada circulatoria.

Si el accidentado se sustrae rápidamente de la corriente y se le proporciona una asistencia respiratoria, estos fenómenos son reversibles.

D) Fibrilación ventricular y su umbral.

Desgraciadamente, no sucede lo mismo cuando el estado de muerte aparente se debe a una fibrilación ventricular. Esta situación está caracterizada por una contracción

anárquica y asincrónica de cada una de las fibras del miocardio, lo que se traduce, velozmente, en un paro circulatorio, y una anóxia que alcanza primero al cerebro, y después al mismo corazón.

Existe una proporcionalidad (según estudios estadísticos realizados por Dalziel¹¹) entre el peso corporal, y la intensidad necesaria para la fibrilación situándose este umbral de 70 a 100 mA.

Este umbral, es variable con las condiciones del sujeto, con los parámetros del accidente (tensión y tipo de contacto), pero fundamentalmente con:

- Trayectoria seguida de la corriente.
- El valor de la resistencia del organismo.
- El tiempo de paso, y la amplitud de la corriente.
- Otro parámetro influyente a considerar, es la frecuencia de la corriente, los umbrales son netamente más elevados cuando se trata de corriente continua. Entre 10 y 1000 Hz, los umbrales son poco modificables, pero se elevan rápidamente cuando la frecuencia aumenta.

2.6.5.3 VALORES RECOMENDADOS POR NORMAS

El código eléctrico nacional y NEC establece que a un solo electrodo con resistencia a tierra mayor que 25 ohmios debe aumentarse un electrodo adicional.

La recomendación anterior es en letras resaltadas debido a su importancia, la resistencia a tierra puede variar con los cambios en el clima y la temperatura. Tales cambios pueden ser considerables.

¹¹ Profesor C.F. Dalziel, han establecido niveles de corte de corriente de los dispositivos de protección que evitan la muerte por electrocución de cero al ciento por ciento

Un electrodo de tierra que fue bueno o de baja resistencia cuando se instaló, puede dejar de serlo; para asegurarse, debe ser revisado periódicamente.

No podemos decirle cual debe ser el valor máximo de la resistencia a tierra. Para sistemas específicos, en lugares definidos, las especificaciones se ajustan frecuentemente.

Algunos requieren 5 ohmios como máximo; otros no aceptan más de 3 ohmios. En algunos casos, se requieren resistencias tan bajas como una fracción de ohm.

2.6.6 NATURALEZA DE UN ELECTRODO A TIERRA

La resistencia a la corriente a través de un electrodo de puesta tierra realmente tiene tres componentes como se puede observar en la figura 2.20.

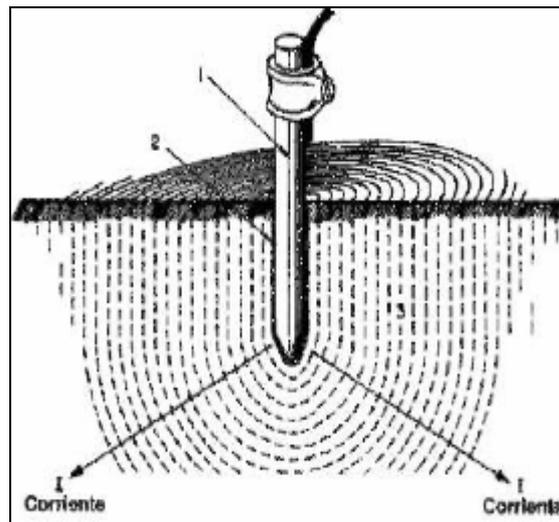


Figura 2.20 Componentes de la resistencia de tierra en un electrodo de tierra

1. Resistencia del electrodo por sí mismo y las conexiones a el.
2. Resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo colindante a el.
3. Resistencia de la tierra circundante.

2.6.7 RESISTENCIA DEL ELECTRODO

Varillas, tubos, masas de metal, estructuras y otros dispositivos son empleados comúnmente para conexiones a tierra. Estas normalmente son de tamaño o sección transversal suficiente que su resistencia es una parte despreciable de la resistencia total.

En el caso puntual de qué electrodos, se podría escoger para torres de telecomunicaciones, se conceptualiza, lo siguiente; Para torres de radiodifusión, se emplean cables en configuración estrella (radiales) para su puesta a tierra. Se ha encontrado más efectivo tener conectados los cables en un punto que tener múltiples anillos rodeando el sitio.

Esos cables radiales pueden ser menores a 30 m de largo si el suelo es adecuado. Los cables dispersan la energía de las descargas muy eficientemente. Como la corriente se divide en proporciones iguales en los cables radiales, entre más cables, menor corriente los circula.

Una baja corriente es más fácil de disipar y tendrá menor impacto en la elevación del potencial de tierra del sistema.

2.6.8 EL ELECTRODO O VARILLA PARA SISTEMA DE TIERRA

Entre los elementos que se deben usar para la instalación del sistema de tierra física destaca el electrodo, que por lo general es una pieza de metal, cobre la mayoría de las veces que debe ser resistente a la corrosión por las sales de la tierra, esta varilla, también se la denomina jabalina, es una pieza que va enterrada a la tierra a una profundidad variable, para servir como el elemento que tendrá como función disipar

la corriente a tierra en caso de alguna sobrecarga o falla de la instalación o incluso un rayo.

Para poder realizar una instalación de puesta a tierra es indispensable contar con un electrodo, aun que no se recomienda a todos, es necesario hacer referencia a ellos ya existen diversos tipos, a continuación la descripción de los más comunes.

En la figura 2.21 se observa dos electrodos de cobre que se utilizan como electrodos en sistemas de puesta a tierra.

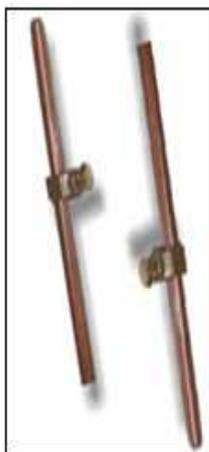


Figura 2.21 Electrodo para sistema de tierra

(Gormaz, 2007) Dice que los electrodos mantienen una esfera de influencia, una varilla de puesta a tierra introducida en la tierra en un suelo de resistividad uniforme irradiará corriente en todas las direcciones.

La “habilidad” del electrodo para irradiar corriente es dependiente directamente de la resistividad del suelo.

Esta es la esfera de influencia del electrodo en el ambiente, ver figura 2.22.

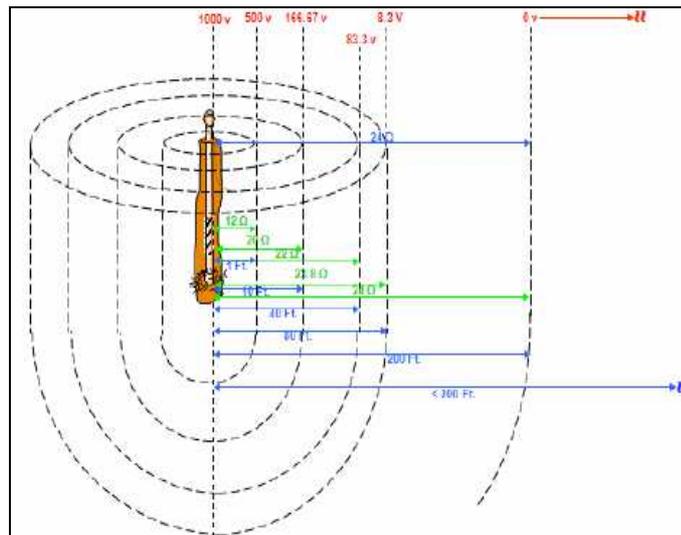


Figura 2.22 Resistividad de la tierra y “esfera” del electrodo

Cuanto más alta la resistividad, menos efectivo será el electrodo de puesta a tierra en disipar la corriente. Por lo tanto, las resistividades más altas resultarán en una resistencia mayor a la tierra, lo que es compensado con una estrategia de diseño de sistema de puesta a tierra.

2.7 ESFERAS DE INFLUENCIA DE UN ELECTRODO

Un electrodo de una longitud “L” tiene una esfera de influencia con un radio de aproximadamente igual a la longitud L. En sistemas de puesta a tierra, si dos electrodos están a un espacio muy cercano al otro, las esferas de influencia se superpondrán el uno con el otro, reduciendo o minimizando la habilidad del electrodo(s) para disipar la corriente.

Para aprovechar al máximo la esfera de influencia del electrodo, los electrodos deben ser ubicados a un mínimo de distancia de dos veces la longitud del electrodo.

2.7.1 LONGITUD DEL ELECTRODO VS. RESISTENCIA

La longitud de la varilla o electrodo es uno de los factores que determina la resistencia a tierra en un sistema de puesta a tierra.

Las varillas más largas, mayores de tres metros, tiene una esfera de influencia más grande y como resultado disipara más corriente que las varillas más cortas.

Sin embargo, a medida que la longitud de la varilla aumenta, la esfera de influencia alcanzará a una meseta infinita donde la resistencia a tierra no cambiará más.

Una vez que la meseta infinita es alcanzada a un longitud L, extender la longitud de la barra mas allá de la longitud tendrá un efecto pequeño en la disminución de resistencia del sistema de puesta a tierra.

2.7.2 RESISTENCIA VS. EL NÚMERO DE ELECTRODOS

La resistencia a tierra de un sistema de aterrizamiento depende del número de electrodos ubicados en el suelo.

La suma de electrodos reducirá la resistencia del sistema de tierra hasta que este también alcance una meseta infinita. La meseta es el resultado de superponer las esferas de influencia de los electrodos en el área de sistema de tierra.

El área del sistema de tierra también puede ser llamada contrapeso o red de tierra, la adición de electrodos cuando la meseta llega a su punto no hará ningún cambio significativo en la disminución de la resistencia a tierra del suelo.

Con el fin de minimizar aún más la resistencia a tierra en áreas graves, es necesario aumentar el área de sistema de tierra. Sin embargo el diseño del sistema de puesta a tierra tiene que ser ubicado en un espacio determinado.

2.7.3 MÉTODOS PARA REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

Existen distintos métodos para lograr la reducción de la resistencia eléctrica, aunque todos ellos presentan un punto de saturación que es conveniente conocer para evitar diseños costosos. Los métodos para la reducción son los siguientes:

- a) El aumento del número de electrodos en paralelo
 - b) El aumento de la longitud de los electrodos.
 - c) El aumento del diámetro de los electrodos
 - d) El aumento de la distancia entre ejes de los electrodos
 - e) El cambio del terreno existente por otro de menor resistividad.
 - f) El tratamiento químico electrolítico del terreno.
- a) El aumento del número de electrodos en paralelo.

La acción de aumentar el número de electrodos conectados en paralelo disminuye el valor de la "Resistencia Equivalente", pero esta reducción no es lineal puesto que la curva de reducción tiene tendencia asintótica a partir del 6° ó 7° electrodo y además existe el fenómeno de la resistencia reciproca.

Suponiendo un medio ideal en el que la resistividad del terreno homogéneo es de 600 Ω-m y se entierra un electrodo estándar de 2.4 m.

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi l}\right) * \ln\left(\frac{2l}{d}\right) \text{ Ecuación 4}$$

Donde: $(\ln 2l/d)/2\pi l$ se considera = K y se opera la fracción vale 0.49454 por lo tanto

$$R = 600 \times 0.49454 \approx 300 \Omega$$

Según la ecuación de sumatoria de resistencias en paralelo, al aumentar un electrodo (el segundo) obtendríamos aproximadamente 150 Ω al aumentar un tercero 100 y para llegar a 5 Ω tendríamos que enterrar o clavar 60 electrodos.

$$5\Omega = \frac{1}{1/X1 + 1/X2 + \dots + 1/X60} \text{ Ecuación 5}$$

b y c) El aumento de la longitud y el diámetro de los electrodos

La longitud del electrodo está en función a la resistividad y profundidad de las capas del terreno, obviamente se prefiere colocar el electrodo dentro de la capa de menor resistividad.

Por otro lado se debe indicar antes de proseguir con las demás variables que los resultados están ligados íntimamente a la resistividad del terreno donde se está trabajando, teniendo valores variables entre 200 a 600 Ω -m en condiciones normales, si aplicamos la fórmula de la resistencia: $R = (\rho/2\pi l) * \ln(2l/d)$ en el mejor de los casos conseguiremos una resistencia de $\approx 0.5\rho$ con un electrodo de dimensiones comunes y usuales; luego al aplicar la reducción recomendada se podrá llegar en el mejor de los casos a $\approx 0.1\rho$ lo cual en la práctica nos resulta un valor de aproximadamente 20 Ω para el caso más favorable; siendo este valor muy alto para sistemas de tierra usados en pararrayos sea para torres de telecomunicaciones, en centrales telefónicas etc.

(Celma, 2003) indica el aumento en el diámetro del electrodo tiene que ser mayúsculo para que su aporte reduzca significativamente la resistencia, debido a que en la fórmula de la resistencia el producto de la longitud x el diámetro del electrodo se multiplica por un logaritmo natural.

d) El aumento de la distancia entre ejes de los electrodos

Normalmente la distancia entre ejes de los electrodos debe ser $\geq 4L$ siendo L la longitud del electrodo; pero en los casos donde se requiera obtener resistencias eléctricas muy bajas y exista disponibilidad de área de terreno.

(Jeffus, 2009). Indica las distancias entre ejes de los electrodos, deberán ser lo máximo posible; pues a mayor distancia entre ejes de electrodos, mayor será la reducción de la resistencia a obtener; y ello por el fenómeno de la resistencia mutua entre electrodos

e) Cambio del Terreno

Los terrenos pueden ser cambiados en su totalidad, por terreno rico en sales naturales; cuando ellos son rocosos, pedregosos, calizas, granito, etc., que son terrenos de muy alta resistividad y pueden cambiarse parcialmente cuando el terreno está conformado por componentes de alta y baja resistividad; de modo que se supriman las partes de alta resistividad y se reemplacen por otros de baja resistividad; uno de estos procedimientos es la remoción total o parcial del terreno donde se desechan las piedras contenidas en el terreno. El cambio total parcial del terreno deberá ser lo suficiente para que el electrodo tenga un radio de buen terreno que sea de 0 a 0.50 m en todo su contorno así como en su fondo.

La resistencia crítica de un electrodo se encuentra en un radio contorno que va de 0 a 0.5 m de este, por lo que se tendrá sumo cuidado con las dimensiones de los pozos para los electrodos proyectados.

El porcentaje de reducción en estos casos es difícil de deducir, debido a los factores que intervienen, como son resistividad del terreno natural, resistividad del terreno de reemplazo total ó parcial, adherencia por la compactación y limpieza del electrodo,

pero daremos una idea porcentual más menos en función al tipo de terreno y al cambio total ó parcial.

Para lugares de alta resistividad donde se cambie el terreno de los pozos en forma total, el porcentaje puede estar entre 50 a 70 % de reducción de la resistencia eléctrica resultante.

Para terrenos de media resistividad donde se cambie el terreno de los pozos en forma parcial ó total, el porcentaje de reducción puede estar como sigue:

- ✓ Cambio parcial de 20 a 40 % de reducción de la resistencia eléctrica resultante.
- ✓ Cambio total de 40 a 60 % de reducción de la resistencia eléctrica resultante.

Para terrenos de baja resistividad donde se cambiará el terreno de los pozos en forma parcial, el porcentaje de reducción puede estar entre 20 a 40 % de la resistividad natural del terreno.

La saturación en este caso se dará si cambiamos mayor volumen de tierra que la indicada, los resultados serán casi los mismos y el costo será mucho mayor, lo cual no se justifica.

f) Tratamiento químico del suelo

El tratamiento químico del suelo surge como un medio de mejorar y disminuir la resistencia eléctrica del sistema puesta a tierra (SPAT) sin necesidad de utilizar gran cantidad de electrodos.

Para elegir el tratamiento químico de un SPAT se deben considerar los siguientes factores:

- Alto % de reducción inicial
- Facilidad para su aplicación

- Tiempo de vida útil (del tratamiento y de los elementos del SPAT)
- Facilidad en su reactivación
- Estabilidad (mantener la misma resistencia durante varios años)

Las sustancias que se usan para un eficiente tratamiento químico deben tener las siguientes características:

- Higroscopicidad
- Alta capacidad de Gelificación
- No ser corrosivas
- Alta conductividad eléctrica
- Químicamente estable en el suelo
- No ser tóxico
- Inocuo para la naturaleza

2.7.3.1 TIPOS DE TRATAMIENTO QUÍMICO

Existen diversos tipos de tratamiento químico para reducir la resistencia de un SPAT

los más usuales son:

✚ Cloruro de Sodio + Carbón vegetal

✚ Bentonita

✚ Thor-Gel¹²

2.8 DESCRIPCIÓN DE PRINCIPALES ELECTRODOS EN SISTEMAS PUESTA A TIERRA

¹² Es un gel de Hexaciano ferrato de cobre insoluble en agua, que permite el libre tránsito de electrones por su enrejado tridimensional y que se adhiere muy bien a los electrodos de cobre en las puestas a tierra.

Se describe algunos tipos de electrodos mayormente utilizados en sistemas de puesta a tierra.

a) Electrodo de varilla: De acuerdo con la norma (NEC 250-83c)¹³ los electrodos de varilla, no deben tener menos de 2.40 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2.40 m de su longitud esté en contacto con la tierra, están disponibles en diámetros de 15 a 20 mm (cobre sólido) y 9.5 a 20 mm (acero recubierto de cobre).

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión, es decir se debe golpearlos hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar. Si encontramos una roca a menos de 2.40 m, estos electrodos se pueden meter en diagonal hasta con un ángulo de 45° de la vertical, figura 2.23.

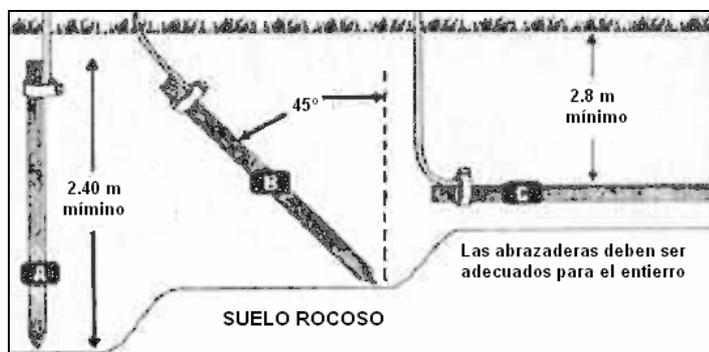


Figura 2.23 Electrodo de varilla en posiciones de norma

Fuente: Roberto Ruelas. www.ruelsa.com/notas/tierras/pe80.html

b) Electrodo de placa: Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0.2 m² de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o hierro deberán tener

¹³ *National Electrical Code* (USA), establece una longitud mínima para electrodos de barras y tuberías de 2,40 m y una sección transversal dependiendo del material y forma del electrodo, así: para barras de hierro o acero el diámetro mínimo será de 16 mm, para tubos o conductos el diámetro mínimo será de 19 mm.

por lo menos 6.4 mm de espesor, si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1.52 mm de espesor.

Para utilizar una placa como electrodo, se debe de considerar que su posición óptima es de forma vertical, instalados a unos 2 m de profundidad, figura 2.23 (a), al colocarla horizontalmente, el terreno debajo de ella se asentaría y separaría del mismo.

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

$$RT = 0.8 \left(\frac{\rho T}{P} \right) \text{ Ecuación 6}$$

Donde:

ρT es la resistividad del terreno en $\Omega - m$.

P es el perímetro de la placa en m.

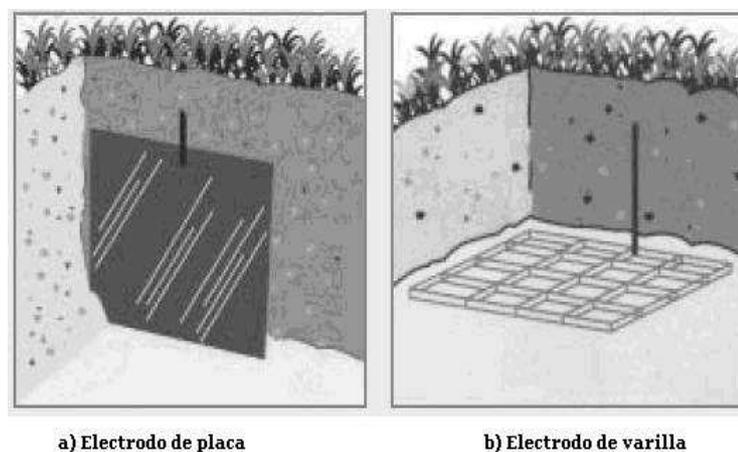


Figura 2.24 (a) (b) Electrodo de placa y varilla

Fuente: *A N Wallis and Co.*

c) Electrodo de cinta o cable: Si se elige un electrodo de cinta, se debe considerar que su sección debe ser de al menos 100 mm². Se conocen como dimensiones típicas

las de 30 x 4 mm y las de 40 x 5 mm., estas cintas son galvanizadas y se fabrican con estos fines, lo más usual, más práctico y duradero es el cable desnudo o cinta de cobre reconocidamente usado con efectividad y durabilidad. Estos electrodos para máxima efectividad, son instalados como únicos electrodos horizontales, colocados a 1 m de profundidad.

El uso de electrodos horizontales y extensos es típico en terrenos rocosos que dificultan las perforaciones profundas. En el caso de que los cables o cintas sirvan para unir a electrodos verticales formando una malla, deben enterrarse a profundidades de 0.8 m sobre el nivel del terreno (para evitar el voltaje de paso).

En torres grandes de telecomunicaciones, se puede aplicar los tubos electrolíticos.

2.8.1 EL TUBO ELECTROLITICO

Dentro de infraestructuras de torres auto soportadas, es buena aplicación escoger el método de los tubos electrolíticos. Los tubos electrolíticos son tubos de 100% de cobre (o de acero inoxidable) llenados con sales de tierra naturales.

El tubo está colocado en un relleno de bentonita¹⁴ para:

- 1) Proteger el cobre para décadas de vida útil;
- 2) Poner más contacto con el suelo.

Para ser efectivos, los tubos electrolíticos “activos” deben tener agujeros perforados cerca de la parte superior y en la parte inferior, los agujeros cerca de la parte superior actúan como “agujeros de ventilación” y permiten la entrada del aire.

¹⁴ Es un silicato de aluminio hidratado perteneciente al grupo de las arcillas esmécticas. Su estructura laminar, su capacidad de intercambio catiónico, su estabilidad térmica, entre otras propiedades, le confiere algunas ventajas las cuales son aprovechadas en un amplio campo de aplicación

Las sales higroscópicas¹⁵ en el tubo absorben la humedad del aire y forman una solución electrolítica.

Esta solución es entonces depositada en el suelo de material de relleno a través de los agujeros en la parte inferior creando una raíces electrolíticas. Las raíces electrolíticas producidas disminuyen la resistencia del terreno mediante la ionización del suelo circundante.

Esta solución “crea” raíces electrolíticas que disipan la corriente eléctrica. El tubo electrolítico activa nunca necesita ser recargada o rellenada con sales como en la mayoría de los sistemas químicos, esto permite que sea libre de mantenimiento.

Otra ventaja es la habilidad de ionizar las sales a una temperatura congelante de la humedad, permitiendo al sistema ser efectivo en condiciones de “congelamiento”.

Cuando estos tipos de sistemas son instalados, un pozo es excavado en el suelo, el tubo es luego ubicado en el pozo que se llena con bentonita a neutro, neutro pH arcilla.

¹⁵ Una sal higroscópica (cloruro de litio por ejemplo), es una molécula cristalina que tiene gran afinidad con la absorción de agua.

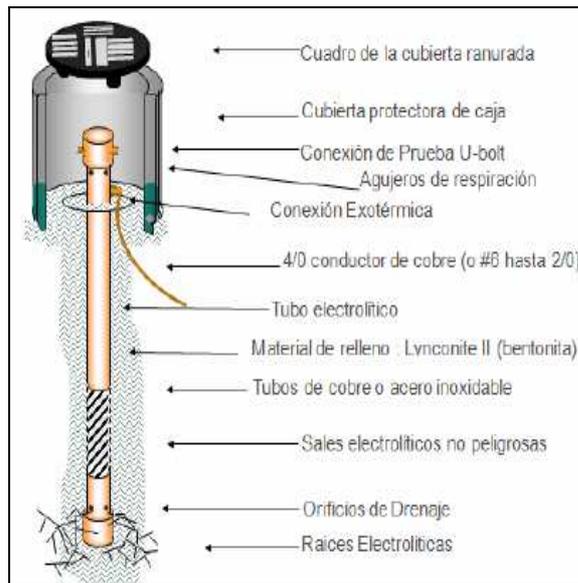


Figura 2.25 Características de electrodo electrolítico

Esto hace que los tubos electrolíticos sean confiables ya que están protegidas del ambiente de suelo corrosivo y no son tan propensos al ataque de corrosión, esto último en las varillas o electrodos es un problema.

Hay tres factores importantes de los tubos electrolíticos:

- 1) Su diámetro es mayor poniendo así más metal en contacto con el suelo;
- 2) Se llena el tubo con una sal. Tal sal absorba humedad del aire por su tapa superior y suelta raíces salinas por otros huecos inferiores ubicados más abajo;
- 3) El tubo está rodeado con Lynconite II¹⁶, una formulación de bentonita especial.

El Lynconite II tiene muy baja resistencia, además es "plástico" una vez mezclado con agua y rellena el pozo haciendo mayor contacto con el suelo. El término

¹⁶ Es usado como un relleno para rodear el electrodo electrolítico XIT durante su instalación. Está basado en una arcilla natural formada por la acción volcánica. Procesada especialmente para ser muy conductiva eléctricamente

"electrolítico" tiene que ver con la solución salina dentro del tubo que se filtra fuera del tubo.

La conexión del cable al tubo es hecha con un proceso de soldadura exotérmica¹⁷. Esto garantiza que el cable está conectado metalúrgicamente para siempre, no hay una conexión de menor resistencia. No hay una forma de oxidar la conexión.

2.8.2 CONEXIONES DE ELECTRODOS EN SISTEMA DE TIERRA

La conexión entre electrodos se realiza por medio de cobre desnudo, ayudando esto a reducir la impedancia global, las conexiones deben ser robustas mecánicamente, resistencia a la corrosión y baja resistividad.

Dichas conexiones son factores tomados en cuenta en el diseño. Se tomará en cuenta algunos métodos empleados para unir, método mecánico, bronceado, soldadura exotérmica y soldadura por fusión autógena.

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

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

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

c) Uniones exotérmicas: Se realizan mediante moldes de grafito, diseñado para ajustar el tipo específico de unión, usando una pistola con pedernal se enciende una

¹⁷ Es un método para hacer conexiones eléctricas de cobre a cobre o de cobre a acero sin requerir ninguna fuente exterior de calor o de energía.

mezcla de polvo de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre puro. Entre sus beneficios están: proporcionar una unión permanente de baja resistencia y resistente a la corrosión. No es permitida para conectar cobre y aluminio en las subestaciones.

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

En la siguiente figura se describe el proceso en imágenes de la soldadura exotérmica, la que se utilizará para unir los electrodos en el aterrizamiento de la torre de comunicaciones.

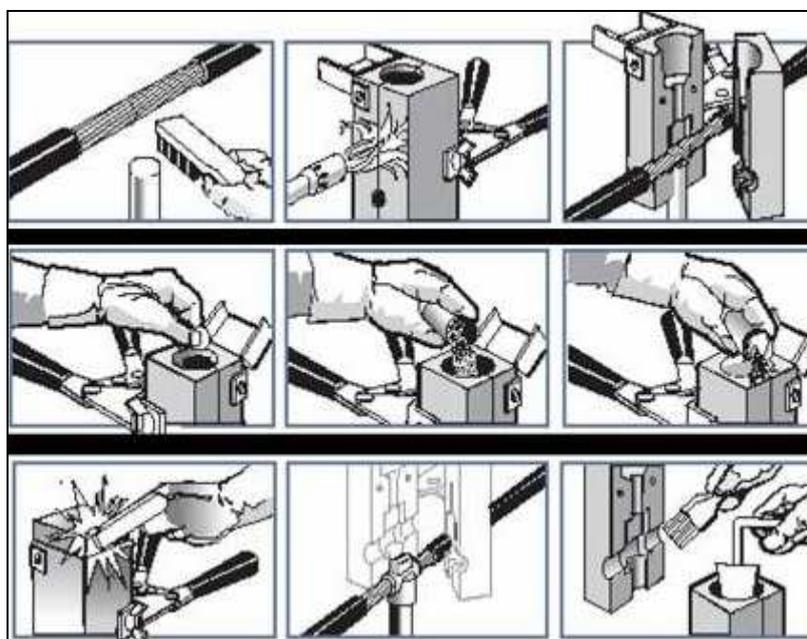


Figura 2.26 Proceso para realizar soldadura exotérmica

2.9 DESCRIPCIÓN DE TORRE VENTADA DE LA FINCA LIMONCITO

Las torres venteadas son mucho más económicas pero ocupan un área considerable ya que los vientos deben estar anclados a una distancia de la base que es por lo menos la tercera parte de la altura. Cuando se dispone del terreno, una torre venteada es ideal para cubrir todas las necesidades de comunicaciones, hay que indicar que en la finca Limoncito existe 2 sistemas de comunicaciones, radio de 2 vías y conexión a internet.

La torre tiene 9 “vientos” en total y 3 bases fundidas en concreto para soportar el anclaje para que los ángulos (aproximados 60°), vistos desde el centro de la torre, estén tan equiespaciados como sea posible.

Realizar una instalación de tierra adecuada no tiene por qué ser una tarea complicada se debe proveer un cortocircuito a tierra en caso de que caiga un rayo y proveer un circuito para que la energía estática excesiva sea disipada.

El primer objetivo cuando no hay personas alrededor de la torre, será la de proteger el equipo de la caída directa o casi directa de un rayo, mientras que el segundo provee un camino para disipar el exceso de energía debida a la acumulación de electricidad estática. La estática puede causar una degradación significativa de la calidad de la señal, particularmente en receptores sensibles.

Para establecer un cortocircuito a tierra, el instalador simplemente debe proveer un camino lo más corto posible desde la superficie conductora más alta (un pararrayos) hasta la tierra. Cuando un rayo impacta el pararrayos, la energía viaja por el camino más corto y por lo tanto va a eludir el equipamiento.

Este cable a tierra debe ser capaz de manejar corrientes grandes (se necesita un cable grueso, como un cable de cobre trenzado AWG¹⁸ #6). Para poner a tierra al equipamiento, se instala un pararrayos más arriba del equipo a proteger en una torre u otra estructura en nuestro proyecto si posee un pararrayo la torre de comunicaciones. Luego se utiliza un cable conductor grueso para conectar el pararrayos a algo que esté sólidamente conectado a tierra.

Las tuberías metálicas subterráneas pueden ser una muy buena tierra (dependiendo de su profundidad, la humedad, salinidad, cantidad de metal y contenido orgánico del suelo).

Existen dos formas muy sencillas de medir la eficiencia de la puesta a tierra:

1. La menos precisa es conectar un SAI (Sistema de alimentación ininterrumpible) de buena calidad o un multienchufe (regleta), que tenga un indicador de tierra (un LED - Diodo Emisor de Luz). Este LED es encendido por la energía que está siendo disipada por el circuito a tierra.

Una tierra efectiva disipa pequeñas cantidades de energía a la tierra. Algunas personas utilizan esto para robar o piratear un poco de energía eléctrica, ya que esta energía no activa el medidor o contador de energía eléctrica.

2. Se coloca un foco de pocos vatios (30 W) con su receptáculo, se conecta un cable a tierra y el segundo a la fase. Si la tierra está funcionando bien, el bombillo debería encenderse levemente.

La forma más sofisticada es medir la impedancia entre la fase y tierra. Si su tierra no es eficiente va a tener que enterrar una varilla (estaca) a mayor profundidad (donde el

¹⁸ (AWG - *American Wire Gauge*) Es calibre de alambres en norma americana, es una referencia de clasificación de diámetros de conductores eléctricos.

suelo es más húmedo, y tiene más materia orgánica y metales) o mejorar la conductividad de la tierra.

2.9.1 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Los rayos son enemigos comunes de las instalaciones inalámbricas, y deberían prevenirse tanto como sea posible. Generalmente existen dos formas en las que los rayos pueden causar daño a su equipo, con descargas directas o indirectas.

2.9.2 DESCARGAS DIRECTAS

Las torres de comunicaciones deberían estar equipadas con pararrayos puestos a tierra correctamente en la base de la torre. Existen adecuados pararrayos ionizados para soportar descargas directas, en teoría con los pararrayos se pueden salvar los equipos sensibles electrónicos, pero a veces es muy difícil salvar los equipos si es una gran descarga eléctrica (rayo) directa a la torre.

2.9.3 DESCARGAS INDIRECTAS

Las corrientes de inducción (descargas indirectas) debidas a la caída cercana de rayos, pueden causar daños en los equipos de radio ubicados en exteriores, eso puede prevenirse usando protectores ante fluctuaciones de corriente para proteger a los equipos vulnerables y seleccionando radios con una alta tensión nominal.

Sin embargo, los protectores de fluctuaciones no protegen la antena, sino solamente el radio. En el proyecto se conectará su respectivo pararrayo y su luz de baliza, la torre de Limoncito posee estos accesorios fundamentales. Ver esquema de la torre de Limoncito, figura 2.27.

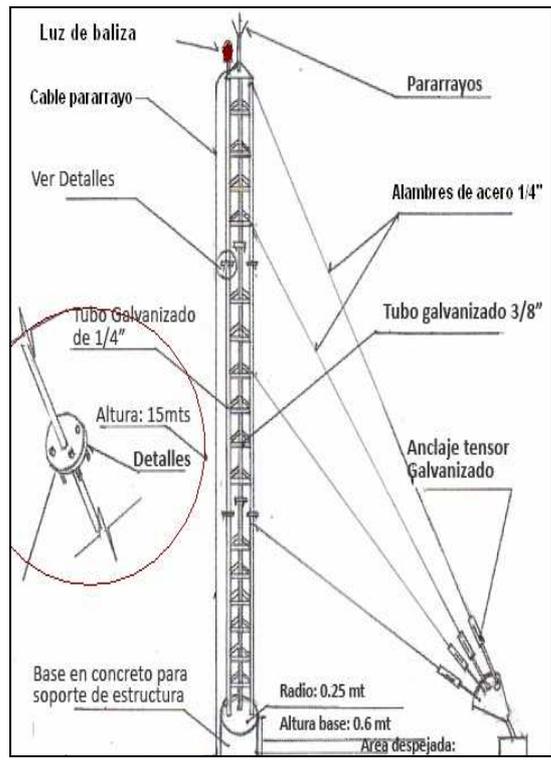


Figura 2.27 Pararrayo y luz de baliza en torre de comunicaciones

CAPITULO 3

REUBICACIÓN DE LA TORRE DE COMUNICACIONES EN LIMONCITO

La torre de comunicaciones en la finca Limoncito es del tipo dipolo ventada, esto quiere decir que es sostenida por “vientos” (alambres acerados) en que se la sujeta a anclajes. La altura de la torre es de 24 metros de altura, en ella están sostenidas antenas de los enlaces de internet y de radio a dos vías. Ver figura 3.1



Figura 3.1 Torre ventada de comunicaciones en Limoncito

3.1 INSPECCION DEL NUEVO SITIO

Se inspeccionó el lugar, para establecer el mejor sitio, es decir libre de obstáculos naturales y artificiales (construcciones altas) se tenía un sitio idóneo para reubicar la torre, este lugar es junto al cuarto donde existe una moledora para balanceados, el lugar daba las condiciones optimas, es una planicie que favorecía la reubicación ver figura 3.2, pero por un proyecto de la Transelectric¹⁹, se hizo conocer a la facultad técnica que debía pasar una línea de electricidad de 230 mil voltios por la finca Limoncito y según las normas eléctricas se debía considerar y respetar la franja de servidumbre.



Figura 3.2 Sitio escogido para reubicar torre de comunicaciones

¹⁹ Empresa Estatal, dedicada a la Transmisión de Energía Eléctrica a nivel de todo el País.

La franja de servidumbre, es la proyección sobre el suelo de la faja ocupada por los conductores más la distancia de seguridad; de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Energía y Minas, de conformidad con la legislación, códigos y normas técnicas vigentes en la fecha en que las líneas fueron construidas.

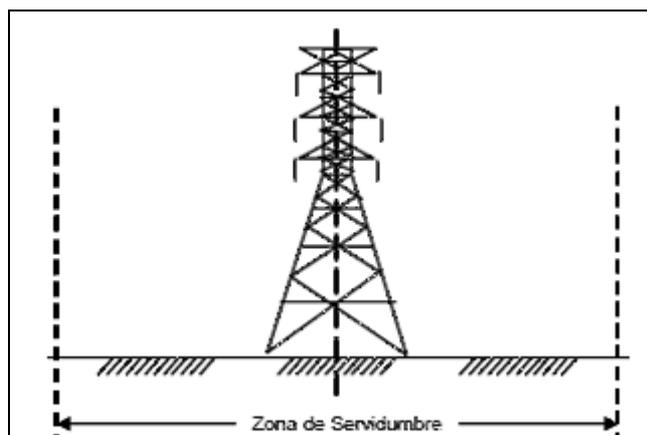


Figura 3.3 Ilustración de la franja de servidumbre

Esta norma contempla entre otras cosas lo siguientes especificaciones:

- Ocupación de la superficie y de los aires necesarios para el asentamiento y fijación de las torres o postes de sustentación de conductores eléctricos, así como de la faja de los aires o de subsuelo en la que se encuentren instalados dichos conductores.
- Delimitación de la zona de influencia del electroducto representada por la proyección sobre el suelo de la faja de ocupación de los conductores y las distancias de seguridad determinadas de acuerdo al Código Nacional de Electrificación. Dicha zona se determina de acuerdo a la Tensión Nominal de la línea. En el caso de las instalaciones de 230Kv de Transelectric, el ancho de la faja de servidumbre, es de 25 metros.

- Prohibición al dueño del predio sirviente de levantar en la zona de influencia, construcciones para vivienda o de otras clases, o realizar y mantener plantaciones cuyo desarrollo supere la distancia que debe mediar con la faja ocupada por los conductores, de conformidad con las disposiciones pertinentes del Código Nacional de Electrificación.

3.2 SITIO FINAL PARA REUBICAR TORRE DE COMUNICACIONES

Como se descartó el anterior sitio, el nuevo lugar que brindan las condiciones para reubicar la torre, esta a algo más de 130 metros de distancia de la torre, es más alto, no tiene obstáculos naturales (cerros) existe línea de vista con cerro azul (repetidora de enlaces de voz e internet). Ver figura 3.4 y 3.5 que muestran el lugar para reubicar la torre

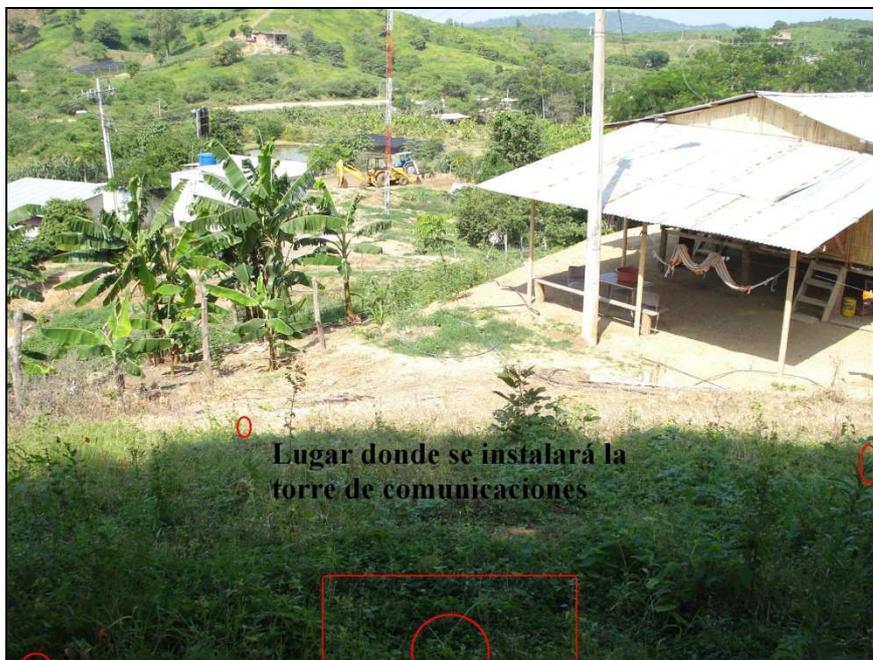


Figura 3.4 Sitio final para reubicar torre de comunicaciones



Figura 3.5 Vista de inclinación del terreno para la torre de comunicaciones

Respetando la franja de servidumbre se tiene esta opción, el suelo es arcilloso, se tiene una inclinación pero eso no será problema para reubicar la torre. Una vez experimentado el estudio del terreno para escoger un método de aterrizamiento para la torre de comunicaciones, se deberá desarmar y volver armar los segmentos de la torre venteada, el diseño y ejecución es otro proyecto de tesis que debe realizarse en base a este estudio propuesto.

3.2.1 DISEÑO DE TORRE VENDEADA

Utilizando software de análisis estructural para una torre de comunicaciones en Limoncito que soporte dos antenas y a futuro unas 4 antenas mas, que sea resistente a vientos de mas 100 kph. Se puede deducir que la torre puede ser auto soportada en el mejor de los caso o bien una torre venteada por economía.

Con el programa Tower.3.2 tenemos una ilustración estructural de la torre, se colocan las antenas se colocan los pesos, dimensiones etc. Y el programa calcula los diámetros de los perfiles y todo el material estructural que compone una torre auto soportada, ver figura 3.6

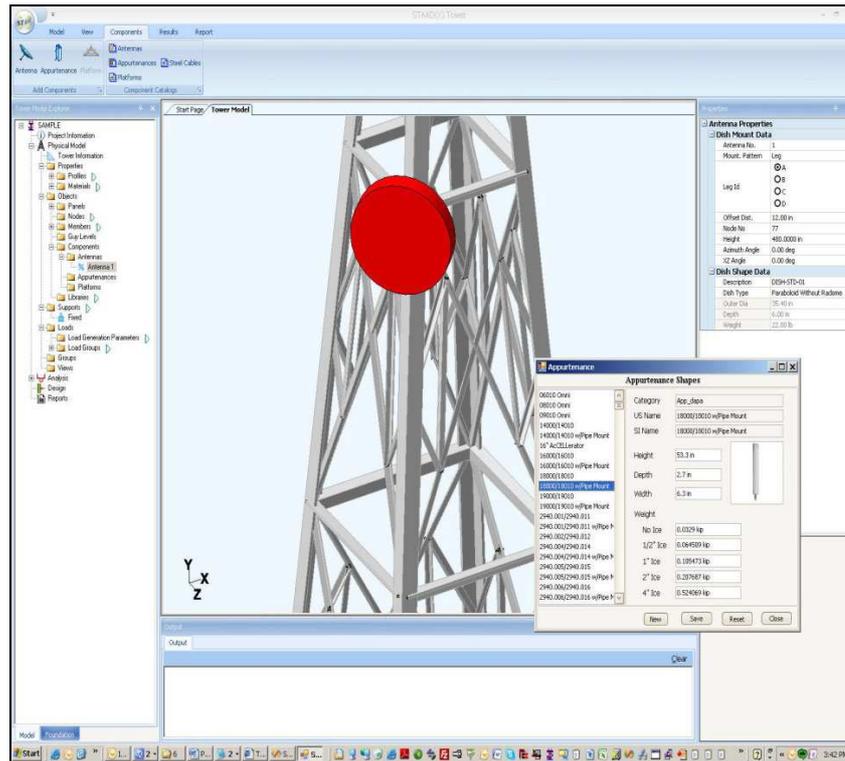


Figura 3.6 Software Tower 3.2 diseño torre auto soportada para Limoncito

También se hace un diseño de torre venteadada y este diseño se compara con la torre que existe actualmente y se verifica que se puede utilizar la misma torre. La torre en Limoncito es venteadada de forma triangular.

El plano de la torre venteadada se aprecia en la figura 3.7

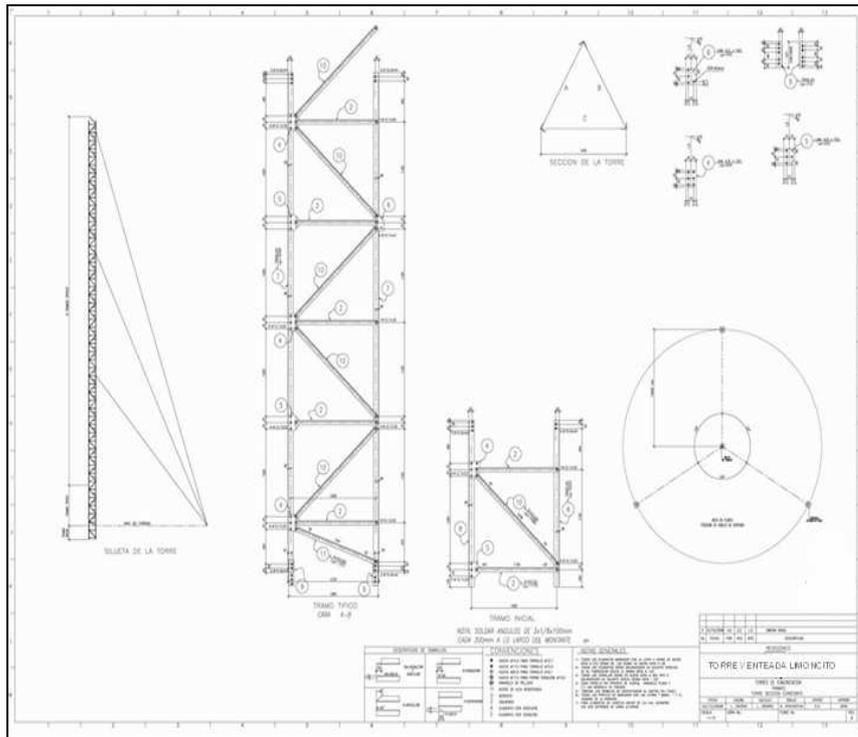


Figura 3.7 Plano de torre venteada para Limoncito

Con la comprobación de que se puede utilizar la torre que esta en el finca, se procede a desamblar sus partes o segmentos, como se conoce cada segmento es de 3 metros de alto. Posteriormente se debe armar o montar la torre venteada en el lugar escogido, para ello se debe conocer la resistividad del sitio, para implementar un óptimo sistema de tierra.

3.3 APLICACIÓN DEL METODO 4 ELECTRODOS

Este paso teóricamente se detallo en el capítulo anterior, para realizarlo se escogió 4 electrodos, en las figuras 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 se detalla de forma ilustrada el proceso del método de Wenner que se utilizo para medir la resistividad en el suelo de limoncito, en el sitio donde se proyecta reubicar la torre.



Figura 3.8 Los 4 electrodos para medición de método Wenner



Figura 3.9 Plantación de electrodos en sitio cercano a lugar de reubicación de la torre

En las dos figuras anteriores se escoge un lugar cercano, fue en la parte de atrás de la desgranadora de maíz, allí con se procedió a “plantar los 4 electrodos para luego conectar al teluometro y posterior medición.



Figura 3.10 Conexión al telurometro a los 4 electrodos plantados



Figura 3.11 La plantación de electrodos en sitio escogido para la torre

Una vez conectado los 4 electrodos al telurometro este registro medidas de aproximadamente $6, 2 \Omega$, para nuestro proyecto necesitábamos una resistividad de

alrededor de 8Ω y de esta forma se consigue un valor aceptable. Cabe indicar que se hicieron 5 veces la medición, y en ellas el promedio fue los $6.2\ \text{ohmios- metro}$.



Figura 3.12 Medición con método Wenner en suelo Limoncito igual a 6.19Ω

En el sitio donde ubicaríamos la torre también se procedió a medir la resistividad esa fue la 6 medición y el valor fue 6.22Ω



Figura 3.13 Medición de resistividad en sitio para torre de comunicaciones

3.4 MONTAJE DE TORRE DE COMUNICACIONES

Con la ayuda de personal recomendado por parte del director de tesis, personas que realizan el oficio de torreros (nombre singular, que se da a personas que trabajan en estructuras de torres etc.). se procedió a desamblar la torre y luego a volver a armar la torre, ver figura 3.14



Figura 3.14 Montaje de la torre de comunicaciones en Limoncito

Luego de forma parecida con los torristas se procede a armar la torre en el nuevo sitio, la torre es de 9 vientos sus anclajes cumplen las normas. En el caso de las torres venteadas, la tarea resulta sencilla para los torristas, pues se debe colocar una polea en la cima del mástil, así facilita su instalación. El mástil se asegura a la sección más baja ya colocada, mientras que las dos secciones o segmentos de la torre se acoplan

con una unión articulada (se deberá poner pernos y tuercas). Una cuerda pasada por la polea facilita el levantamiento de la siguiente sección. Luego de que esa sección esté vertical, sujétela a la sección más baja del mástil. Se aseguró y se tensó los cables (alambre acerado) de vientos cuidadosamente, deben tener todas las mismas tensiones.

Las torres venteadas se aseguran con vientos que se anclan en un conjunto de bases de concreto sobre la tierra. Una torre venteada consiste de varios tramos idénticos, generalmente de sección triangular (aproximadamente de 3m cada uno) que se apilan uno sobre el otro.



Figura 3.15 Anclajes que tensionan los vientos de la torre de comunicaciones

A diferencia de los monopolos, las torres venteadas no se van estrechando a medida que se sube, sino que cada sección tiene la misma anchura, ya que son los vientos o tirantes los que proporcionan la estabilidad y la resistencia al viento.

3.4.1 ESPESOR DE LOS VIENTOS

Los vientos o tirantes se deben elegir de acuerdo a la altura de la torre y a la velocidad esperada del viento en la zona.

Hay que tomar en cuenta que en la parte superior de las colinas, a menudo sitio escogido para colocar torres, la velocidad del viento siempre es mayor, sobre todo cuando están desprovistas de árboles. El caso de Limoncito se hizo para calcular velocidad de vientos a más 100 Km por hora. Así también se tomó en cuenta especificaciones como la carga de ruptura.

La carga de rotura es la carga final efectiva a la cual un cable rompe durante un ensayo de tracción en el banco de prueba.

En la práctica, para la elección de un cable se utilizan valores tabulados que indican lo que se llama la “Carga Mínima de Rotura”, en cuyo cálculo intervienen la resistencia específica del material, el tipo de alma, el tipo de construcción, la sección, etc. Aquí es importante tener en cuenta dos aspectos: las Cargas Mínimas de Rotura especificadas en tabla corresponden a valores de carga estática y en condiciones de tracción pura, la Carga Mínima de Rotura se aplica a un cable nuevo, sin uso.

Carga de Trabajo: Es la carga o peso que se debe aplicar sobre el cable en condiciones de trabajo con seguridad. Se abrevia C.T. (Carga de Trabajo). La carga de rotura es siempre mayor que la carga de trabajo.

La relación entre CMR (Carga Mínima de Rotura) y CT (Carga de Trabajo) se llama Factor de Seguridad (FS), el factor de seguridad en cable de acero es 5 a 1.

La tabla 3.1 muestra la CR para diferentes cables de acero trenzado de 7 hebras utilizados comúnmente para vientos. En nuestro caso la medida es de ¼ de pulgada.

Diámetro (pulgadas)	Diámetro (mm)	Carga de rotura (lb)	Carga de rotura (kg)
3/8"	9.5	15,400	6985
5/16"	7.9	11,200	5080
1/4"	6.5	6,600	2994
3/16"	4.8	3990	1810

Tabla 3.1 carga de rotura para diferentes cables de acero trenzado

3.4.2 TENSADO DE LOS VIENTOS

Es importante que los vientos sean tensados correctamente para que puedan ser efectivos. Para ello se utilizan tensores como el mostrado en la figura 3.15 para tensionar la torre en Limoncito, se utilizaron 9 tensores 3 por cada base de anclaje.



Figura 3.15 Tensores para los alambres acerados

3.4.3 FUNDICIONES DE BASE DE TORRE Y DE ANCLAJES

Las fundiciones de la base para las torres deben ser hechas de concreto armado, y el mismo material se empleará también para los bases de anclaje de las torres. Se

realizó la fundición con una semana de espera para que se endurezca totalmente, en la figura 3.16 se aprecia internamente una de las bases que tiene fundido un anclaje y con el se funde un tensor que obtendrá una fuerza (con tensores) de equipotencialidad con los otros alambres de acero. Ver la base fundida con anclajes instalados en la figura 3.17.

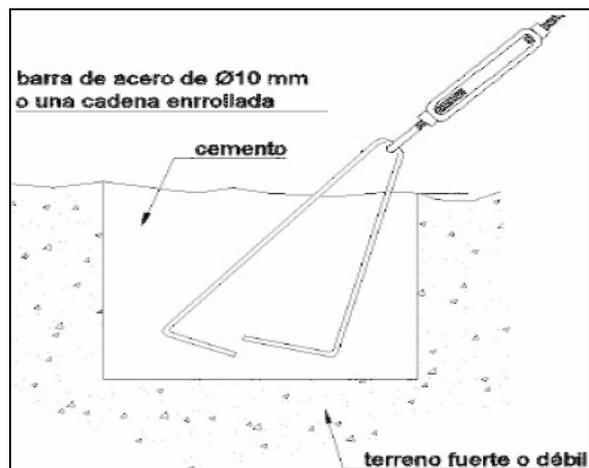


Figura 3.16 Base fundida para anclaje

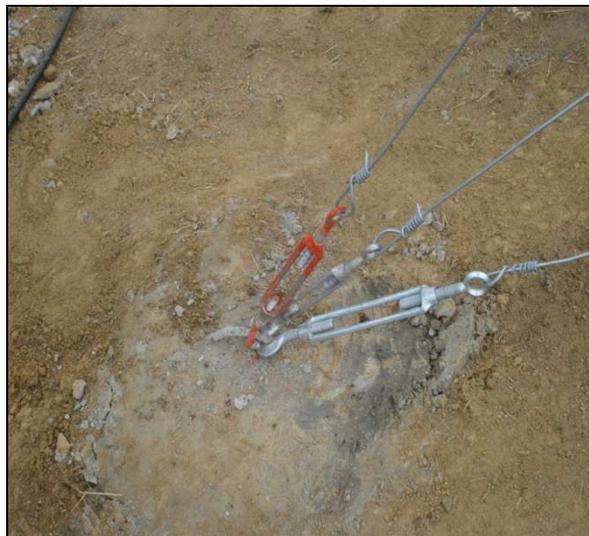


Figura 3.17 El anclaje y sus 3 tensores

La torre una vez armada con 6 segmentos alcanzará 18 metros y es que en el nuevo lugar se prescinde de dos segmentos ya que se gana una altura de más de 5 metros y si hay línea de vista con cerro azul, lugar del 2º repetidor de señal de internet. También por criterios competentes de técnicos de Transelectric, recomendaron que en caso de que la torre se cayera esto no afectara o tocaría las líneas de tensión de 230 KV.

Las bases de anclaje o también denominado sostenes de los vientos en el suelo deben estar separados como para hacer suficiente base. (Organización Network the World, 2007) aconseja una buena norma consiste en tratar de que los vientos formen un ángulo no mayor de 60° con la horizontal, ni tampoco es necesario que sea menor de 45° pues las riendas irían a parar demasiado lejos.

Para un ángulo de 45° la distancia entre la base de la torre y las bases de anclaje de los vientos es igual a la altura de la torre; en el caso nuestro es 18 m. Para un ángulo de 60° la distancia entre torre y bases de anclaje es igual a la altura de la torre multiplicada por la tangente de 60°, es decir, 0,5774. Tenemos, pues: $0,5774 \times 18 = 10,3932$ m que es la distancia mínima de base.

Una vez fijada la torre, con sus anclajes y sostenida por los vientos correctos, el paso siguiente es instalar el sistema de tierra adecuado para la torre con ello se protegerá a las personas que estén cerca a la torre y protegerá a los equipo y antenas de los enlaces que existen en Limoncito.

La puesta a tierra es crítica por muchas razones. Lo que hay que asegurar y cuidar es la seguridad humana, (de la Vega, 2002) dice, un sistema de puesta a tierra con una resistencia baja mantendrá el equipo a un potencial muy cerca a cero de la tierra,

reduciendo cualquier diferencia de voltaje entre equipos y “tierra”. Esto prevendrá un accidente o fatalidad durante el contacto humano.

La puesta a tierra tiene la intención de proteger el equipo de sobre voltaje y transitorios, junto con dispositivos de Supresores de Picos Transitorios de sobretensión (SPT). El daño al equipo sensitivo de telecomunicaciones causado por rayos, etc., puede resultar costoso en daños y el tiempo de inactividad de la comunicación en el sitio.



Figura 3.18 torre de comunicaciones instalada

La figura 3.18 y 3.19, muestran la culminación del tercer objetivo de la tesis, la torre de comunicaciones esta armada y asegurada se espera que pronto se construya su respectiva caseta para tener en un solo lugar los equipos y sistemas de alimentación de los sistemas de comunicación de voy y de internet.



Figura 3.19 Vista de la torre reubicada en la finca Limoncito

Una vez calculado la resistividad del terreno se procede a instalar un sistema de 3 electrodos o picas para aterrizarla torre, tendrá forma de red rodeará la torre en radio de aproximadamente 1.5 metros y formará un triangulo con los 3 electrodos de cobre

de 2,40 metros de longitud, tendrá uno en cada lado, será acoplado a la red de tierra con soldadura exotérmica.

3.5 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA TIERRA PARA LA TORRE DE COMUNICACIONES

Los objetivos principales de un sistema de puesta a tierra son las de proveer seguridad al personal y protección de equipo mediante proporcionar un trayecto de baja resistencia para disipar de manera segura cualquier carga o potencial no deseado, y un “punto de referencia” aproximadamente igual al potencial de la tierra para equipo sensitivos como los de telecomunicaciones.

Para ser efectivo, un sistema de puesta a tierra debe ser estable y confiable en todas las condiciones ambientales adversas, debe ser libre de mantenimiento, y tener una esperanza de vida larga sin costos recurrentes.



Figura 3.20 Instalación de red de alambre con electrodos para sistema de tierra

Para unir los 3 electrodos a la red se aplicó el proceso de la soldadura exotérmica es un método de hacer conexiones eléctricas de cobre a cobre o de cobre a acero sin requerir ninguna fuente exterior de calor o de energía.

En este proceso, se enciende el polvo granular metálico en un molde de alta temperatura. Este proceso de ignición de las partículas (reacción exotérmica) produce una temperatura superior a 1.400 grados centígrados y en consecuencia la liberación de humo localizado.

El metal líquido de cobre fluye en la cavidad de la soldadura, llenando cualquier espacio disponible. Puesta en marcha la ignición el proceso se completa en torno de 30 segundos. La soldadura deberá entonces enfriar y solidificar. Se retira el molde y estará listo para la siguiente soldadura.

Las conexiones de soldadura exotérmica producen una unión permanente (o conexión) superior en funcionamiento comparado con cualquier conector mecánico o conector tipo presión superficie-con-superficie. Conexiones de soldadura exotérmicas no liberalizarán ni aumentarán en resistencia sobre la vida de la instalación. La figura 3.21 y 3.22, se observa el proceso soldado exotérmico.



Figura 3.21 Proceso de soldadura exotérmica



Figura 3.22 Soldado exotérmico del anillo con electrodo

Según lo recomendado por las regulaciones del IEC²⁰ y del IEEE²¹, todos los sistemas de conexiones de tierra deberán hacerse con soldadura exotérmica.

3.6 CONDUCTOR O CABLE UTILIZADO EN EL PROYECTO

El conductor de las varillas o electrodos para el sistema de puesta a tierra del proyecto puede llevarse sin ningún empalme y es dimensionado según el mayor calibre requerido para todas las varillas.

Este cable es de 2/0 AWG de cobre y fue soldado exotérmicamente para poder asegurar su contacto y continuidad en el sistema de conexión.

Se procuró usar un cable desnudo para que todas las partes metálicas de la instalación queden conectadas a tierra.

²⁰ La Comisión Electrotécnica Internacional (*IEC, International Electrotechnical Commission*) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. muchas normas se desarrollan conjuntamente con la ISO (normas ISO/IEC).

²¹ Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, es una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización de normas en electricidad, electrónica, computación y afines.

3.6.1 CONECTORES DE PUESTA A TIERRA DEL PROYECTO

Los conectores de los conductores de la puesta a tierra con las varillas fueron del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas y otros medios aprobados, puesto que no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.).



Figura 3.23 Conector de Puesta a Tierra

Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben ser compatibles con los materiales de los conductores y con las varillas de puesta a tierra, porque deben ser las apropiadas cuando vayan a ser enterradas.

3.6.2 INSTALACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA

La instalación de puesta a tierra se compone esencialmente de varillas de cobre, que son los elementos que están en íntimo contacto con el suelo (enterrados) y de conductores, utilizados para enlazar a las varillas entre sí y a éstos al rack de equipos (caseta de equipos) y demás instalaciones expuestas a corrientes nocivas, manteniendo al mismo tiempo, una superficie equipotencial a su alrededor.

La figura 3.24 muestra un esquema del método implementado de tierra para la torre de comunicaciones de Limoncito.

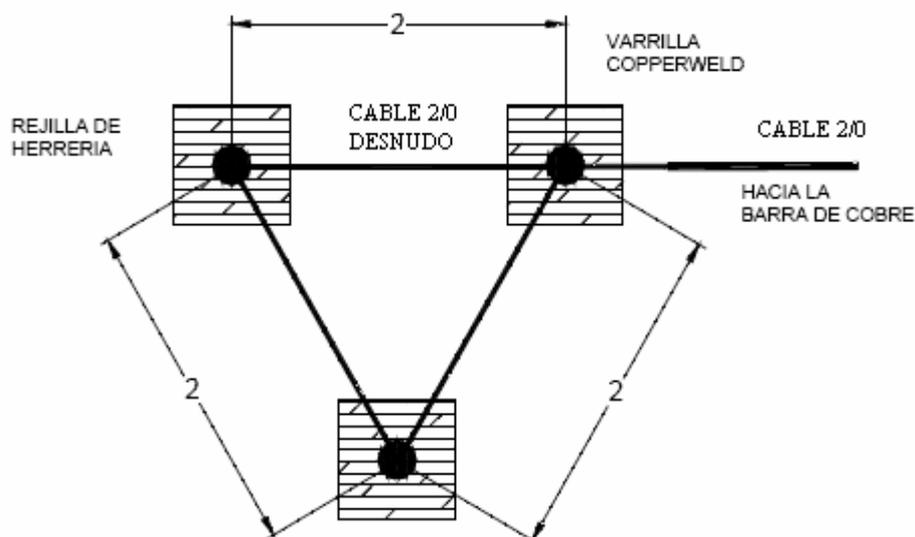


Figura 3.24 Configuración de la conexión de varillas de puesta a tierra

Una vez instalado la red, o anillo así también puede llamarse, se debe conectar a un cable de calibre no mayor al diámetro 6 AWG en cobre, de acuerdo con la tabla 250-94 de la NOM (norma mexicana para aterrizamiento y conductores eléctricos). En nuestro caso es de 6 AWG el conductor que se suelda al sistema de tierra.

Cuando se concluye con el aterrizaje de la torre se procede a conectar en ella, la luz de baliza y pararrayo parres, la conexión de las antenas de los sistemas que funcionan allí (radio e internet). Ver figura 3.25. Hay que indicar que este proyecto estratégico para los intereses educativos y tecnológicos de la Facultad Técnica se complementa con el diseño y construcción de la caseta de equipos.



Figura 3.25 Conexión de pararrayo, luz de baliza y antenas

De esta forma se cumple el último objetivo de este proyecto de tesis, implementar el aterrizamiento con 3 electrodos para la torre de comunicaciones de Limoncito.

CONCLUSIONES

Al realizar la investigación y comparar las diferentes torres usadas en Ecuador en la telefonía celular (claro y movistar) se pudo determinar que se implementan torres monopolos y auto soportadas triangulares, Una torre auto soportada (torre libre) se construye sin los tirantes de alambre (vientos), estas tienen una huella más grande que las monopolos, pero todavía requieren un área mucho más pequeña que las torres venteadas.

La torre de Limoncito queda instalada en el sector de la colina norte de la finca y alcanza ahora una altura de 18 metros de altura se seleccionó esa área por motivo que en un futuro redes de alta tensión pasaran cerca de la finca y por normas técnicas ningún equipo de telecomunicaciones puede estar a menos de 18 metros de distancia de redes de alta tensión.

Los cables de viento (tensores) todos tienen la misma tensión. Los puntos de anclaje y sus ángulos, vistos desde el centro de la torre, están espaciados a 60 grados.

El suelo de Limoncito es arcilloso y húmedo su temperatura es de 25° centígrados y las mediciones con el telurómetro dio como resultado 6.20 Ω . Que es una resistividad idónea para enterrar una sola varilla de cobre de 2,40 metros para garantizar el aterrizaje de descargas eléctricas y protecciones de sobre voltaje en equipos y descargar posibles rayos

La resistividad de la malla medido fue de 6.22 ohmios, que es un valor optimo para garantizar el aterrizaje de descargas eléctricas y protecciones de sobre voltaje en equipos de la caseta en Limoncito.

Se proporcionar un medio de aterrizamiento de tipo de malla para disipar la corriente eléctrica en la tierra bajo condiciones normales o de corto circuito, sin exceder ningún límite operacional de los equipos o suspender la continuidad del servicio.

RECOMENDACIONES

Delegar la responsabilidad de supervisar las comunicaciones en la finca Limoncito a un ingeniero en telecomunicaciones.

Dar periódico mantenimiento a la torre de comunicaciones como al sistema de tierra, revisar si existe corrosión en sus conexiones al electrodo enterrado para descargas eléctricas.

Pintar la torre por lo menos cada 3 años, verificar que sus templadores o tensores no estén deteriorados, limpiar de maleza o plantas trepadoras la torre y verificar que los vientos estén enlazados en sus bases de anclajes.

Que el cuarto de equipos se construya cerca a la torre para así disminuir las pérdidas por atenuación en el cable de red etc.

Que tenga acceso personal autorizado, y evitar pérdidas o manipulación indebida de los equipos a instalarse en el rak.

Que la conexión de internet llegue al rak del cuarto y que se distribuya inalámbricamente hasta un switch en el aula donde se instale una computadora, pues la distancia desde la torre hasta el aula es más de 130 metros.

BIBLIOGRAFIA

1. Celma, J. (2003). *La deformación y la resistencia del suelo*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
2. de la Vega, M. (2002). *Problemas de ingeniería de puesta a tierra*. Mexico: Limusa.
3. Gormaz, I. (2007). *Técnicas y procesos en las instalaciones singulares en los edificios*. Madrid: Paraninfo.
4. Jeffus, L. (2009). *SOLDADURA. Principios y Aplicaciones*. Madrid: Paraninfo.
5. Moreno, G., Valencia, J., Cárdenas, C., & Villa, W. (2007). *Fundamentos e ingeniería de las puestas a tierra: Respuestas ante fallas electricas y rayos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
6. NetworktheWorld.org. (2007). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo: Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo*. Londres: Limehouse Book Sprint Team.

REFERENCIAS EN LA WEB:

<http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/LASE/CAP.16.pdf>

- Capítulo IV Experimentación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4427/13/CAPITULO_4.pdf

- Capitulo III Metodología de Prueba, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4427/12/CAPITULO_3.pdf

- Normas de Montajes Complementarios, Medida de la Resistencia de Puesta a Tierra, EEPP de Medellín, RA6-015.

http://www.epm.com.co/epm/institucional/documents/RA6-015MEDIDADERESISTENCIA_V3.pdf

<http://www.internationaltrading.com.mx/normas.htm>

OTRAS REFERENCIAS:

- NOM-022-STPS-1999.
- NMX-J-549-ANCE-2005.
- IEEE. 142. (1991). Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IEEE. 81. (1983). Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Capítulo 16 Red de Tierras, Gerencia de Distribución, Comisión Federal de Electricidad