

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN Y MEJORAS DE LA PUESTA A TIERRA Y
PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN EL CAMPAMENTO DE
LA COMPAÑÍA MINERA SAN SIMÓN

Henry Vergaray Lozano
Ingeniero Mecánico Electricista

Lima 2012

Dedicatoria:

Dedico la presente tesis a los seres que más amo en este mundo:

A mi padre que desde el cielo se que está orgulloso de su hijo por este avance.

A mi madre por su impaciencia justificada y por su apoyo en todo.

A María del Rosario, mi esposa, esa genial gran compañera por su paciencia, comprensión y apoyo insustituible y a mis hijos, Camila Doménica y Thiago Enrique, por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor, Es imposible imaginarme una sin estos seres maravillosos.

TABLA DE CONTENIDOS

Prólogo	1
CAPÍTULO 1	4
INTRODUCCIÓN	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Objetivo General	5
1.3 Objetivos Específicos	5
1.4 Problemática	6
CAPÍTULO 2	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Fenómeno del Rayo	8
2.1.1 Proceso del Rayo	8
2.2 Descripción y parámetros de registro para diseño	15
2.3 Protección Exterior	22
2.3.1 Sistemas de Captación	23
2.3.1.1 Método de la esfera rodante	24
2.3.1.2 Método de ángulo de protección	29
2.3.1.3 Método del enmallado	36
2.3.2 Sistemas de conductores bajantes	42
2.3.2.1 Construcción	44
2.3.3 Sistemas de Puesta a Tierra	45
2.3.3.1 Resistividad aparente y estratificación del terreno	46
2.3.3.2 Requisitos mínimos	47
2.3.3.3 Funciones	47
2.4 Protección Interior	49
2.4.1 DPS	49
2.5 Sistemas Equipotenciales	50
2.5.1 Dispositivos contra sobretensiones (DPS)	51
2.5.2 Aislamiento eléctrico de los sistemas de protección	51
CAPÍTULO 3	53
DISEÑOS DE PUESTA A TIERRA	53
3.1 Consideraciones de diseño	53
3.1.1 Consideraciones Generales de Modelamiento	54
3.2 Diseño del Sistema de Apantallamiento	55
3.2.1 Apantallamientos	56
3.2.2 Barrajes y Kit de tierras	57
3.2.3 Vientos de la Torre	59
3.2.4 Cercos Metálicos	60
3.3 Diseño del Sistema de Puesta a Tierra	61
3.4 Diseño del Sistema de Protección Eléctrica	64
3.4.1 Subestación tipo	64
3.4.2 Protección interior	67
3.4.3 Conexiones a tierra y equipotencialización interior	68
3.4.4 Barrajes de tierra interior	71
3.4.5 Filtros y protecciones	72
3.4.6 Kit de tierras interior	75
CAPÍTULO 4	76
TRABAJO DE CAMPO	76

4.1 Resultados de Resistividad	76
4.2 Consideraciones de Modelamiento	79
4.3 Diagnóstico	82
4.4 Propuestas Generales	87
CAPÍTULO 5	91
MEJORAS DE LA PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA RAYOS	91
5.1 Zona de oficinas generales	91
5.1.1 Subestación N°2	98
5.2 Sub Estación N°1	106
5.3 Planta interna y Externa	114
5.4 Pararayos Laboratorio Químico	116
5.5 Laboratorio y Tanque de petróleo	118
5.6 Polvorín	118
5.7 Escalerilla	120
5.8 Escalerilla Pararayos	120
5.9 Pararayos San Martín	122
5.10 Subestación N°3 La Villa	124
5.11 Cerro Espalda de la Villa	131
5.12 Cerro Urugalda	133
5.13 Poste 0072904 De La Línea	135
5.14 Pararayos De La Línea	135
5.15 Punto de Salida De La Línea en COMARSA	135
5.16 Cerro Carbón	136
CAPÍTULO 6	137
IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEJORAS	137
6.1 Resistividad aparente del terreno	137
6.2 Características del suelo artificial Favigel	137
6.3 Detalle de la obra ejecutada	139
6.4 Resultados obtenidos en la Subestación N°1	140
6.5 Resultados obtenidos en la Sub N°2 y oficinas generales	142
6.6 Resultados obtenidos en la Sub N°3 la Villa	144
6.7 Resultados obtenidos en el Poste 0072904	146
6.8 Resultados obtenidos en planta externa	147
CONCLUSIONES	148
RECOMENDACIONES	151
BIBLIOGRAFÍA	154
APÉNDICE 1 JUSTIFICACIONES DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS	156
APÉNDICE 2 MEDIDAS DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE UN ELECTRODO Y DE LA RESISTIVIDAD DE UN TERRENO	167
APÉNDICE 3 PARARAYOS FRANKLIN MODELO BLUNT	170
APÉNDICE 4 DEFINICIONES	171
APÉNDICE 5 LISTA DE ABREVIATURAS	177
APÉNDICE 6 SIMBOLOGÍA	178
APÉNDICE 7 PARARAYOS PDC Y RADIOACTIVOS	179
APÉNDICE 8 CATÁLOGO DE EQUIPOS	181

Prólogo

La presente tesis es el término de una etapa muy importante pero también del inicio y continuidad de muchas más; nos damos cuenta de que algo termina cuando algunas otras actividades ya estamos emprendiendo.

Así es la vida, perfectible, mutable y dinámica; y a pesar de todo lo cambiante seguimos siendo los mismos de siempre. Los mismos seres humanos que aspiran a realizar lo mejor día con día, sirviendo de comparación para con ellos mismos y el ejemplo para la continuidad más preciada: Nuestros hijos. Nos damos cuenta de la trascendencia de la vida cuando comprobamos que el esfuerzo valió la pena.

En esta Tesis se comprueba algunas hipótesis planteadas desde mis años de estudio y también en mi vida profesional, entendí y comprobé estas hipótesis, dándome cuenta que con respecto a la protección contra rayos nos falta en algunas situaciones darles mayor importancia, en la Sierra andina por su ubicación geográfica se convierte en una de las zonas con mayor actividad eléctrica atmosféricas en el país, lo cual hace que las instalaciones presenten una condición de alto riesgo. Pude algunos hechos,

rechazar otros y finalmente obtener algunas conclusiones sujetas a posteriores revisiones y comprobaciones.

El desarrollo de la tesis contempla seis (06) capítulos, los que a continuación se desarrollan:

El capítulo 1 es en donde se explica el por qué de esta investigación, sus antecedentes, el objetivo general y los específicos y la problemática en investigación.

En el Capítulo 2 se presenta toda la teoría de esta tesis, las diferentes metodologías de análisis, diseño e implementación de los Sistemas de Protección contra rayo y Puestas a Tierra.

En el capítulo 3 se presentan los diseños de los Sistemas de puesta a Tierra y de Protección Eléctrica.

El capítulo 4 muestra todo el trabajo de Campo en todas las zonas del Campamento de la Compañía minera San Simón, presentando todos los resultados de Resistividad, las consideraciones de modelamiento, el diagnóstico y las Propuestas generales.

En el capítulo 5 se presentan las mejoras de Puesta a Tierra y Protección contra rayos en todas las zonas, una a una; donde se realizó el trabajo de Campo en el Campamento de la Compañía minera San Simón.

El Capítulo 6 trata sobre la implementación de las mejoras en las zonas del Campamento de la Compañía minera San Simón, el detalle de la obra; cuándo y cómo y con quienes fue hecho el Trabajo de Campo en sí y los resultados obtenidos después de la implementación de las mejoras.

Dedico esta tesis a la mujer que llegó a mi vida para ser mi compañera por siempre, gracias mi ángel por tu paciencia y por darme esos frutos nuestros por quienes cada segundo de mi vida tiene mayor sentido.

Igualmente haber llegado hasta este momento es motivo para expresar algunos agradecimientos, cuyas específicas palabras no comprenderán la amplitud de mis sentimientos.

Agradezco la impaciencia justificada de mi madre. Agradezco los fundamentos que me proveyó mi alma mater la Universidad Nacional de Ingeniería. Agradezco a mi asesor Ingeniero Gilberto Becerra, además de la dirección de la presente tesis, el invaluable apoyo prestado para la realización de este trabajo.

Y en general agradezco a todas aquellas personas que, a lo largo de mi vida aunque sea por pequeño tiempo, han sido la causa de pequeños aportes de este trabajo y de la sustancia de mi vida misma. A todas mil gracias.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Los Sistemas de Protección contra rayo, han cobrado una mayor relevancia en los últimos años, debido a la utilización de equipos eléctricos y electrónicos, cada vez más sofisticados y sensibles a perturbaciones electromagnéticas. Los Sistemas de Protección, tienen como objetivo proteger la vida humana y equipos en general, para la cual no se escatima en presupuestos y se busca que cuando los sistemas de protección sean exigidos, protejan adecuadamente, sin lamentar ninguna pérdida humana, pudiendo si, reparar las pérdidas materiales.

Las Puestas a Tierra, cada vez más exigidas ya no son vistas como lo último en un proyecto, hoy hablar de Puestas a Tierra, es tratar un tema prioritario, como parte de los Sistemas de Protección.

Generalmente:

➤ La idea de Puesta a Tierra la asociamos a:

Una barra colocada en un hoyo con materiales especiales, donde se puede conectar puntos a tierra y de tener varias necesidades de tierra, realizan varios de estos sistemas. Cuando un hoyo no es suficiente, pues no da el valor

correcto, se adicionan tantos más hasta lograr el valor requerido. En el tiempo, si el valor se eleva simplemente se le agrega agua y material de mejoramiento hasta ponerlo a sus valores correctos.

- La Idea de Protección contra Rayos está asociada a:

Colocar un pararrayo con su propia puesta a tierra, en muchos casos, sin los estudios correspondientes y en algunos casos con consecuencias negativas, por consideraciones incorrectas.

Estas ideas ya están cambiando y cada vez más se están mejorando, la presente tesis pretende dar luces al respecto e informar todo lo concerniente a su utilización, manejo e implementación, siempre guiados por las Normas Nacionales e Internacionales, los sustentos teóricos, las investigaciones y la experiencia comprobada, fundamentada y documentada.

1.2 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar y diseñar alternativas de mejoramiento o nuevas soluciones a los Sistemas de Puesta a Tierra y Sistemas de Protección contra descargas atmosféricas en el Campamento de la Compañía Minera San Simón en La Libertad.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y utilizar adecuadamente los Sistemas de Protección.
- Aplicar procedimientos adecuados antes y durante los diseños de Puestas a Tierra.

- Medir correctamente los diferentes parámetros necesarios para diseñar y comprobar los diseños.

- Conocer los principales marcos normativos que sustentan la utilización y aplicación de tecnologías, métodos y principios de la Protección contra Rayos.

- Utilizar con propiedad los términos, en el ámbito profesional y laboral.

1.4 PROBLEMÁTICA

En la presente investigación se evaluará y presentará mejoras o nuevas soluciones a los Sistemas de protección de Puesta a Tierra y Sistemas de Protección contra descargas atmosféricas en el Campamento de la Compañía Minera San Simón con el propósito de evitar el daño serio a personas y equipos prematuramente.

Los Sistemas de protección sirven principalmente para la protección de las personas que se encuentran dentro de ella como en sus alrededores y para la protección de equipos que se encuentran dentro de la misma.

Los procedimientos para desarrollar un sistema de aterrizaje se basan en conceptos tradicionales, pero su aplicación puede ser muy compleja. Los conceptos son ciencia, pero la aplicación correcta es un arte, ya que cada instalación es única en su localización, tipo de suelo, y equipos a proteger.

El tema conexión a tierra es difícil, no por los conceptos intrínsecos de la materia, sino principalmente debido a la interpretación errónea y a la gran cantidad de términos usados en libros, artículos técnicos y otras publicaciones sobre el tema.

Los conocimientos sobre las prácticas correctas de conexión a tierra son necesarios para asegurar el funcionamiento correcto de los equipos modernos; la instalación incorrecta de un sistema de aterrizaje implica desde lesiones menores hasta la muerte de una persona, lo mismo que operaciones erráticas ó daños costosos ó irreparables a los equipos e instalaciones. Los errores en el sistema de puesta a tierra representan un peligro de seguridad industrial.

Su forma de cálculo se basa en el rango de corriente, el límite de corriente tolerable por el cuerpo, circuito de tierra accidental y principalmente el criterio del voltaje tolerable (voltaje de toque y voltaje de paso).

El diseño del aterrizaje en subestaciones se debe realizar de manera tal, que limite el efecto del gradiente de potencial a tierra tanto en niveles de voltaje y corriente, para no poner en peligro la seguridad de las personas ó equipos bajo condiciones normales de falla.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 EL FENÓMENO DEL RAYO

La descarga eléctrica atmosférica o más comúnmente conocida como rayo, es un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, al interior de una nube o de la nube hacia la ionosfera.

2.1.1 Proceso del Rayo

La tierra es una gran pila y constantemente está cediendo electrones a la atmósfera, esta corriente es del orden de $3A/km^2$; pero el total es de 2000 amperios continuos. La naturaleza logra equilibrar el proceso con 100 rayos por segundo, lo que convierte a los rayos en el principal regulador del balance calorífico del planeta. Colombia, por estar situada en la zona de confluencia intertropical presenta una de las más altas actividades eléctricas atmosféricas del mundo, ésta condición hizo que Icontec promulgara la Norma Técnica Colombiana NTC 4552, en armonía con las principales normas del mundo, acorde con el entorno y que se basa en la aplicación de un Sistema Integral de

Protección Contra Rayos (SIPRA). Una breve descripción del proceso de la descarga eléctrica atmosférica es así:

Polarización de la nube y la tierra.

Los tres procesos por los que se polariza la nube son:

- Convección de vientos
- Convergencia de vientos
- Orografía del sitio

La nube se carga fuertemente con una polaridad en su base y con la contraria en su parte superior. Al mismo tiempo se presenta en la tierra un efecto espejo de polarización inversa, respecto a la base de a nube.

Una descarga atmosférica se compone en general de 5 etapas:

- **Encendido de la descarga**

Se inicia un líder por una disrupción preliminar dentro de la nube

- **Líder escalonado.**

El líder descendente o trazador parte desde la nube en pasos de 1s de duración y longitud de varias decenas de metros con pausas de 20 a 50s. Este líder en su viaje hacia tierra se ramifica produciendo estructuras geométricas ramificadas descendentes.

- **Proceso de enlace.**

A medida que la punta del líder se acerca a tierra, el campo eléctrico de las puntas e irregularidades en tierra alcanza valores que exceden el nivel de disrupción del aire.

- **Descarga de retorno.**

Cuando el líder descendente llega más o menos a 150 m de la tierra, sale a su encuentro un efluvio o líder ascendente, desde una punta o irregularidad, produciendo la gran descarga de retorno. Esta liberación rápida de energía calienta el canal hasta temperaturas de 30.000 K que genera un canal de alta presión con plasma que se expande, originando el trueno y el relámpago.

- **Líder dardo.**

Si queda carga disponible, en la parte superior del canal, esta se puede propagar hacia abajo por el canal de propagación previo. Este líder dardo da comienzo a las descargas subsecuentes.

Los parámetros asociados al rayo son:

- Nivel ceraunio (# días/año)
- Densidad de descargas a tierra (# /km²-año)
- Polaridad (Positivo o negativo).
- Dirección (Ascendente/descendente)
- Multiplicidad (# descargas subsecuentes)
- Intensidad de campo eléctrico (E)
- Intensidad de campo magnético (H)
- Corriente máxima (kA)
- Corriente promedio(kA)
- Pendiente máxima (kA/s)
- Carga impulsiva del líder (A-s)

- Carga total del rayo (A-s)
- Impulso cuadrático de corriente (A²-s)
- Energía de una descarga (A²-s)
- Tiempo de frente (s)
- Tiempo de cola (s)
- Tiempo total (s)
- Intervalo entre descargas (s)
- Coordenadas (N/S – E/O)
- Fecha y hora exactas (a/m/d/h/m/s/ms)

Normas internacionales como la IEC 61312-1 presenta curvas de probabilidad de la mayoría de estos parámetros, además de los resultados de investigaciones a nivel nacional que son un excelente complemento.

Es importante señalar una apreciación errónea de Franklin que aún hoy en día la tienen personas o ingenieros que trabajan en el campo de protección de estructuras contra rayos: Franklin originalmente pensó –erróneamente- que el pararrayos tácitamente descargaba la carga eléctrica presente en una nube de tormenta, y por tanto “**prevenía**” los rayos.

Estructura tripolar de la nube

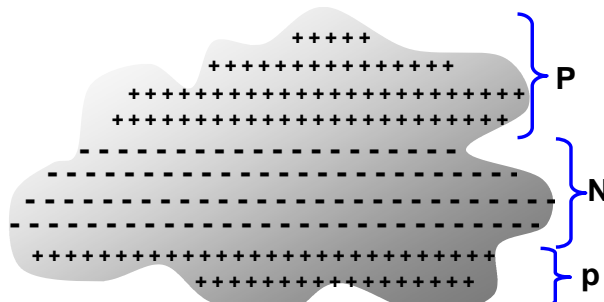


Figura 2.1-a
Nube de tormenta

Luego de más de cuatro décadas de trabajo se determinó que la estructura básica de la nube no es “bipolar”, sino tripolar.

Hay una región de carga negativa “N” en el centro, con una región de carga positiva “P” encima de ella y una segunda región, menor, de carga positiva “p” debajo de aquella.

La característica más notable de la capa principal, cargada negativamente, es su forma de torta: su espesor vertical, aunque inferior a un kilómetro, puede extenderse horizontalmente varios kilómetros o más. Se halla a unos 6 kilómetros de altura, donde la temperatura se aproxima a -15°C . En las condiciones allí dominantes, las tres fases del agua – hielo, líquido y vapor – pueden coexistir. Los campos eléctricos más intensos de la nube de tormenta se encuentran en las fronteras superior e inferior de la capa principal de carga negativa.

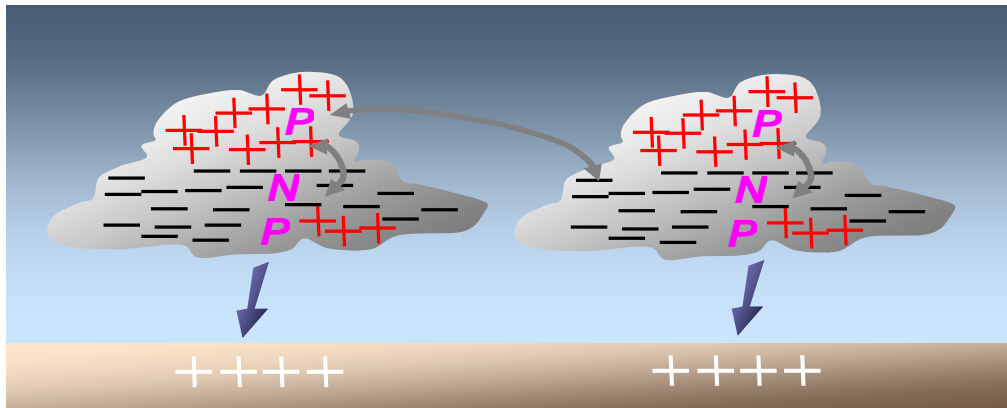


Figura 2.1- b
Nube de tormenta

Existen cuatro categorías de formación de rayos:

- Categoría 1 Rayos negativos Nube – tierra (más del 90% de las descargas)
- Categoría 2 Rayos negativos tierra – nube
- Categoría 3 Rayos positivos Nube – tierra
- Categoría 4 Rayos positivos tierra – nube

Circuito eléctrico Global

La moderna investigación sobre la física del rayo a principios del siglo XX se basó en los trabajos del físico inglés C.T.R. Wilson, quien fue el primero en sugerir que los rayos eran generadores de tensión, que mantenían una diferencia de potencial entre la superficie de la tierra y la ionosfera.

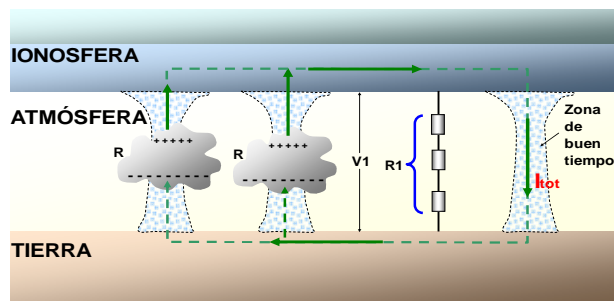


Figura 2.2
Circuito eléctrico global

Wilson, con base en mediciones hechas entre 1917 y 1920, formuló su hipótesis, la cual plantea que las descargas eléctricas atmosféricas representan los generadores, en lo que denominó "Circuito eléctrico global"

Atmósfera: Buen aislador eléctrico de buena calidad

Ionósfera y Tierra: Buenos conductores

Número de generadores

Aunque el número de rayos "n" que se presentan simultáneamente sobre la tierra es incierto, algunos investigadores como Brooke (1925), Whipple (1929) y Krumm (1962) estimaron un valor entre 1,500 y 1,800.

La Resistencia global se ha estimado en promedio en 230 Ω y con una Corriente global:

$$I_{\text{tot}} = n \times i = [800 - 1,800] \text{ A}$$

Tendríamos un potencial global

$$P = RI = [184 - 414] \text{ kV.}$$

Típicamente más de **2,000 tormentas** están activas alrededor del globo terráqueo en un momento dado, produciendo aproximadamente **100 descargas por segundo**.

Finalmente, El doctor Horacio Torres analiza los parámetros del Rayo, un resumen de este análisis se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2.1
Parámetros del Rayo

Tipo de Parámetro	Parámetro	Siglas	Descripción
a) De incidencia	Densidad de descarga a tierra	DDT	Ground Flash Density, GFD: N° de rayos por Km ² al año
	Nivel ceráuneo	NC	Keraunic Level, TD: N° de días tormentosos al año, donde un día tormentoso es aquel en el que por lo menos se escucha un trueno.
	Polaridad del Rayo	PC	Flash Polarity: Positivo ó negativo
	Multiplicidad	M	Multiple Stroke Flashes: N° de descargas individuales por descarga
	Duración de la descarga eléctrica atmosférica		
Duración del intervalo entre descargas individuales			
b) De amplitud de la corriente del Rayo		CR	Lightning Peak Current Amplitude: Es el parámetro más importante para aplicaciones de ingeniería
c) De la forma del impulso de la corriente del rayo			Stoke Current Impulse: En los cuales se tienen en cuenta las características dependientes del tiempo, con énfasis en las características de la rata de ascenso de corriente del rayo (RAI)

FUENTE: Resumen trabajado del libro "El Rayo, Mitos, leyendas, Ciencia y Tecnología" de Horacio Torres – Sánchez, páginas: 117-118.

2.2 DESCRIPCIÓN Y PARÁMETROS DE REGISTRO PARA DISEÑO

La sierra andina, por su ubicación geográfica, se convierte en una de las zonas con mayor actividad eléctrica atmosférica en el país, lo cual hace que las instalaciones presenten una condición de riesgo alto, tal como lo indican las metodologías de evaluación del grado de riesgo contenida en las normas y en especial, la IEC 61024-1-1 y la IEC 62305-2.

- Respecto a los rayos se puede afirmar, que ninguna medida es económica y efectiva para evitarlos, como tampoco para garantizar un 100% de protección, por lo tanto, las precauciones de protección apuntan hacia los efectos secundarios y a las consecuencias de una descarga eléctrica atmosférica.

El propósito de la protección contra rayos es **controlar (no eliminar)** el fenómeno natural, encausándolo en forma segura. El objetivo de la protección contra rayos es reducir por debajo del máximo nivel tolerable, el riesgo de daño por un impacto directo a una estructura o a un volumen que se requiere proteger; para ello, se establecen categorías de protección que dependen de la evaluación del nivel de riesgo.

El riesgo para cada estructura depende básicamente de la densidad de rayos a tierra por kilómetro cuadrado al año (exposición) y de las pérdidas que se puedan presentar. Estas son determinadas por factores como el uso y contenido del volumen a ser protegido, materiales de construcción y medidas que se tomen para reducir los efectos de los rayos.

Los principales aspectos para valorar un riesgo son básicamente, la severidad o consecuencia que pueda resultar al perderse el control de dicho riesgo y por otra, la probabilidad o esperanza estadística de que esas consecuencias se produzcan.

Sólo cuando se han identificado y evaluado los riesgos, se está en condiciones de tomar decisiones respecto de cada uno de ellos. Naturalmente que, aparte de

evaluar un riesgo en cuanto a sus consecuencias y a la probabilidad que se produzcan, se requiere definir las alternativas de solución en cuanto a dos variables importantes:

- El costo que implica la aplicación de la medida propuesta como solución.
- La efectividad o grado de solución que aporta la misma medida.

La administración de riesgos nos sugiere cuatro alternativas:

- Terminar el riesgo
- Tratar el riesgo
- Tolerar el riesgo
- Transferir el riesgo

La Norma IEC 62305

Parámetros del Rayo:

Tabla 2.2
Parámetros del Rayo

Parámetros		Símbolo	Unidad	Nivel de Protección contra Rayo (NPR)			
				I	II	III	IV
Descarga Corta	Corriente Pico	I	kA	200	150	100	
	Carga corta	QCORTA	C	100	75	50	
	Energía específica	W/R	KJ/O	10,000	5,625	2,500	
	Parámetros de tiempo	T1/T2	\square s/ \square s	10/350			
Descarga corta subsecuente	Corriente Pico	I	kA	50	37.5	25	
	Pendiente promedio	di/dt	kA \square s	200	150	100	
	Parámetros de tiempo	T1/T2	\square s/ \square s	0.25/100			
Descarga larga	Carga larga	QLARGA	C	200	150	100	
	Parámetro de tiempo	TLARGO	s	0.5			
Rayo	Carga	QRAYO	C	300	225	150	

FUENTE: IEC 62305-1, página 21, Tabla 3 –Valores máximos de los parámetros de acuerdo al Sistema de Protección contra Rayo.

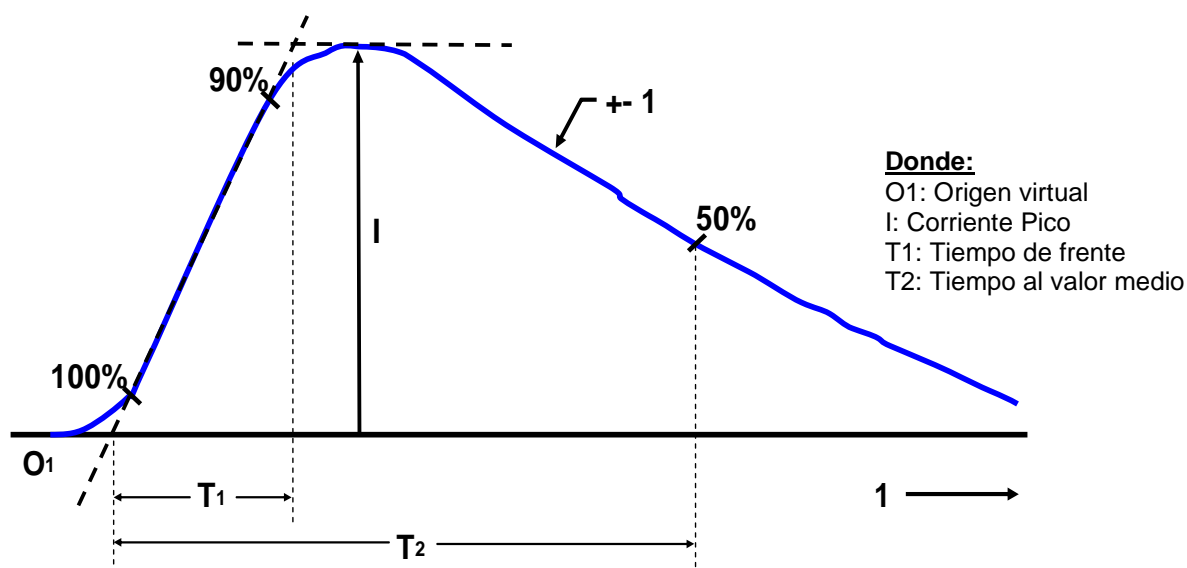


Figura 2.3

Definiciones de parámetros de impacto corto (Típicamente $T_2 < T_1$ ms)

FUENTE: IEC 62305-1, página 31, Figura A.1 – Definiciones de parámetros de impacto corto

Tabla 2.3

Medianas del valor pico de la corriente de retorno del Rayo en diferentes zonas del planeta

País	Mediana (kA)
Estados Unidos	23
Suiza	30
Suecia	30
Polonia	31
Malasia	36
Brasil	43
Rodesia	42
Colombia	43

FUENTE: Publicación en Internet, del Centro de Procesos, laboratorio de alta tensión de la Universidad Nacional experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” Vicerrectorado Barquisimeto EFECTOS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS ADMOSFÉRICAS, página 40.

Tabla 2.4
Tensión de Impulso que deben soportar los equipos

Niveles de tensión de operación de los equipos (V)	Tensión Impulso (BIL) (kV)			
	Contadores	Tableros interruptores, cables, etc.	Electrodomésticos, herramientas portátiles	Equipo electrónico
	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
120 - 240; 120 / 208	4	2.5	1.5	0.8
254 / 440; 277 / 480	6	4	2.5	1.5

FUENTE: IEC 62305

Tabla 2.5
SIPRA y su función que cumple

ÍTEM	COMPONENTE	FUNCIÓN QUE CUMPLE
1	Evaluación del Nivel de Riesgo	Determinar las medidas de protección
2	Sistema de Protección externo (SPE)	Canalizar el rayo hasta el suelo en forma segura
2.1	Terminales de captación	Interceptar el rayo
2.2	Barrajes	Conducir el rayo, reducir el di/dt, atenuar efectos internos del campo magnético
2.3	Puesta a tierra de protección contra rayos (PTPR)	Dispersar y disipar la corriente del rayo
3	Sistema de protección interno (SPI)	Limitar las sobretensiones transitorias al interior de la instalación
3.1	Equipotencialización con DPS	Limitar sobretensiones
	Protección primaria	Limitar sobretensiones en las partes energizadas del panel de distribución principal
	Protección secundaria	Limitar sobretensiones en los equipos electrónicos
3.2	Equipotencialización con conductores	Reducir efectos internos del campo eléctrico
3.3	Apantallamientos localizados	Reducir efectos internos del campo magnético en equipos electrónicos
3.4	Topología de cableados	Contribuir a la compatibilidad electromagnética
4	Prevención de riesgos	
4.1	Guía de seguridad personal	Lograr comportamientos seguros de las personas
4.2	Sensor de tormentas	Suspender actividades de alto riesgo
	Fijos	Suspender actividades de alto riesgo
	Portátiles	

Fuente:

Tierras, Soporte de la Seguridad Eléctrica, Segunda Edición, Favio Casas Ospina, página: 47, sección 5.2, Tabla 5

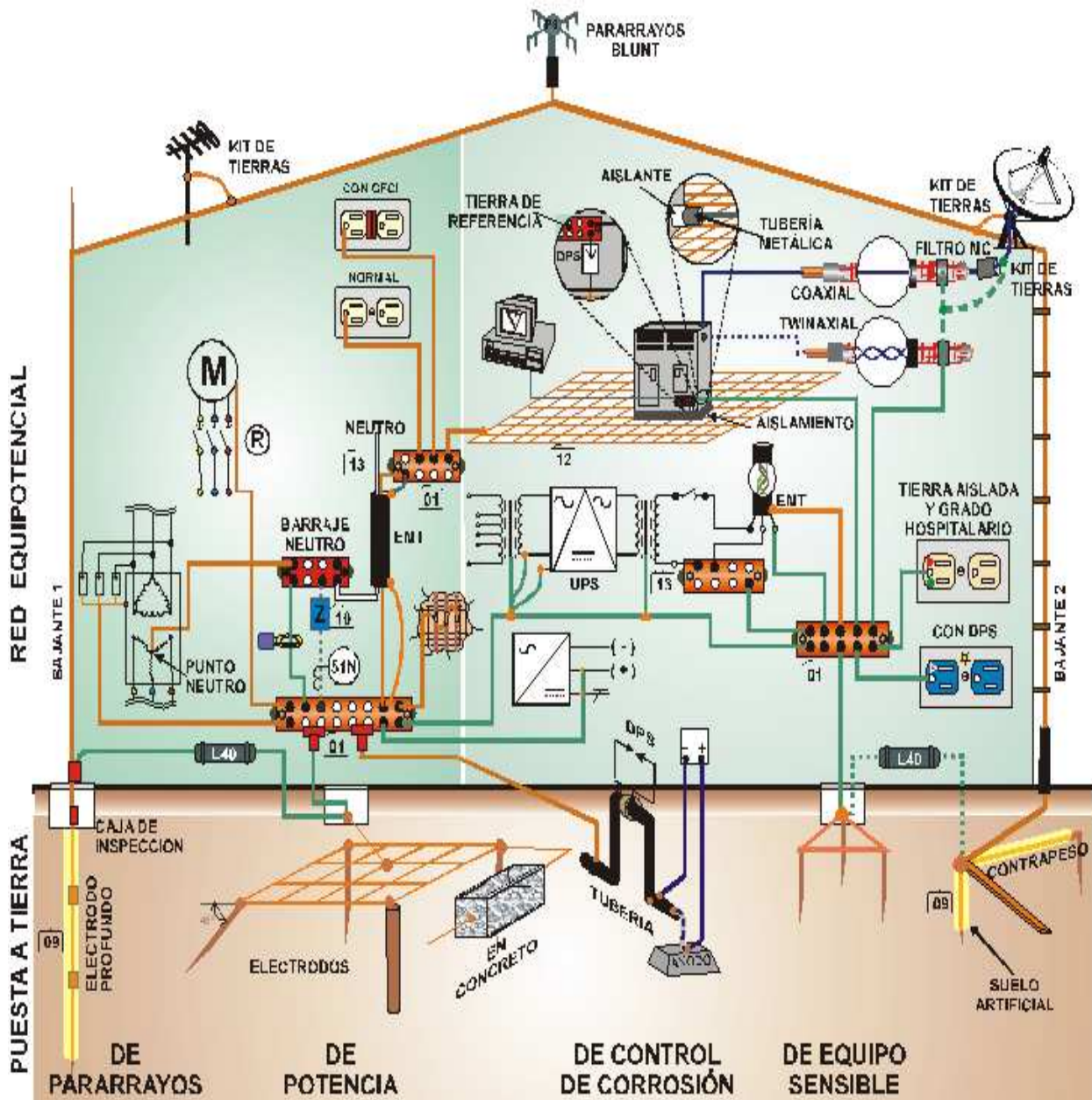


Figura 2.4

Esquema General del SIPRA
 (Sistema Integral de Protección Contra Rayos)

Tabla 2.6
Relación entre la clase de SIPRA y los niveles de Protección contra Rayos

Nivel de Protección contra Rayos	Clase de SIPRA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

FUENTE: IEC 62305-3, página 23, Tabla1.

Cada Clase de SIPRA esta caracterizado por:

a) Datos que dependen de la clase del SIPRA

- Parámetros del Rayo
- Radio de la esfera rodante, tamaño de la malla y ángulo de protección
- Distancias típicas entre bajantes y anillos conductores
- Distancias de separación contra chispas peligrosas
- Longitud mínima de los electrodos a tierra

b) Datos que no dependen de la clase del SIPRA

- Unión del equipotencial del Rayo
- Espesores mínimos para los sistemas de captación
- Materiales para el SIPRA y condiciones de uso
- Materiales, configuración y dimensiones mínimas para el sistema de captación, las bajantes y los sistemas de Puesta a Tierra.

Tabla 2.7
Factores de Riesgo y las Normas en las que encontramos como tratarlos

Factor de Riesgo	Baja frecuencia	Alta frecuencia
Fallas a tierra	IEEE 80 NEC 2002	
Rayos		IEC 62 305 IEC 6 1021-1, R56
Electricidad estática	NFPA 77	NFPA 77
Corrientes por tierra	NEC 2002 IEEE 1100	
Contactos	IEC 6 1230 IEEE 1048	

FUENTE: Cuadro extraído de la Exposición del Ingeniero Alan Duque Henao, Lima Perú 2004

2.3 PROTECCIÓN EXTERIOR

Su principal función es proteger de impactos directos e indirectos de los Rayos que se dirigen a la estructura incluyendo a los que impactan al costado de esta, para conducir de manera segura la corriente de rayo desde el punto de impacto a tierra.

También tiene como función dispersar dicha corriente a tierra sin causar daños térmicos, mecánicos o chispas peligrosas que puedan dar inicio a incendios o explosiones.

Tipos:

- a) Aislado eléctricamente de la estructura.
- b) Unido directamente a la estructura.

Sobre qué tipo utilizar, dependerá de los riesgos de efectos térmicos o explosivos en el punto de impacto del rayo y del tipo de elementos almacenados en la estructura. Algunos ejemplos típicos para usar una protección aislada son estructuras con paredes combustibles y en áreas con peligro de explosión.

Componentes:

- Sistemas de Captación
- Sistemas de conductores bajantes
- Sistemas de Puesta a Tierra

2.3.1 Sistemas de captación

La interceptación de rayos se hace con un elemento conductor o grupo de elementos conductores en contacto eléctrico con las bajantes, cuya función es la de interceptar los rayos que pueden impactar en cercanías o directamente sobre la instalación a proteger.

Un sistema de captación puede estar compuesto por:

- Varillas tipo Franklin (incluyendo los mástiles)
- Cables colgantes
- Mallas de conductores

Su ubicación, están localizados en la esquinas, puntos expuestos sobresalientes de la estructura y en los bordes, Se debe tener en cuenta que los

sistemas de interceptación de rayos deben ser varillas metálicas sólidas o tubulares en forma de bayonetas

Se posicionan de acuerdo a los siguientes métodos:

2.3.1.1 Método de la esfera rodante

Aplicable para estructuras con altura menor a 60 m.

Aplicando este método, la colocación de un sistema de Terminación aérea es adecuada si no hay punto del espacio que se protegerá en contacto con una esfera rodante de radio R en la tierra, alrededor y alrededor de la estructura en todas las direcciones posibles. Por lo tanto la esfera tocará solamente la tierra y/o el sistema de Terminaciones aéreas.

El radio de la esfera debe conformarse con el nivel seleccionado de la protección:

Tabla 2. 8
Radio de la Esfera Rodante

Circuito de Interceptación			Nivel de Protección contra Rayo (NPR)			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente pico mínima	I	kA	3	5	10	16
Radio de la esfera rodante	R	m	20	30	45	60

FUENTE: Cuadro extraído de I a la Norma IEC 62305-1, Tabla 4, página 21

Estos niveles de corriente están dados para que con el radio escogido cualquier corriente igual o superior a la escogida sea interceptada por el sistema de protección externo y no impacte directamente a la estructura.

Una muestra gráfica de la utilización de este método es el siguiente:

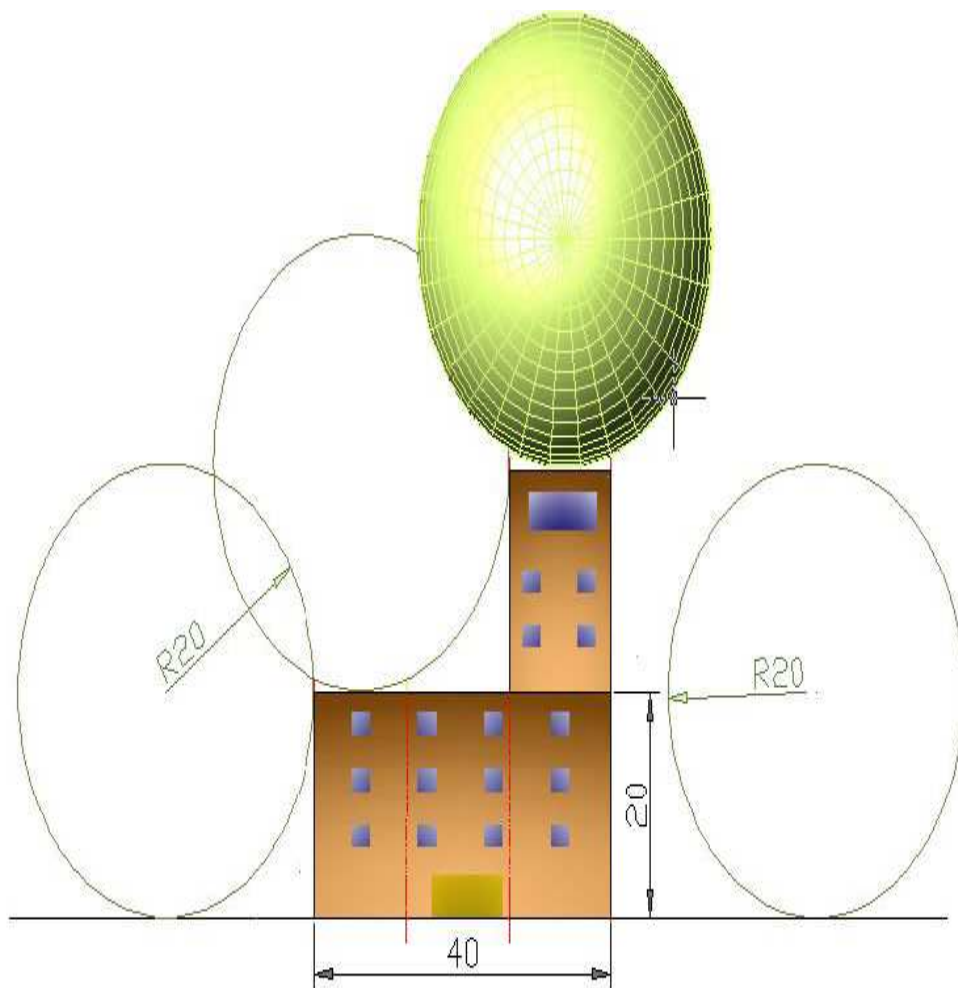


Figura 2.5
Aplicación del Método de la Esfera

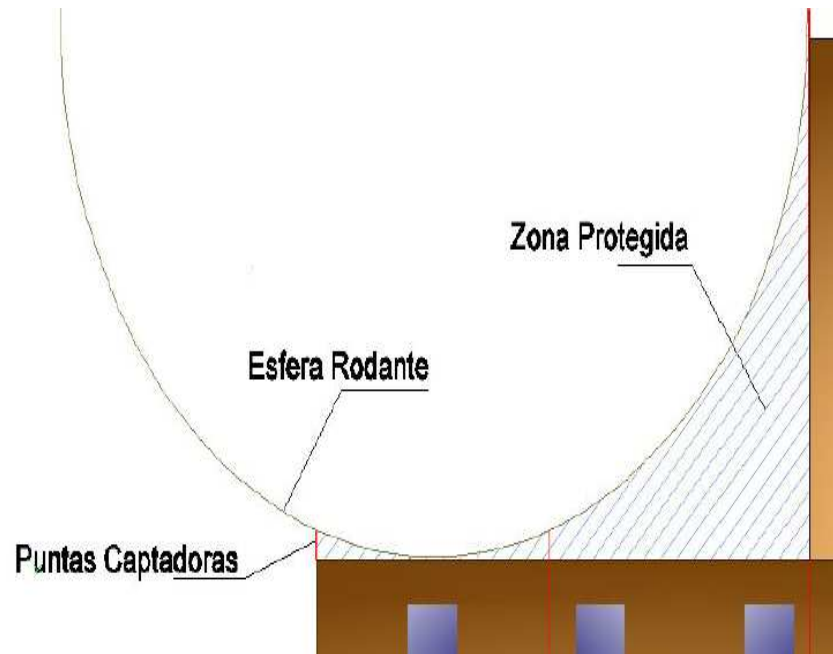
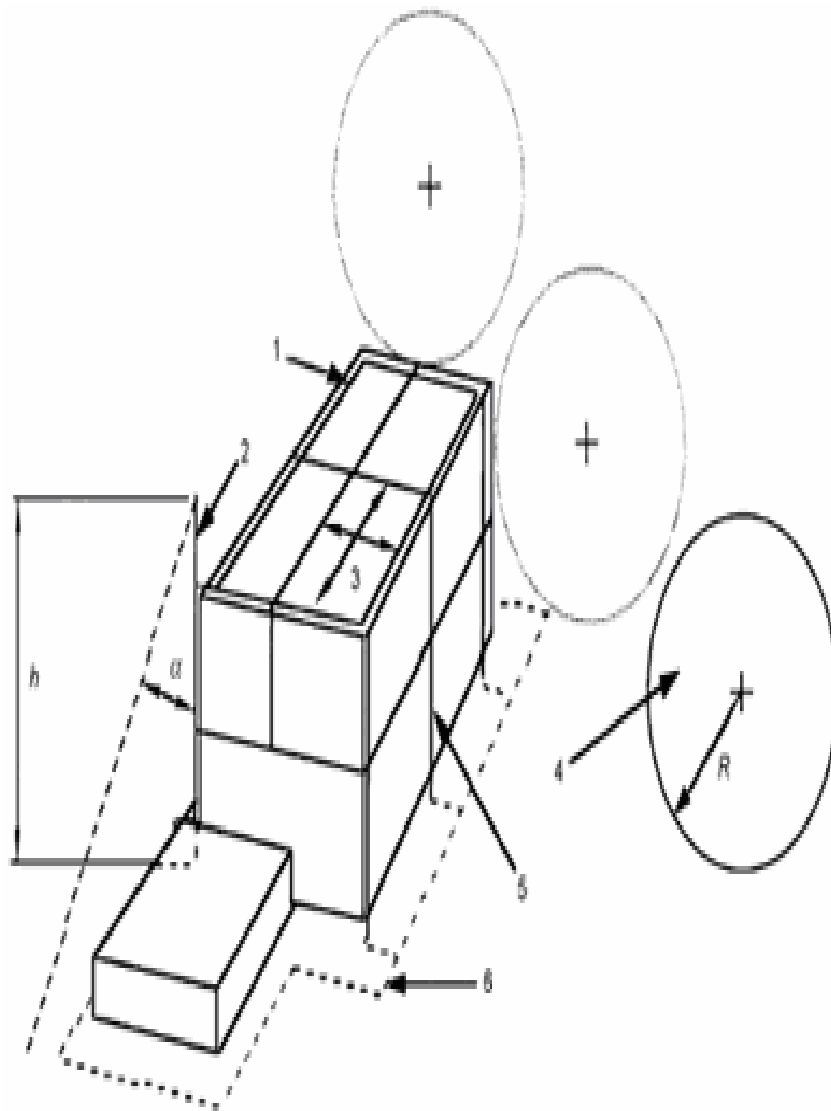


Figura 2.6
Zona Protegida

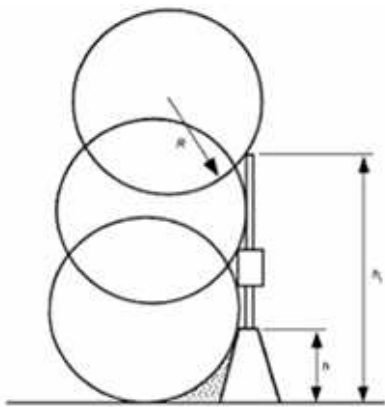
En estructuras más altas que el radio de la esfera rodante pueden existir rayos que impacten los costados de éstas. Cada punto lateral de la estructura tocado por la esfera rodante es un punto factible a ser impactado. Sin embargo, la posibilidad que el rayo impacte los costados es prácticamente despreciable para estructuras menores a 60 m.



FUENTE: IEC 61024-1, Figura 11b, página 111.

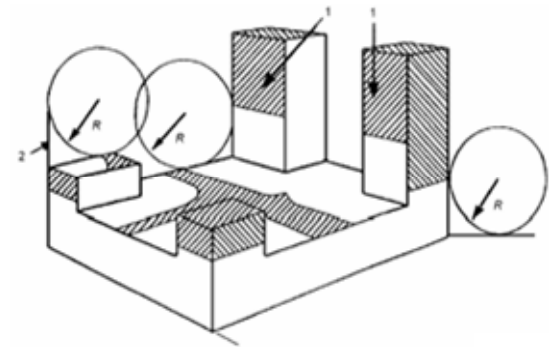
- | | |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1 Cable de interceptación | 6 Electrodo de tierra |
| 2 Punta Captadora o varía de interceptación | h Altura del Terminal aéreo sobre el nivel de tierra |
| 3 Medida de la malla | α Angulo de protección |
| 4 Esfera Rodante | R Radio de la esfera rodante de acuerdo A la Tabla 1 de la IEC 61024-1 |
| 5 Bajante | |

Figura 2.7
Descripción de los elementos de protección



- R** Radio de la esfera rodante de acuerdo a la Tabla 1 de la IEC 61024-1
- h_t** Altura física de la torre, mástil y Terminal aéreo
- h** Altura de terminación aérea como el usado en la tabla 1 de la IEC 61024-1

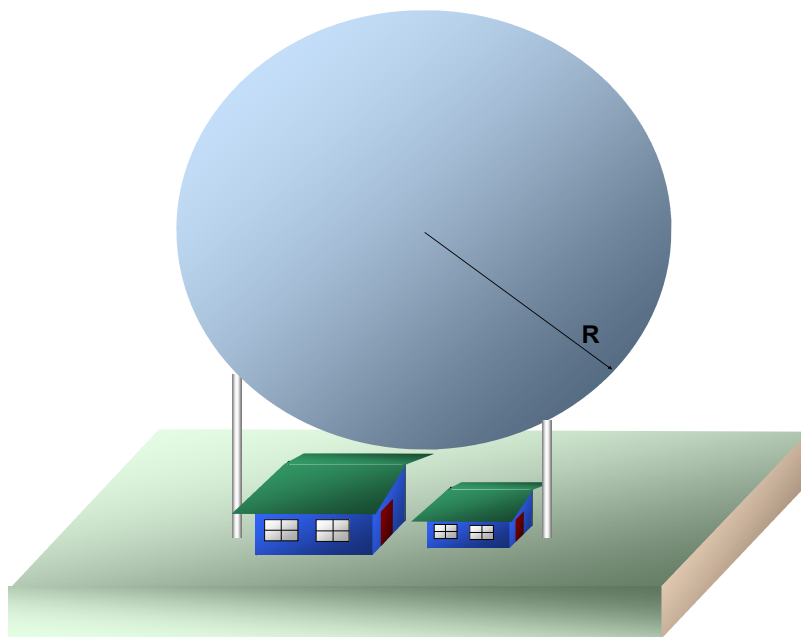
Figura 2.8



- 1** Área sombreada, son zonas de interceptación de rayos y necesitan protección de acuerdo a la tabla 1 de IEC 61024-1
- 2** Mástil o punta captadora en la estructura

Figura 2.9

FUENTE: IEC 61024-1, Figuras 12 y 13, página 116.



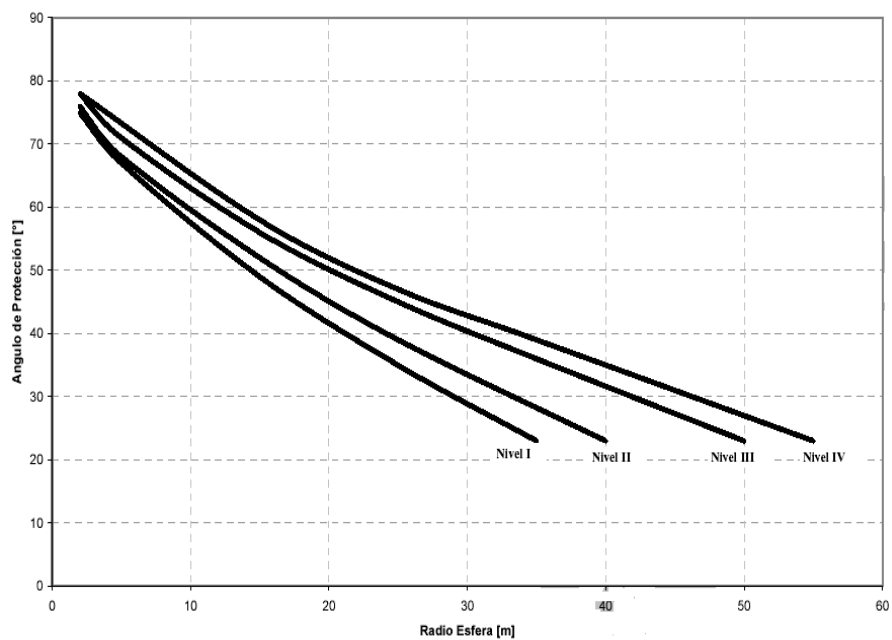
FUENTE: IEC 61024-1-2, Figura 16, página 121.

Figura 2.10
Aplicación del método de la Esfera

2.3.1.2 Método de Ángulo de Protección

Útil para edificaciones con formas simples pero esta limitado a la altura de los mismos y al tamaño del terminal aéreo.

Simplificación del método de la esfera rodante, en donde para una altura relativa existe un ángulo de protección de la punta captadora o cable aéreo de protección de la punta captadora o cable aéreo de protección, el cual puede determinarse con:



FUENTE: IEC 62305-3, Gráfico de la Tabla 2, página 24

Figura 2.11

Se considera que la ubicación del sistema de captación es adecuada si la estructura completa a ser protegida esta dentro del volumen de protección.

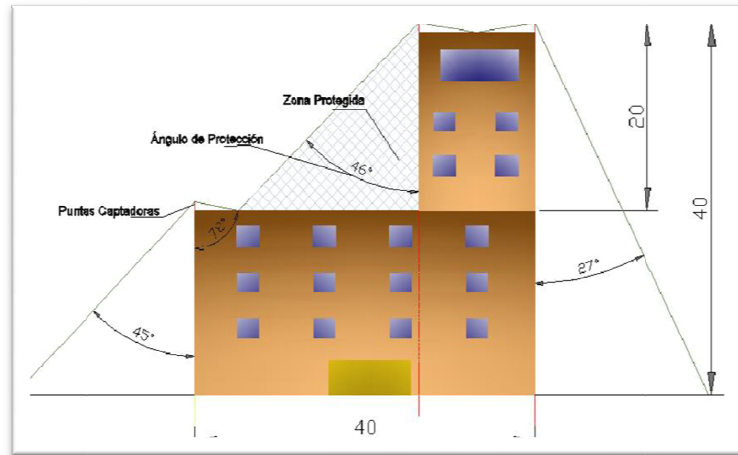
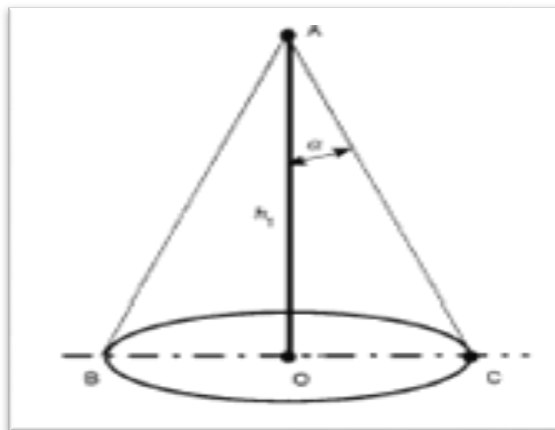


Figura 2.12

La altura se escoge a partir de la altura relativa que tiene el elemento con la superficie a proteger. Un solo punto genera un cono, el espacio protegido es generado por los diversos conductores de terminación aérea.

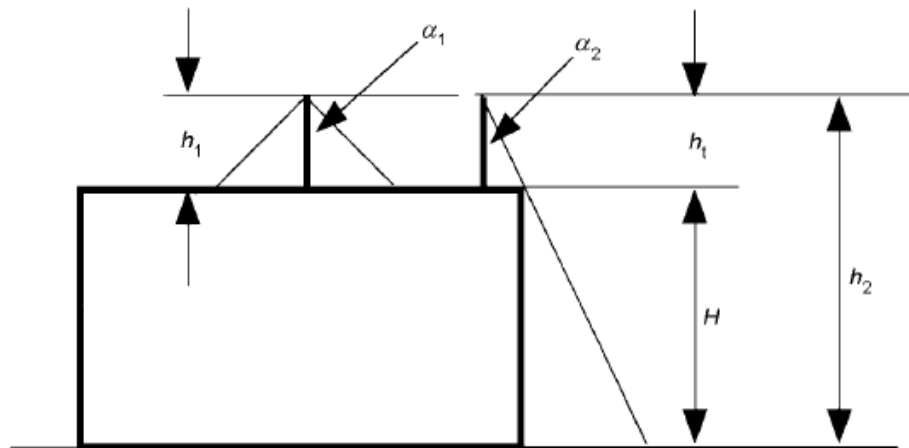


FUENTE: IEC 61024-1, Figura 2, página 101

- A** Tipo de una terminación aérea
- B** Plano de referencia
- OC** Radio de Protección aérea
- h_t** Altura de la terminación aérea, sobre la referencia del plano
- α** Ángulo de protección, cumpliendo con el valor de protección de la tabla 1 de la IEC 61024-1

Figura 2.13

Los ángulos son diferentes para diversas alturas sobre la superficie que se protegerá:



FUENTE: IEC 61024-1-2, Figura 4, página 103

Figura 2.14

Tabla 2.9

Nivel de Protección	Material	Sección mínima bajante [mm ²]	Sección mínima Terminación aérea [mm ²]	Sección mínima terminación a tierra [mm ²]
I - IV	Cobre	35	16	50
	Aluminio	70	25	-
	Fierro	50	50	80

FUENTE: Cuadro extraído de la Norma IEC 61024-1, Tabla 5, página 41.

Para los conductores que **transportarán** gran parte sustancial de la corriente del rayo, tendremos:

Tabla 2.10

Nivel de Protección	Material	Sección mínima de cruce [mm ²]
I - IV	Cobre	16
	Aluminio	25
	Fierro	50

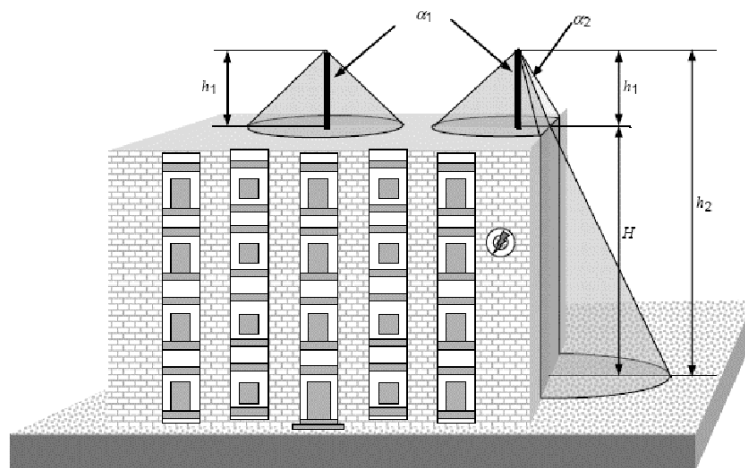
FUENTE: Cuadro extraído de la Norma IEC 61024-1, Tabla 6, página 41.

Para los conductores que **no transportarán** gran parte sustancial de la corriente del rayo, tendremos

Tabla 2.11

Nivel de Protección	Material	Sección mínima de cruce [mm ²]
I - IV	Cobre	6
	Aluminio	10
	Fierro	16

FUENTE: Cuadro extraído de la Norma IEC 61024-1, Tabla 7, página 41.



FUENTE: IEC 62305-3, Figura F.10, Página 109

Figura 2.15
Método de Protección por ángulo

- H** Altura del edificio sobre el plano de referencia al suelo
- h1** Altura física de la varilla de Terminal aérea
- h2** $h1 + H$
- $\alpha1$** Ángulo de protección, $h = h1$
- $\alpha2$** Ángulo correspondiente a $h2$

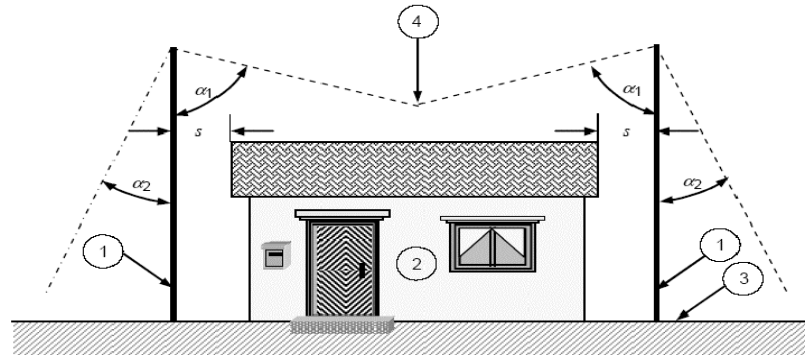


Figura 2.16-a
Método de Protección por ángulo con dos mástiles

- 1 Mástil de Terminal aéreo
- 2 Estructura protegida
- 3 Tierra como plano de referencia
- 4 Intersección entre conos de protección
- S Distancia de separación

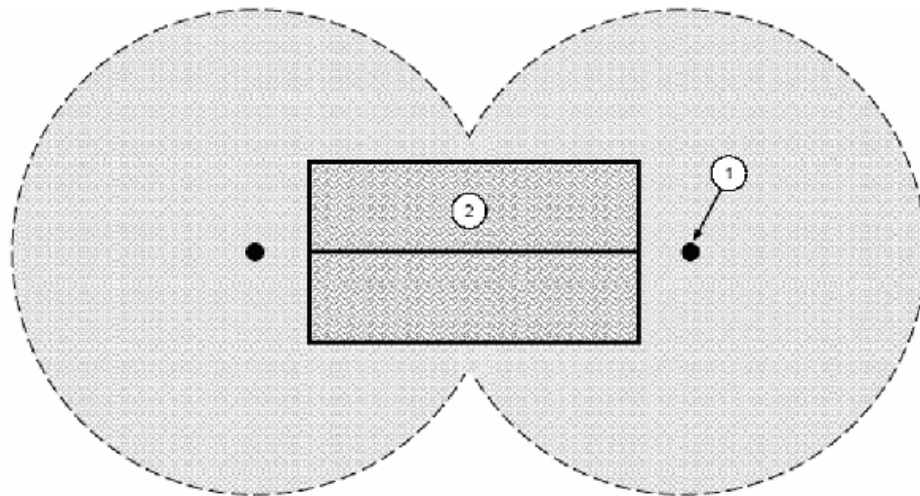


Figura 2.16-b
Proyección sobre un plano horizontal

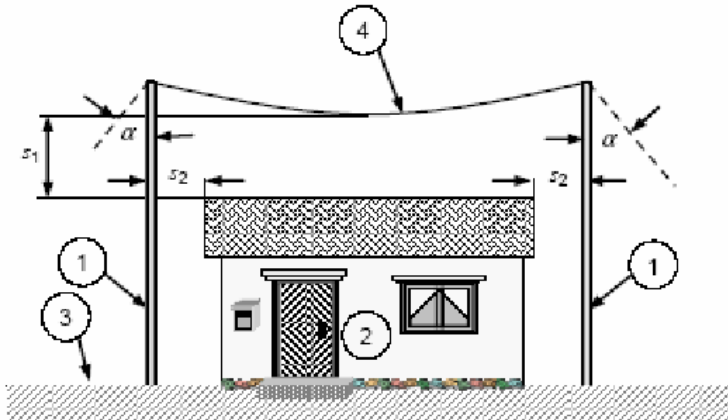


Figura 2.17a
Protección usando dos mástiles
con cable, Vista frontal

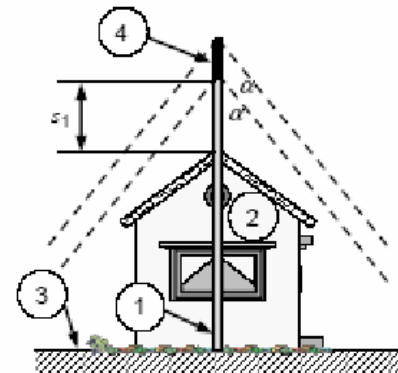


Figura 2.17-b
Protección usando dos
mástiles con cable,
Vista de perfil

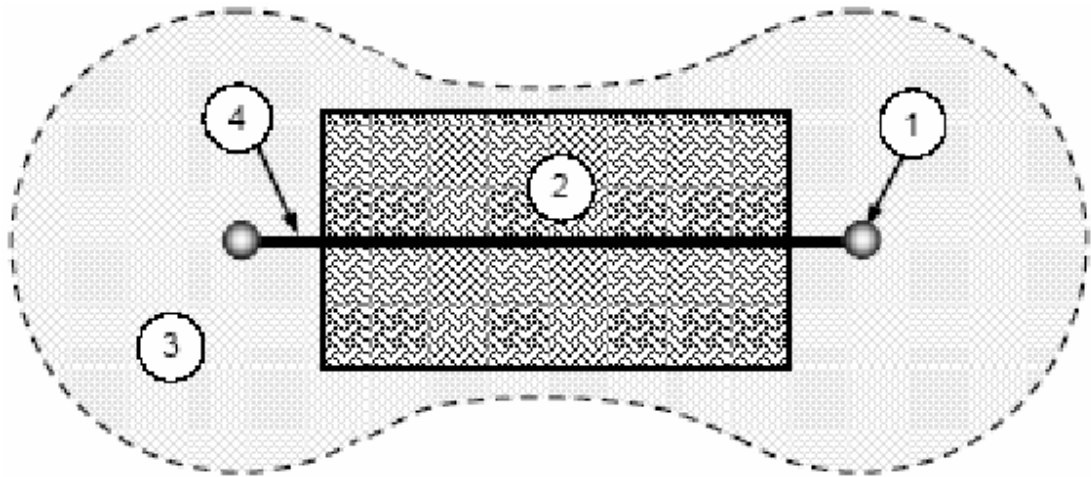


Figura 2.17-c
Protección usando dos mástiles con cable
Vista horizontal

- 1 Mástil
 - 2 Estructura protegida
 - 3 Área protegida sobre el plano de referencia
 - 4 Cable horizontal aéreo
- s1, s2** Separación de distancias
- α** Angulo de protección

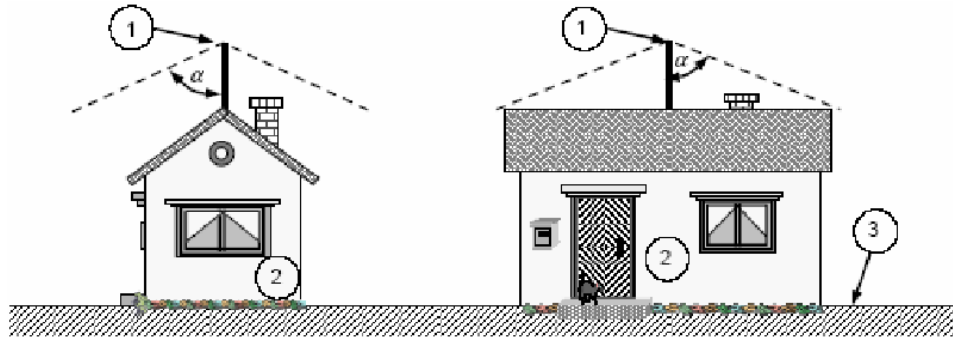


Figura 2.18-a
Protección usando varilla de terminación aérea

- 1 Varilla de Terminal aérea
- 2 Estructura protegida
- 3 Plano de referencia asumido
- α Angulo de protección

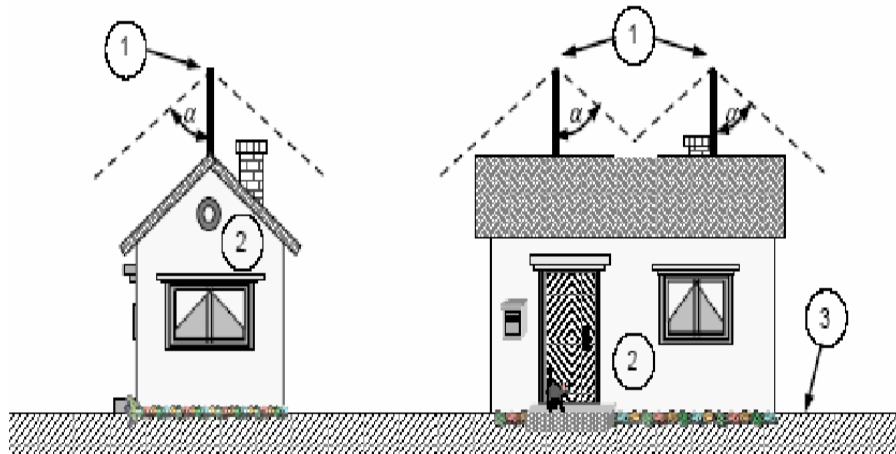


Figura 2.18-b
Protección usando varilla de terminación aérea

- 1 Varilla de Terminal aérea
- 2 Estructura protegida
- 3 Plano de referencia asumido
- α Angulo de protección

FUENTE: IEC 61024-1, Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10, páginas 105-113.
 IEC 62305-3, Figuras F.11, 12 y 13, Página 110-112

2.3.1.3 Método de Enmallado

Útil para proteger superficies planas, como techos y terrazas.

Los conductores externos son colocados sobre los bordes de techos, terrazas y voladizos.

Se diseña de tal manera que la corriente de rayo siempre encuentre al menos dos vías de evacuación de la corriente.

Las dimensiones del enmallado para los diferentes niveles de protección son:

Tabla 2.12

Nivel de Protección contra Rayos	Malla (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

FUENTE: IEC 62305-3, Tabla 2, páginas 105-113.

Para el caso de estructuras metálicas grandes que cumplan con las tablas 2.12, 2.13-a y 2.13-b, los terminales de captación a utilizar, son las mismas estructuras metálicas, los cuales cumplen con las disposiciones de la norma IEC 61024-1 e IEC 62305-3; dicha norma indica que cualquier elemento

metálico que se encuentre expuesto al impacto del rayo, debe ser tratado como un terminal de captación y por tanto debe ser equipotencializado.

Tabla 2.13
Mínimo espesor para estructuras en sistemas de captación aérea

Clase de Nivel de Protección	Material	Grosor [a] (mm)	Grosor [b] (mm)
I, II, III, IV	Plomo	-	2
	Acero (Inoxidable galvanizado)	4	0.5
	Titanio	4	0.5
	Cobre	5	0.5
	Aluminio	7	0.65
	Zinc	-	0.7

[a]: Previene perforaciones, puntos calientes o ignición

[b]: Solo para láminas metálicas si no es importante prevenir perforaciones, puntos calientes o ignición.

Tabla 2.14-a
Mínimo espesor para estructuras en sistemas de captación aérea

Material	Configuración	Mínima área (mm ²) [8]	Comentarios
Cobre	Cinta sólida	50	2 mm mínimo de grosor
	Alambre [7]	50	8 mm de grosor
	Trenzado	50	1.7 mm mínimo de diámetro por hilo
	Alambre [3] y [4]	200	16 mm de diámetro
Cobre recubierto de plata [1]	Cinta sólida	50	2 mm mínimo de grosor
	Alambre	50	8 mm de grosor
	Trenzado	50	1.7 mm mínimo de diámetro por hilo

FUENTE: IEC 62305-3, Tablas: 6, 7, 8 y 9, páginas 26-30.

Tabla 2.14-b
Mínimo espesor para estructuras en sistemas de captación aérea

Material	Configuración	Mínima área (mm²) [8]	Comentarios
Aluminio	Cinta sólida	70	3 mm mínimo de grosor
	Alambre	50	8 mm de grosor
	Trenzado	50	1.7 mm mínimo de diámetro por hilo
Aleación de Aluminio	Cinta sólida	50	2.5 mm mínimo de grosor
	Alambre	50	8 mm de grosor
	Trenzado	50	1.7 mm mínimo de diámetro por hilo
	Alambre [3]	200	16 mm de diámetro
Acero galvanizado en caliente [2]	Cinta sólida	50	2.5 mm mínimo de grosor
	Alambre	50	8 mm de grosor
	Trenzado	50	1.7 mm mínimo de diámetro por hilo
	Alambre [3]	200	16 mm de diámetro
Acero inoxidable [5]	Cinta sólida [5]	50	2.5 mm mínimo de grosor
	Alambre [5]	50	8 mm de grosor
	Trenzado	70	1.7 mm mínimo de diámetro por hilo
	Alambre [3] y [4]	200	16 mm de diámetro

FUENTE: IEC 62305-3, Tablas: 6, 7, 8 y 9, páginas 26-30.

- [1]:** Recubrimiento en caliente o galvanizado, grosor mínimo de capa 1 µm.
[2]: El recubrimiento deberá ser liso, continuo y libre de impurezas, grosor mínimo de la capa 50 µm.
[3]: Aplicable solo para varillas tipo Franklin, para aplicaciones donde la tensión mecánica como la carga del viento no son determinantes, un diámetro 10mm. Una varilla tipo Franklin de 1 m de longitud máxima con una fijación adicional se puede usar.
[4]: Aplicable solo a varillas de tierra con alma de plomo

- [5]: Cromo $\geq 16\%$, níquel $\geq 8\%$, carbón $\leq 0.07\%$
- [6]: Para acero inoxidable incrustado en concreto, y/o en concreto directo con material inflamable, los tamaños mínimos deberán ser aumentados a 78 mm^2 (10 mm de diámetro) para alambre y 75 mm^2 (grosor mínimo de 3mm) para cinta sólida.
- [7]: 50 mm^2 (8 mm de diámetro) se puede reducir a 28 mm^2 (6 mm de diámetro) en ciertos usos donde la fuerza mecánica no es requisito esencial. Se debería considerar, en este caso, reducir el espacio entre los aseguradores.
- [8]: Si aspectos térmicos y mecánicos son importantes, estas dimensiones se pueden aumentar a 60 mm^2 para cinta sólida y a 78 mm^2 para alambre
- [9]: La sección transversal mínima para evitar que se derrita es 16 mm^2 (cobre), 25 mm^2 (aluminio), 50 mm^2 (acero) y 50 mm^2 (acero inoxidable) para una energía específica de $10000 \text{ kJ}/\Omega$
- [10]: El grosor, el ancho y diámetro son definidos en $\pm 10\%$

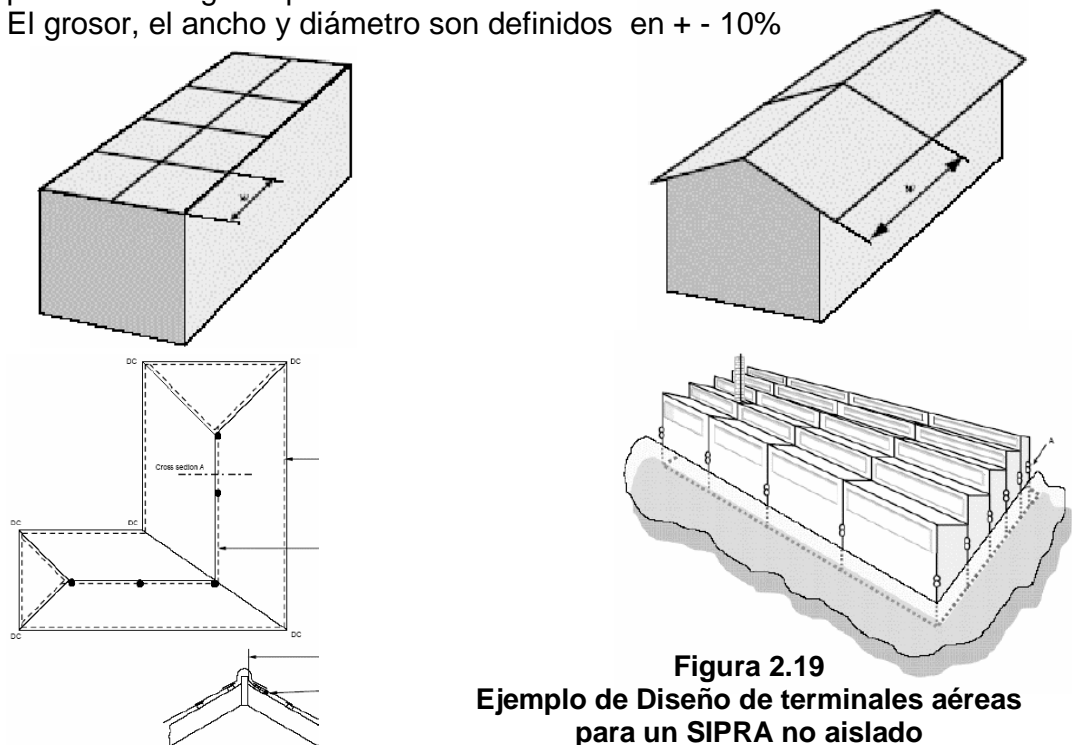


Figura 2.19
Ejemplo de Diseño de terminales aéreas
para un SIPRA no aislado

FUENTE: IEC 62305-3, Figura F.20, Páginas:119-121

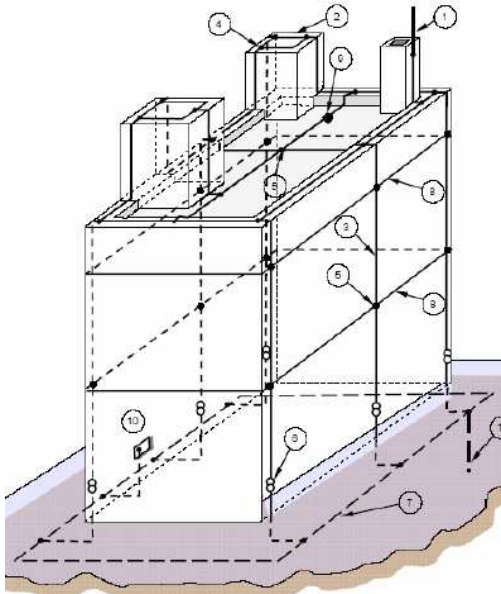


Figura 2.20

Posicionamiento de un SIPRA externo sobre una estructura hecha de material aislante (Madera o ladrillo) con altura hasta 60 m, techo plano y con accesorios en techo

- 1 Varilla de Terminal aérea
- 2 Conductor horizontal Terminal aérea
- 3 Bajante
- 4 Unión tipo T
- 5 Unión tipo cruce
- 6 Unión de prueba
- 7 Arreglo de Puesta a Tierra
- 8 Conductor de anillo equipotencial
- 9 Techo
- 10 Terminal para conexión de barra de equipotencialización
- 11 Arreglo de Puesta a Tierra

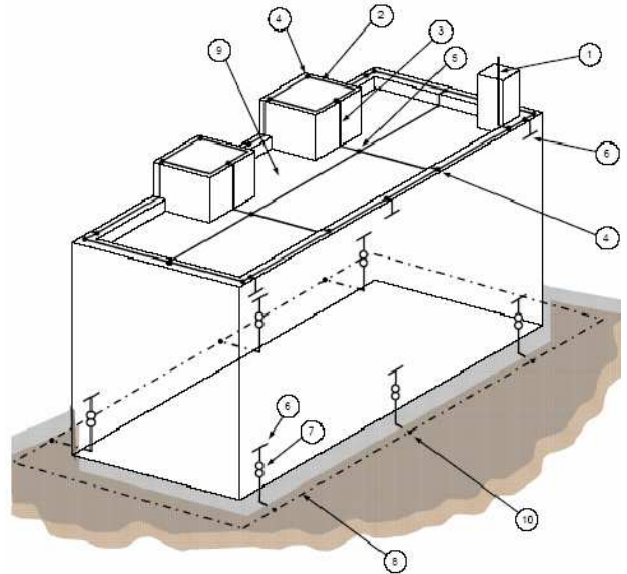


Figura 2.21

Construcción de un SIPRA externo sobre estructura de concreto reforzada con acero usando el refuerzo de paredes externas como componentes naturales

- 1 Varilla de Terminal aérea
- 2 Conductor horizontal Terminal aérea
- 3 Bajante
- 4 Unión tipo T
- 5 Unión tipo cruce
- 6 Conexión a la varilla de acero de refuerzo
- 7 Punto de prueba
- 8 Arreglo de Puesta a Tierra
- 9 Techo
- 10 Unión tipo T resistente a la corrosión.

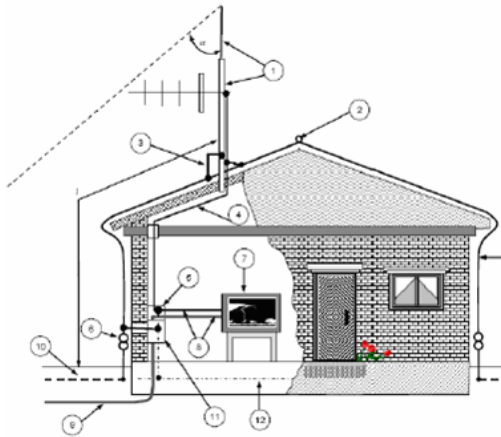


Figura 2.22
Ejemplo de construcción de un SIPRA de una casa con antena de TV usando mástil como varilla de Terminal aérea

- 1 Mástil metálico
- 2 Conductor horizontal Terminal aérea sobre el lomo del techo
- 3 Unión entre las bajantes y el mástil metálico de la antena
- 4 Cable de antena
- 5 Barraje de puesta a tierra
- 6 Punto de prueba
- 7 Televisor (TV)
- 8 Ruta paralela del cable y cable de energía eléctrica
- 9 Cable de energía eléctrica
- 10 Sistema de puesta a tierra
- 11 Caja principal de distribución de energía con DPS
- 12 Electrodo de fundación
- 13 Conductor del SIPRA

- L Longitud distancia de separación
- α Angulo de protección

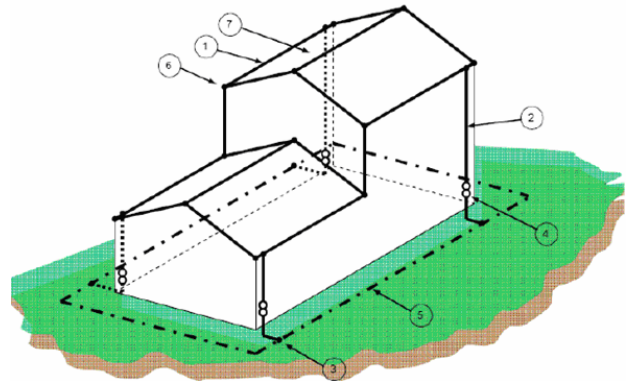


Figura 2.23
Ejemplo de construcción de un SIPRA de estructuras con material aislante con diferentes niveles de techo

- 1 Conductor horizontal
- 2 Bajante
- 3 Unión tipo T resistente a la corrosión
- 4 Punto de prueba
- 5 Sistema de puesta a tierra
- 6 Unión tipo T sobre el lomo del techo
- 7 Tamaño de la malla

FUENTE: IEC 62305-3, Figura F.30 y 34, Página 131 y 135

2.3.2 Sistemas de conductores bajantes

Las bajantes son un grupo de conductores sin fusibles ni interrupciones, en contacto eléctrico con los elementos de interceptación de rayos y en lo posible, que lleguen directamente y sin curvas a la puesta a tierra; su función es encaminar las corrientes de rayo y disminuir los efectos a nivel interno del campo magnético que pueden incidir sobre la instalación a proteger, en forma segura a tierra.

Las bajantes deben ser ubicadas de tal manera que a partir del punto de impacto hasta la tierra se cumplan los siguientes requisitos:

- Existencia de varios caminos paralelos para la corriente.
- La longitud de los caminos de corriente sea mínima
- Equipotencialización de todas las partes conductoras

Se deben instalar tantas bajantes como sea posible, igualmente espaciadas alrededor del perímetro interconectado por el anillo conductor lo cual reduce la posibilidad de chispas peligrosas y facilita la protección interna.

Ubicación:

Tabla 2.15
Cuadro de Ubicación de bajantes

Ubicación en sistemas:	Características		Nº de bajantes
Aislados	Sistema de captación tipo varillas	Montadas en postes o mástiles no metálicos o de madera sin refuerzo en acero interconectado	Al menos una por cada estructura
		Montados en postes o mástiles metálicos o con material con acero interconectado	No es necesario bajantes
	Sistema de captación tipo Cables colgantes		Es necesario al menos una bajante en cada soporte de los cables
	Sistema de captación tipo Red de conductores		Es necesario al menos una bajante en cada soporte del terminal
No aislados	Sistema de Protección externo	Para cada sistema no debe ser menor a 2 y debe estar distribuido por el perímetro de la estructura a proteger sujeto a restricciones prácticas y arquitectónicas (las distancias de separación se especifican de acuerdo a la tabla 15)	

FUENTE: IEC 62305-3

Tabla 2.16
Distancia de separación promedio
para las bajantes de acuerdo con el nivel de protección

Nivel de Protección contra Rayos	Distancia típica promedio (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

FUENTE: IEC 62305-3

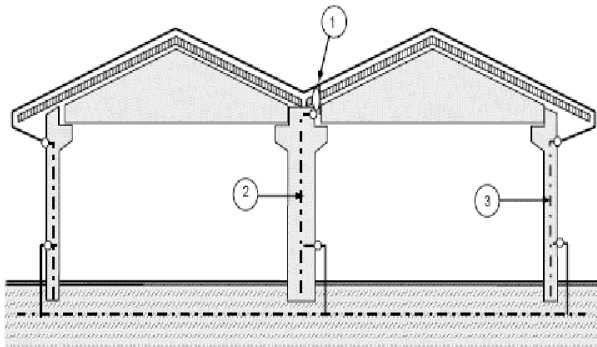


Figura 2.24
Esquema para colocar las bajantes

FUENTE: IEC 62305-3, Figura 7, página 105

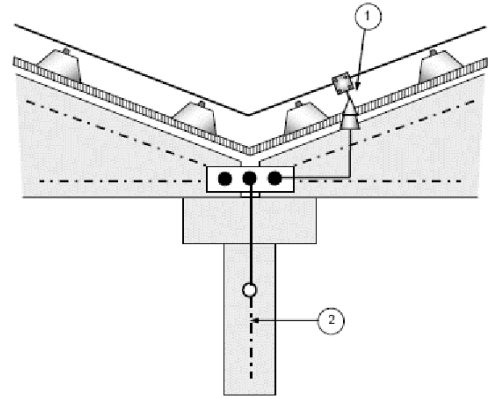


Figura 2.25
Detalle de bajante

2.3.2.1 Construcción

La longitud de las bajantes debe de ser lo menor posible, evitando la formación de lazos o curvaturas en su trayectoria, si esto no es posible, tener en cuenta las recomendaciones de la NFPA – 780 en las siguientes figuras:

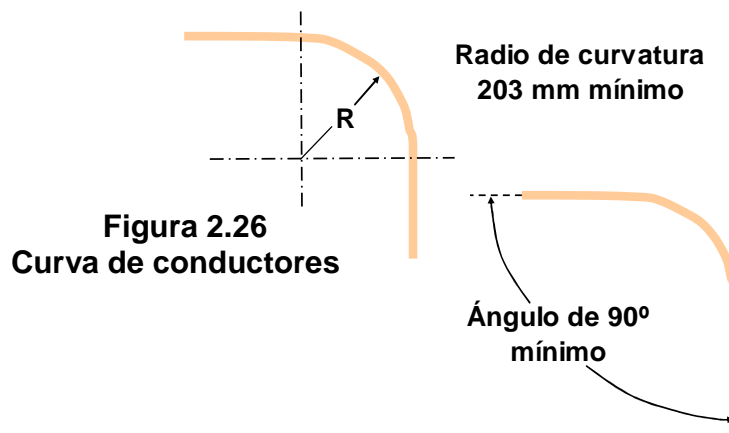


Figura 2.26
Curva de conductores

FUENTE: NFPA – 780

Pueden ser consideradas bajantes naturales:

- a) Estructuras metálicas que garanticen una continuidad eléctrica durable entre sus partes (Ejemplos: grapas, soldaduras, abrazaderas, etc.) y sus especificaciones sean al menos igual a las mostradas en las tablas 18 a y b
- b) Los marcos metálicos de la estructura
- c) Los elementos de fachada, de perfiles o rieles metálicos, garantizando que sus dimensiones cumplan con los requisitos para los conductores bajantes, en tuberías o láminas metálicas, su espesor no debe de ser menor a 0.5mm. y debe cumplir con la continuidad eléctrica vertical.

2.3.3 Sistemas de Puesta a Tierra

La puesta a tierra es una parte fundamental del sistema de protección contra rayos que contribuye de forma sustancial a la seguridad del personal y de los equipos en caso de la incidencia de un rayo, puesto que provee una equipotencialidad a los equipos y estructuras y ofrece una trayectoria de baja resistencia a la corriente del rayo, permitiendo su dispersión y disipación en el terreno sin causar daño.

Una puesta a tierra además de resistencia, presenta una capacitancia e inductancia debido a su configuración; cada uno de estos parámetros R,L,C, influyen en la capacidad de conducción de corriente en el suelo. Dicha situación se valora en el diseño de la puesta a tierra ya que cuando se inyecta

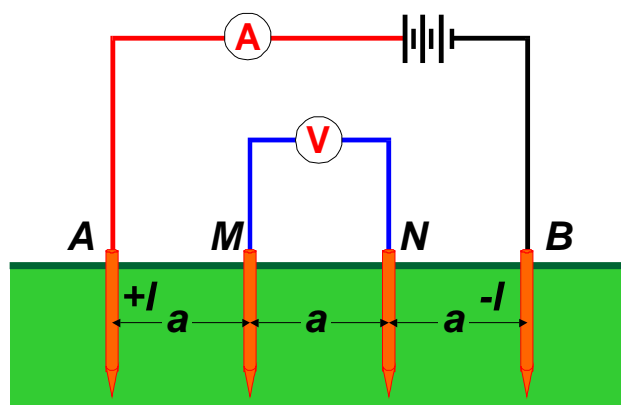
una corriente tipo rayo, ésta sufre la oposición de la impedancia característica de la puesta a tierra.

Todo terreno tiene características inherentes a él, por ejemplo las capas que la conforman, el PH, humedad, etc., las cuales hacen que cada lugar sea distinto a otro. Algunas de las características que nos interesan para poder diseñar una puesta a tierra son las siguientes:

- Resistividad
- Humedad
- PH
- Características físicas y topología general del suelo.

2.3.3.1 Resistividad aparente y estratificación del terreno

Existen varios métodos para medir la resistividad del terreno en análisis, de las cuales se describe el más usado que es el método de Wenner.



$$\rho = 2\pi a R$$

Figura 2.27

Medición de Resistividad por el Método de Wenner

2.3.3.2 Requisitos Mínimos

Los requisitos mínimos a considerar en una Puesta a Tierra son:

- Un adecuado valor de la resistencia para cada tipo de instalación
- Mínima variación de resistencia a cambios ambientales
- Garantizar una vida útil razonable (Como todo material eléctrico por lo menos debería presentar sus mismas características durante 10 años).
- Resistente a la corrosión.
- Costos razonables, sin comprometer la seguridad.
- Permitir su mantenimiento periódico.
- Cumplir los requerimientos de las normas y especificaciones.

2.3.3.3 Funciones

Las principales funciones que debe tener una puesta a tierra son:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar las corrientes de falla con suficiente capacidad.
- Eliminar ruidos eléctricos.
- En algunos casos, servir como conductor de retorno.
- Transmitir señales de RF en onda media.

De acuerdo con IEC 61000-5-2/1997, todas las puestas a tierra deben estar interconectadas a través de bajas impedancias. En las siguientes figuras se aprecia la disposición normativa.

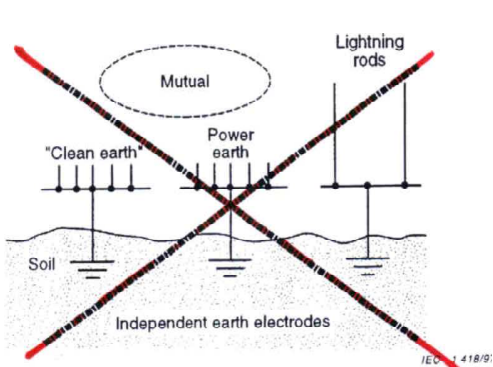


Figura 2.28

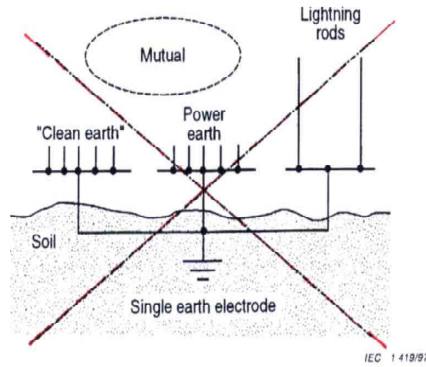


Figura 2.29

En la figura 2.27 y 2.28 se muestran los esquemas **no aceptados** por las normas y en la **figura 2.29 se expone la disposición recomendada**.

Figure 4 – The concept of a single earth electrode

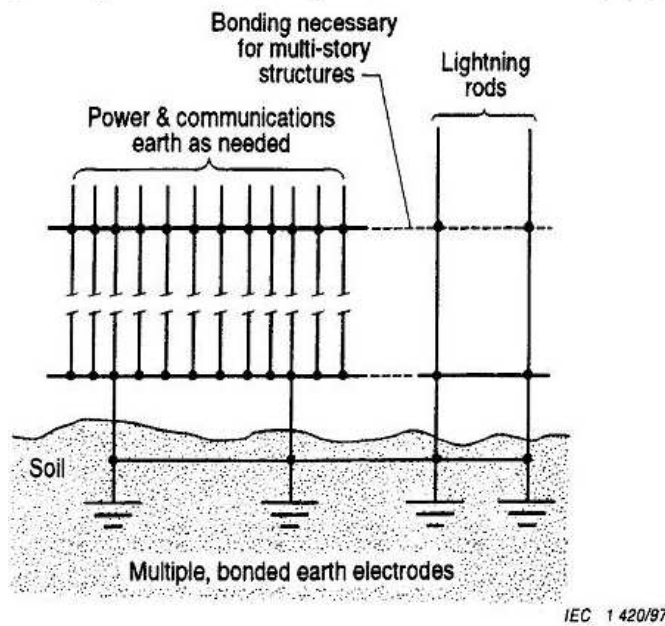


Figura 2.30

2.4 PROTECCIÓN INTERIOR

La protección interior es un tema que muy poco se trata en nuestro país, debido a que la mayoría de diseñadores y especialistas asumen que con una protección exterior es suficiente (“Un buen pararrayos”), sin embargo cuando los componentes más sensibles fallan o se queman recién pensamos en colocar algún “filtro” y si con ello no se arregla el problema entonces definitivamente la culpa es de la puesta a tierra”. Para que tengamos una efectiva protección integral debemos considerar cada parte involucrada (Protección interior, exterior, bajantes, puesta a tierra, etc.), de lo contrario el sistema no cumplirá con su labor de protección.

El sistema de Protección interior evita que ocurran descargas eléctricas peligrosas que podrían presentarse en el interior de la estructura a causa de la circulación de corrientes de rayo en el sistema de protección interno o en otras partes conductoras de la estructura. Para evitar estas descargas peligrosas hacemos uso de los sistemas equipotenciales y aislamiento eléctrico entre las partes.

2.4.1 DPS

Un Dispositivo contra Sobretensiones (**DPS**), tal como se indica en las definiciones, limita el nivel de la sobretensión, mediante la absorción de la mayor parte de la energía transitoria, minimizando la transmitida a los equipos y reflejando la otra parte hacia la red.

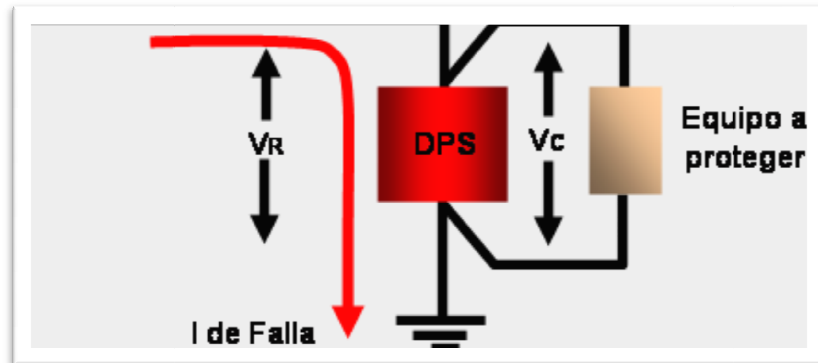


Figura 2.31
DPS

2.5 SISTEMAS EQUIPOTENCIALES

De acuerdo con el artículo 250-75 de la NFPA 70 y la API 2003 – 1998 Protection Against Ignitions Arising Out of Static, las canalizaciones metálicas, bandejas porta cables, blindajes de cables, armaduras de cables, encerramientos, marcos, herrajes y otras partes metálicas no portadoras de corriente, se deben conectar equipotencialmente y en forma efectiva, para asegurar la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir en forma segura cualquier corriente de falla que sea impuesta. Se deben quitar de las roscas, puntos y superficies de contacto todas las pinturas, barnices o recubrimientos similares no conductores o bien conectarlos por medio de accesorios diseñados de tal manera que hagan innecesario dicho proceso.

Los puentes de conexión equipotencial deben ser de cobre u otro material resistente a la corrosión.

2.5.1 Dispositivos contra sobretensiones (DPS)

Se utilizan cuando la unión con conductores equipotenciales no es conveniente, estos se deben colocar de tal manera que puedan ser inspeccionados

2.5.2 Aislamiento eléctrico de los sistemas de protección

El aislamiento eléctrico respecto a partes metálicas internas, sistemas eléctricos, líneas de telecomunicaciones protegidas, puede ser logrado mediante la separación "s" de las partes:

$$S > k_i \frac{k_c}{k_m} l \quad (m)$$

K_i Nivel de protección del sistema contra rayos

K_c Depende del flujo de corriente por los conductores bajantes

K_m Depende del aislamiento entre las partes

l Longitud en metros a lo largo del Terminal captador, o del conductor bajante, medido desde el punto de distancia de separación bajo consideración y la unión equipotencial más cercana.

En el caso de líneas o partes conductoras externas conectadas a la estructura, es siempre necesario asegurar la unión equipotencial (por conexión directa o por medio de DPS) en el punto más cercano del ingreso a la estructura

En estructuras metálicas conectadas a estructuras de concreto reforzados con continuidad eléctrica interrumpida, las distancias de separación no son necesarias

Clase de SIPRA	<i>K_i</i>
I	0.08
II	0.06
III	0.04
IV	0.04

Tabla 2.17

Material	<i>K_m</i>
Aire	1
Concreto	0.5

Tabla 2.18

FUENTE: IEC 62305-3, tablas: 10 y 12, pagina: 30.

CAPÍTULO 3

DISEÑOS DE PUESTA A TIERRA

3.1 Consideraciones en el Diseño

El diseño de las puestas a tierra se realiza de acuerdo con las especificaciones técnicas de las siguientes normas:

- **IEC 61024-1** Protection of structures against lightning Part 1 General principles.
- **IEC 61024-1-2** Protection of structures against lightning Part 1-2 General principles – Guide B – Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection system.
- **NFPA 780 – 2000** Standard for lightning protection system y API 2003 – 1998 Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning and Stray Currents.
- **NEC 2002** National Electrical Code®
- Norma **Motorola R56**, Standards and Guidelines for Communication Sites

3.1.1 Consideraciones Generales de Modelamiento

El modelamiento se realiza de acuerdo con las especificaciones técnicas de la norma: **IEC 61024-1-2**

Para el cálculo del conductor se sigue la siguiente ecuación, asumiendo que se utilizarán conexiones exotérmicas:

$$A_{mm^2} = \frac{3 * I_0 * K_f * \sqrt{t_c}}{1,9740} \text{ (mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

- A_{mm^2} = Sección transversal del conductor a utilizar en mm²
 I_0 = Corriente de falla monofásica en el secundario (A).
 K_f = Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión T_m y una temperatura ambiente de 40°C.
 t_c = Tiempo de duración de la falla (s). Para cálculo del conductor se utilizó un tiempo de despeje de falla de 10 s.

Tabla 3.1
Constantes de materiales para puestas a tierra.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD	T_m	K_f
	(%)	(°C)	
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utilizan conexiones mecánicas a presión	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,64
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero galvanizado	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de cinc	8,6	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

FUENTE: Tierras, Favio casas Ospina

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE APANTALLAMIENTO

Se debe asegurar una unión eléctrica entre todas las partes metálicas de las estructuras involucradas, por ejemplo los cercos, la torre, etc.

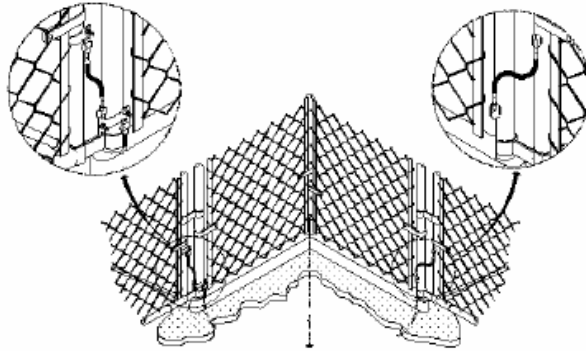


Figura 3.1
Equipotencialización del cerco metálico

FUENTE: Motorola R56



Figura 3.2
Ejemplo fotográfico de la equipotencialización del cerco.
FUENTE: Motorola R56

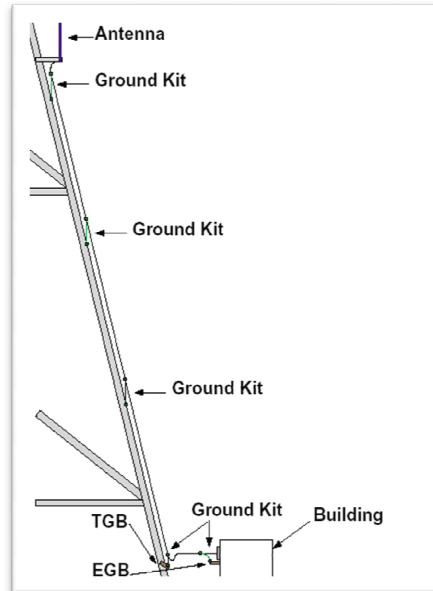


Figura 3.3
Equipotencialización de todas las partes metálicas

FUENTE: Motorola R56

3.2.1 Apantallamientos

Los apantallamientos normalmente no son implementados en estas aplicaciones, sin embargo dependiendo de utilización del lugar por las personas y de la zona dentro de un ámbito mayor, llamase campamento, ciudad u otro lugar donde este de por medio la protección que un pararrayos convencional no satisface implementamos lo desarrollado en la parte teórica, teniendo en cuenta el nivel de protección y haciendo uso del método más conveniente para la aplicación en específico, por ejemplo podemos apantallar una caseta de equipos que está alejado de la acción de protección del pararrayos en la figura 50, donde observamos los puntos en donde se deberían colocar puntas captadoras y cables de apantallamiento.

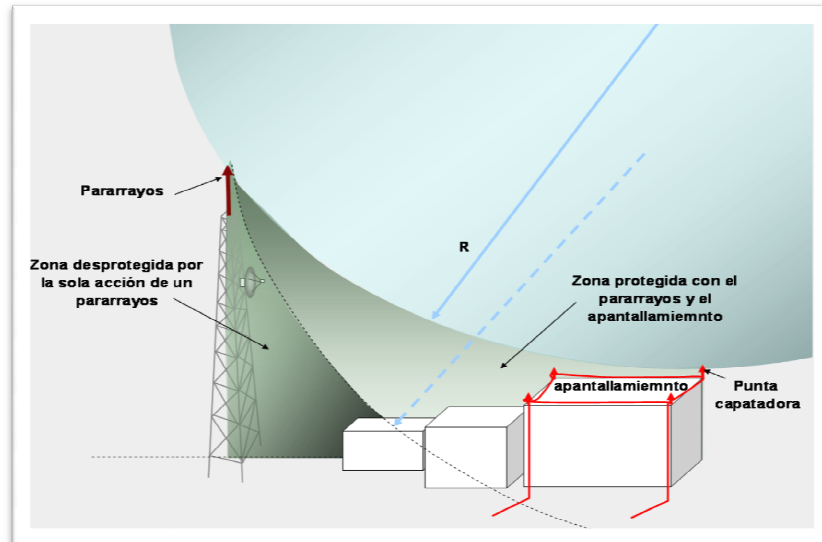


Figura 3.4
Ejemplo de Apantallamiento



Figura 3.5
La estructura o torre a tierra

3.2.2 Barrajes y kit de tierras

Los barrajes son de suma importancia en las conexiones de todo el sistema equipotencial tanto exterior como interiormente, la Norma Motorola muestra los siguientes esquemas y fotos:

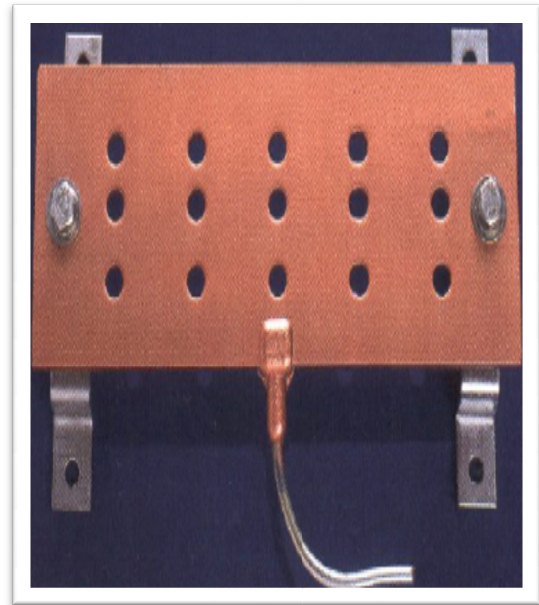
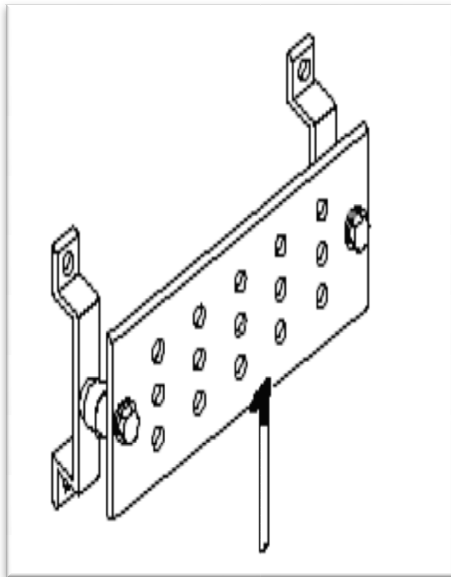


Figura 3.6
Esquema y foto de aplicación de un Barraje de tierras



Figura 3.7
Barraje de tierras en la torre

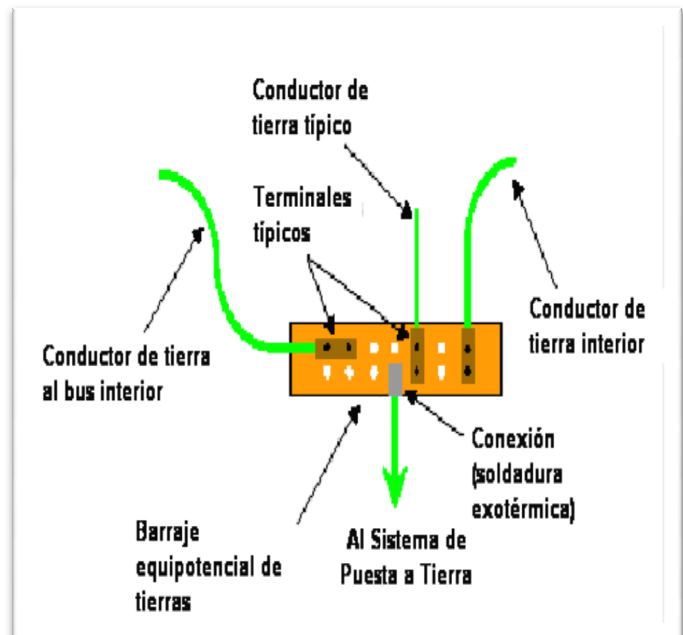


Figura 3.8
Barraje de tierra



Figura 3.9
Entrada de cables a caseta
o cuarto de comunicaciones

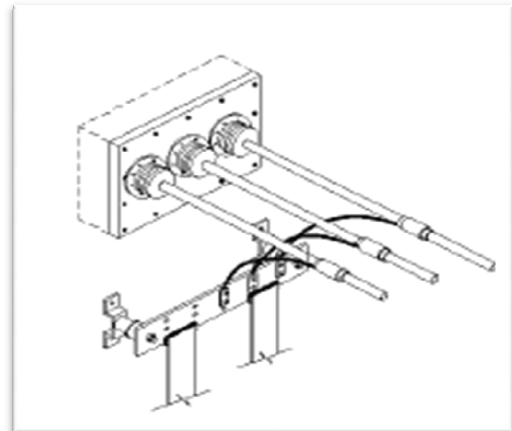


Figura 3.10
Kit de tierras al barraje de tierras

3.2.3 Vientos de la Torre

Los vientos en la Torre deben colocarse a tierra, tal como lo sugiere la Norma Motorola, en la que podemos encontrar los siguientes esquemas:

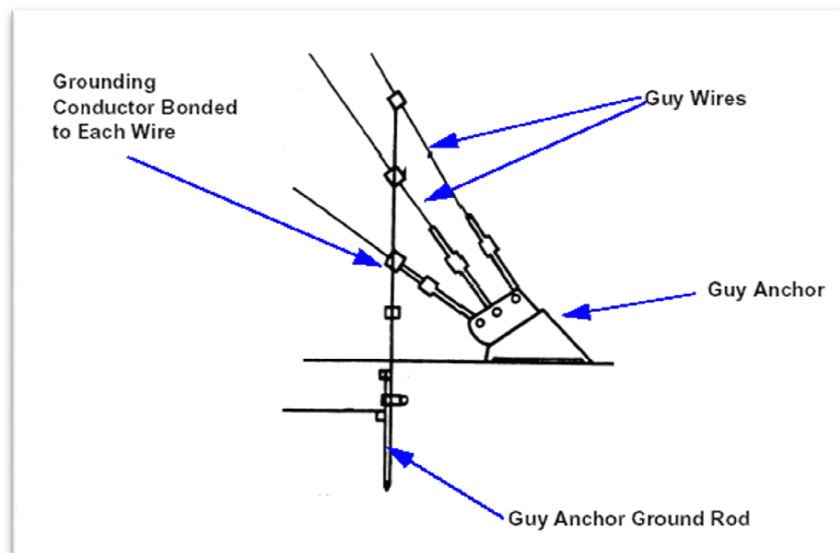


Figura 3.11 Detalle de consideraciones en Vientos

La misma norma nos muestra ejemplos fotográficos del tema



Figura 3.12
Fotografías de Vientos
a tierra en Motorola R56

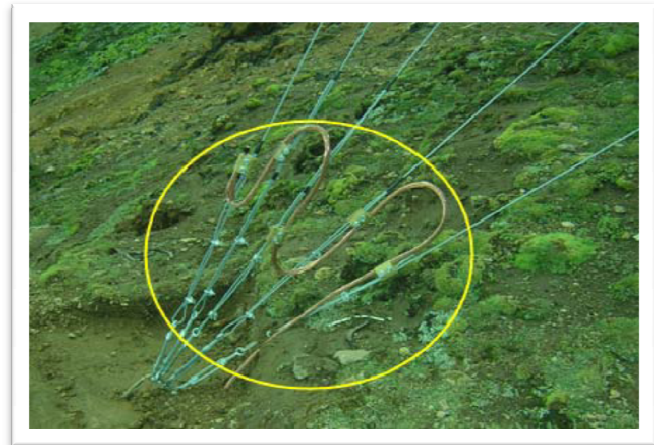


Figura 3.13
Ejemplo de Aplicación

3.2.4 Cercos Metálicos

Los cercos metálicos deben colocarse a tierra, una forma es la que se muestra en la figura 3.14



Figura 3.14
Cerco metálico

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Basados en las recomendaciones de la Norma Motorola R56, podemos definir un modelo general de diseño para proteger una caseta de comunicaciones con los siguientes elementos:

- Caseta de equipos (Donde encontraremos los equipos propiamente dichos y los sistemas de respaldo)
- Estructura o torre en la que se colocan antenas, equipos, etc de comunicaciones, así como elementos de protección contra rayos como pararrayos, barrajes, bajantes, etc.
- Vientos de la estructura o torre.
- Cerco metálico alrededor de la zona.

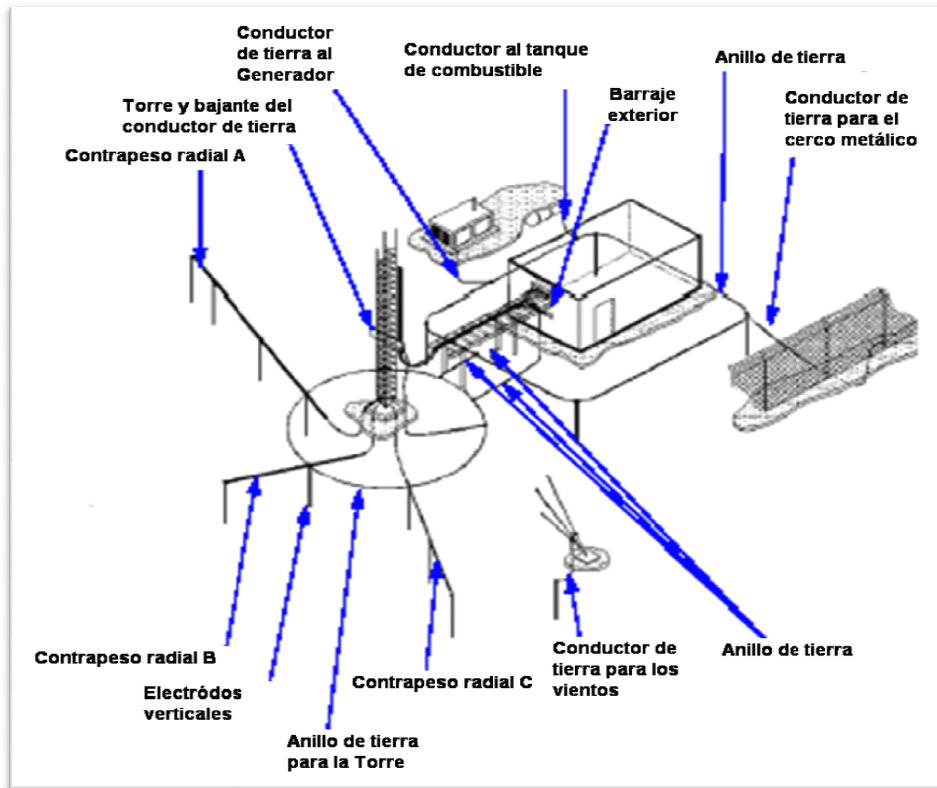


Figura 3.15-a
Diseño General de Sistema de Protección contra rayos para casetas de comunicaciones según la norma Motorola R56

El Diseño de Puesta a Tierra General es:

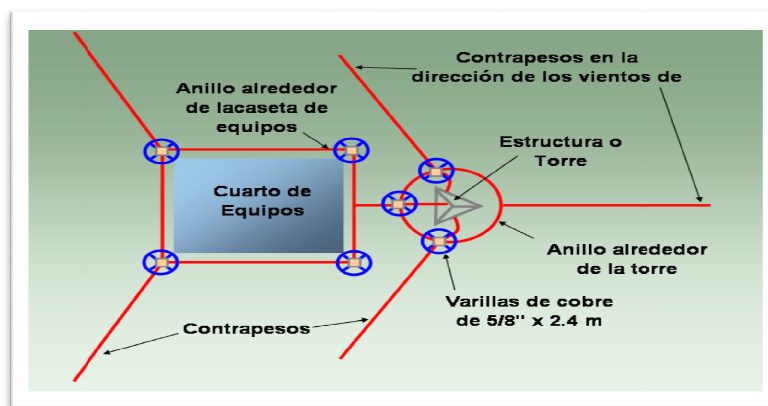


Figura 3.16
Diseño General de Sistema de Puesta a Tierra para un sistema de comunicaciones típico en presencia de Rayos

Se observan elementos bien definidos, como son:

- **Varillas**, se sugiere uso de cobre, enmarcado a las dimensiones mínimas a cumplir, según las especificaciones normativas, por ejemplo: varilla de cobre 5/8" x 2.4 m de largo
- **Cables desnudos**, los cables utilizados deben cumplir con las especificaciones normativas antes descritas, una buena opción son los cables de cobre desnudos de 70 mm², pudiendo ser también de 50 mm², por un tema de corrosión se prefiere el uso de 70 mm² de sección como mínimo.

Los cables instalados en zanjas lineales son llamados "**contrapesos**", las longitudes de estos contrapesos dependerá de los diseños realizados. Se suele aprovechar los contrapeso, para guiarlos en dirección de los vientos y de esta manera poder hacer que tengan una conexión directa a la malla de tierra.

- **Anillos**, van alrededor tanto de la torre como de la caseta de equipos y varían según las dimensiones que estos tengan.
- **Soldadura exotérmica**, tal como ya se describió, su rol es suma importancia, pues en presencia de rayos los esfuerzos mecánicos a los que se someten las uniones son altos, por tanto es recomendable asegurar estas uniones ya que si estas dejan de unir las mallas entonces tendríamos una configuración distinta a la diseñada inicialmente con resultados que podrían ser perjudiciales. También existen en el mercado una serie de elementos denominados "conectores certificados", los cuales cumplen el mismo rol.

- **Conectores Doble ojo**, no aparecen en el esquema, pero son elementos que sirven de unión entre los cables de la malla y las estructuras o de unión a los barrajes.

Condiciones de construcción

- Los conductores horizontales deben quedar a 50 cm. bajo la superficie.
- Las cabezas de los electrodos tipo varilla deben quedar a una profundidad mínima de 40 cm.
- Para las conexiones se debe emplear soldadura exotérmica o conectores que cumplen con las recomendaciones de las normas IEC 60364-5-54 / 542.3.2 o la IEEE-837, con el objeto de reducir las resistencias de contacto.

3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA

3.4.1 Subestación tipo

Normalmente la energía para los equipos es dada mediante la implementación de una subestación en un poste a la entrada de la zona en la que se ubica la torre y caseta de equipos, también puede ser que dependiendo de las aplicaciones requeridas sea una subestación diseñada para el lugar, en cualquier caso se cuenta con sistemas de respaldo en caso que la energía deje de alimentar a los equipos (Banco de baterías, paneles solares, etc.)

La subestación debe tener los sistemas de protección adecuados y correctamente colocados, ya que normalmente en el 99% de aplicaciones son colocados incorrectamente y son la principal causa de sobretensiones que terminan dañando los equipos, tal como se observa en la figura 3.17 no solamente están mal colocados los elementos de protección, sino que además

los cables de unión son tan largos, que generan en alta frecuencia una tensión peligrosa, que para este ejemplo terminó por quemar todo a su paso.



Figura 3.17
Ejemplo de Mala implementación de los electos en una subestación

Recomendaciones:

- Colocar los elementos de seguridad “DPS” o mal llamados pararrayos de línea, siguiendo la disposición mostrada en la figura 3.18
- Los cables de unión por cada metro genera 1 \square H, por tanto deben ser lo más cortos posibles

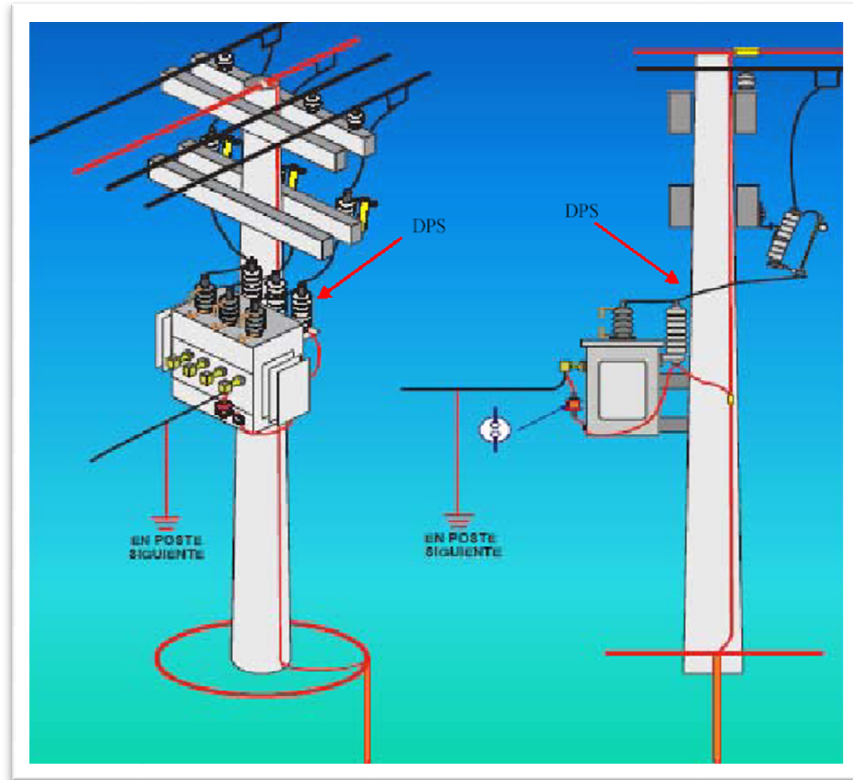


Figura 3.18
Correcta disposición de los elementos en un transformador en poste

Se debe seguir el esquema de la figura 3.19 para colocar el DPS:

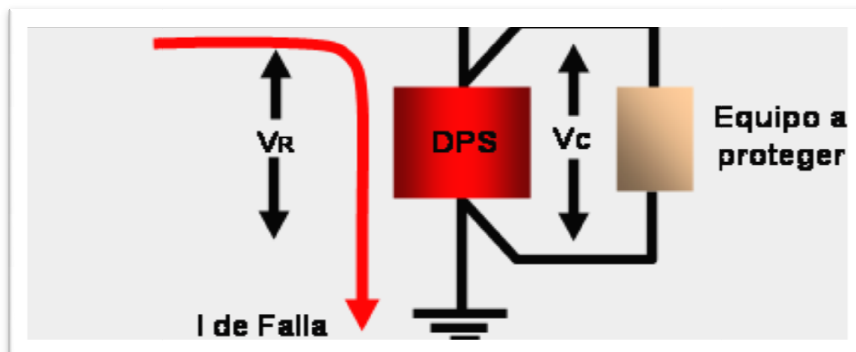


Figura 3.19
Esquema de conexión del DPS

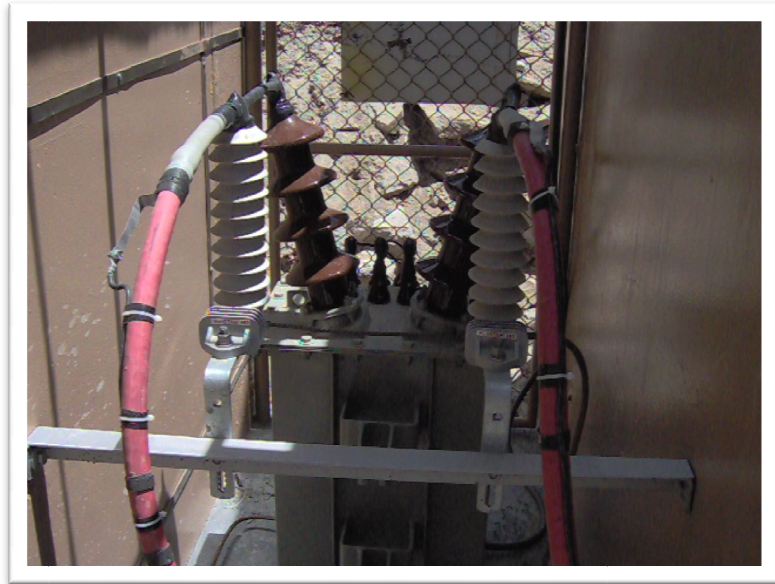


Figura 3.20
Ejemplo de la correcta forma de colocar los DPS

3.4.2 Protección interior

La Protección interior normalmente es obviada o se ve resumida a conectar a tierra los equipos que así lo dispongan y aún tengamos un sistema de protección exterior muy bueno los equipos podrían sufrir daño, debido a las peligrosas tensiones que se generan.

La Norma Motorola nos brinda imágenes de ejemplos de una buena implementación de las protecciones interiores, tal como lo observamos en la figura 3.21.

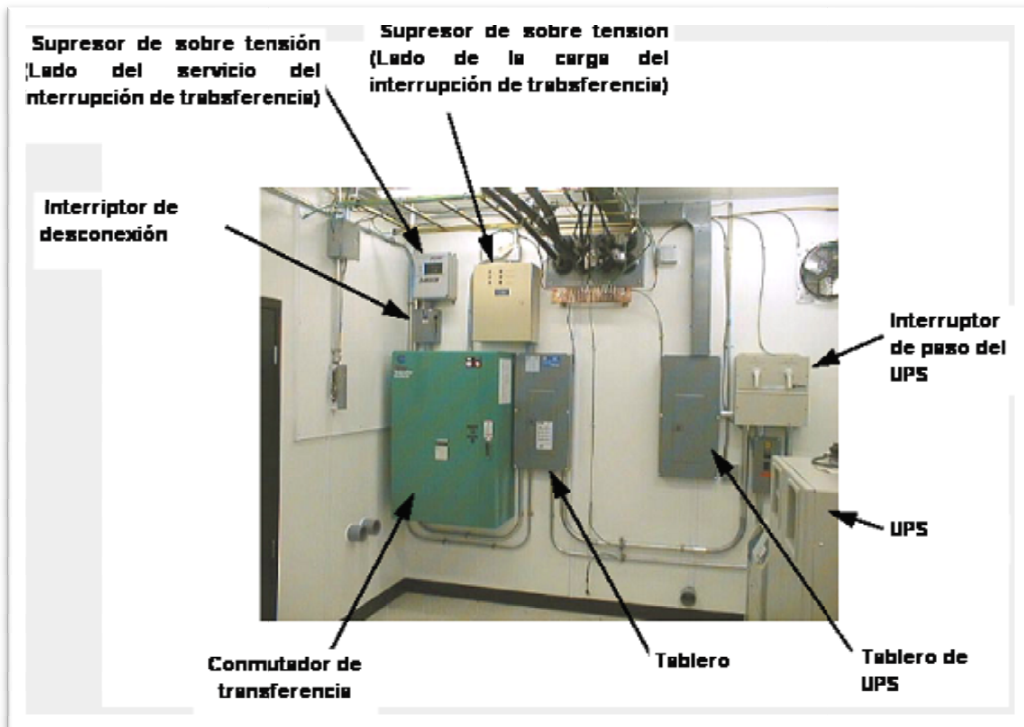


Figura 3.21
Correcta disposición de los elementos en el interior del cuarto de equipos

A continuación detallaremos las principales consideraciones a tener en cuenta para tener una efectiva protección interior.

3.4.3 Conexiones a tierra y equipotencialización interior

Observemos los esquemas de las figuras 3.22 en la que se puede ver la manera sugerida de colocar los conductores a tierra.

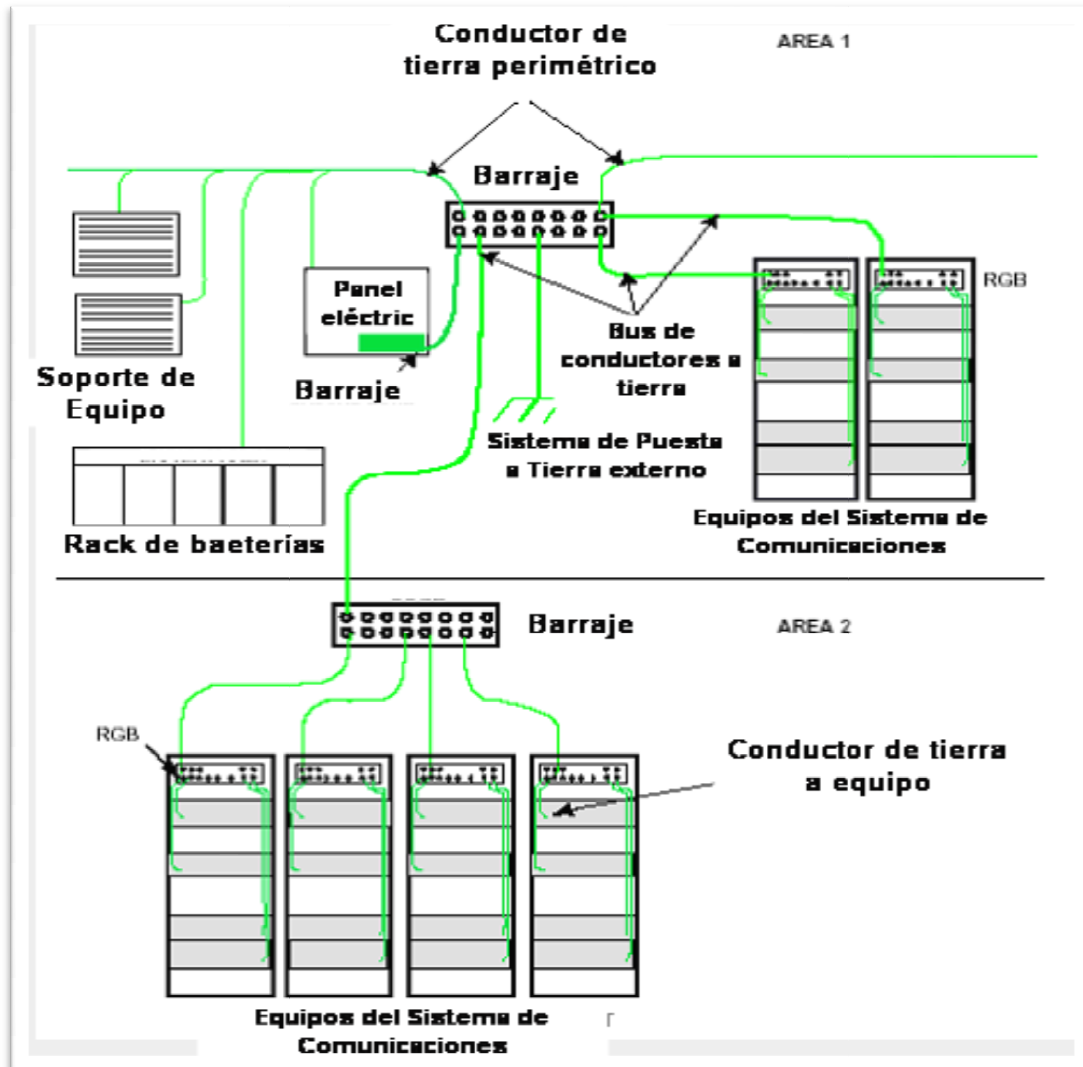


Figura 3.22
Conexión típica de tierras

Se debe tener cuidado en conectar las estructuras a tierra, observando la figura 3.23, podemos tener un mejor criterio al respecto

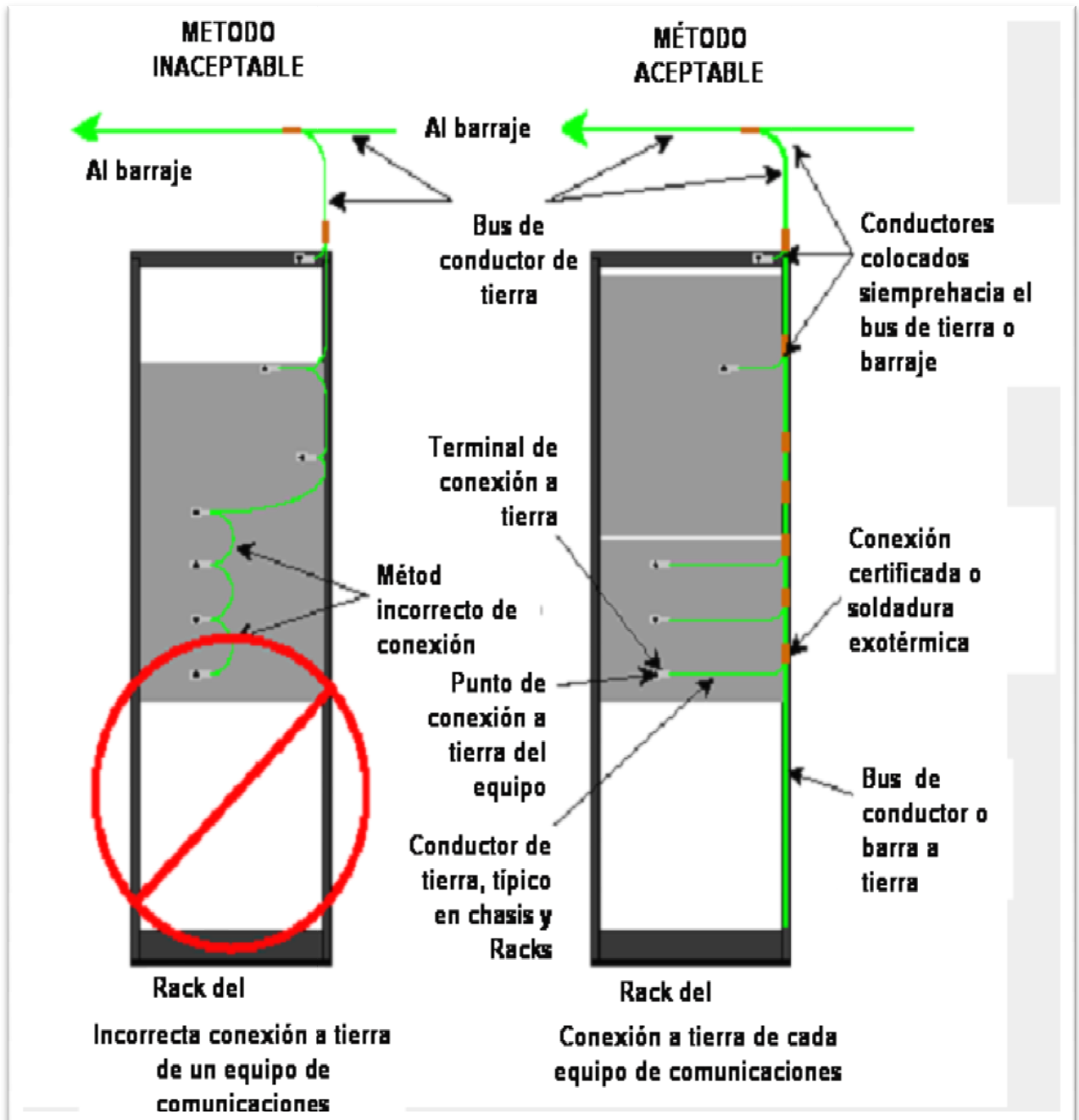


Figura 3.23
Forma incorrecta y correcta de conexiones

3.4.4 Barrajes de tierra interior

Los barrajes deben colocarse adecuadamente, por ejemplo podemos observar los esquemas siguientes:

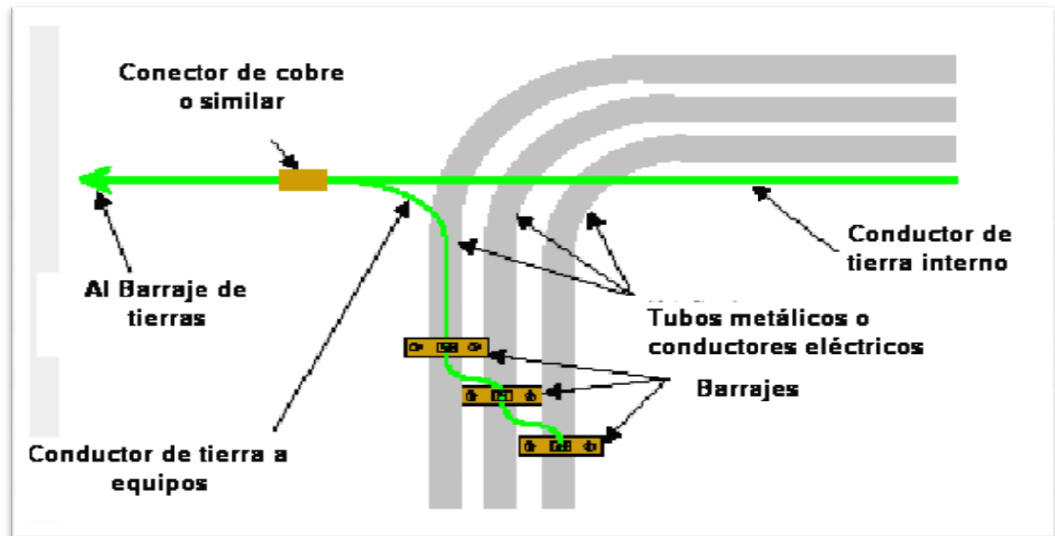


Figura 3.24
Barrajes correctamente instalados

También podemos observar las siguientes fotos en las que podemos ver las posiciones de los barrajes de tierras.



Figura 3.25
Barraje horizontal en el interior de un rack

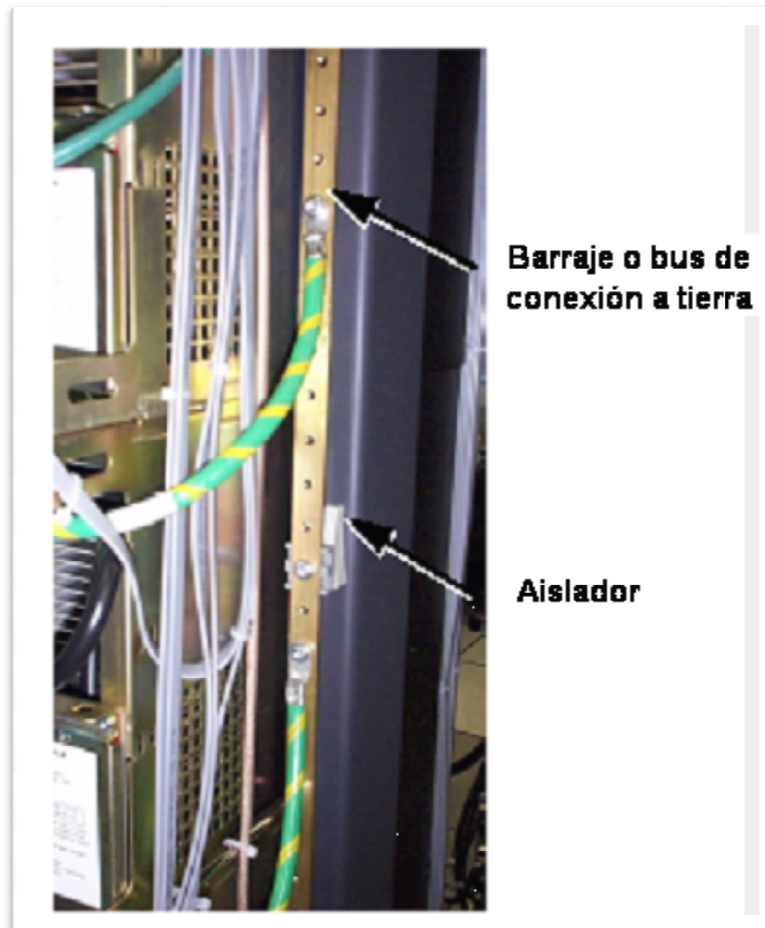


Figura 3.26
Barraje vertical en el interior de un rack

3.4.5 Filtros y protecciones

TVSS, de sus siglas en inglés: **T**ransient **V**oltaje **S**urge **S**upressours, son los supresores de transitorios de voltaje que son instalados en la red eléctrica, siguiendo el siguiente esquema enunciado en la Norma Motorola R56:

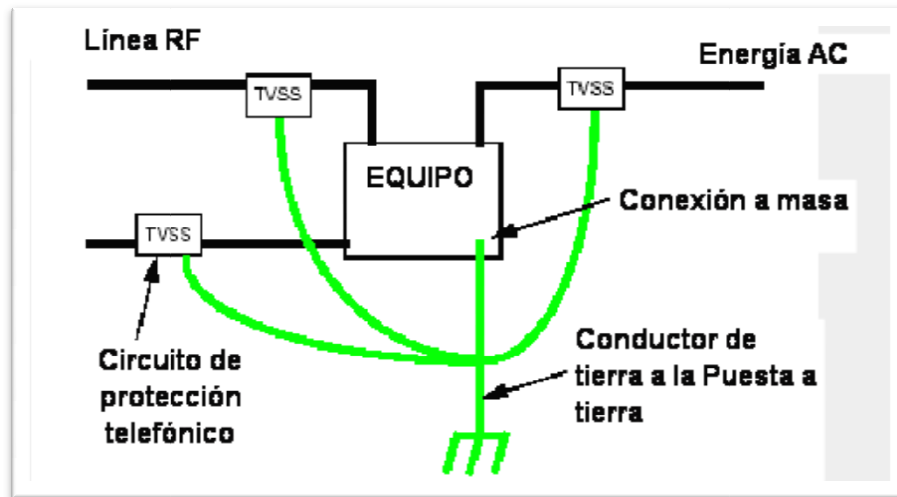


Figura 3.27
Supresores de transitorios de Voltaje: TVSS
Y su conexión a tierra

Un típico TVSS, presenta el siguiente esquema de conexión:

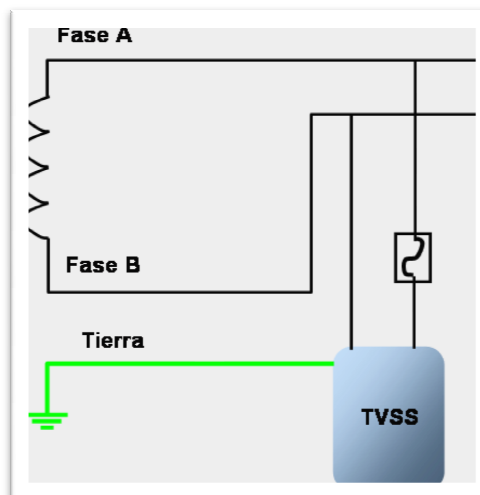


Figura 3.28
Circuito típico de un TVSS

En el Libro Tierras del ingeniero Favio Casas Ospina, podemos encontrar información muy valiosa sobre la forma adecuada de trabajar en el interior y exterior de los cuartos de equipos,

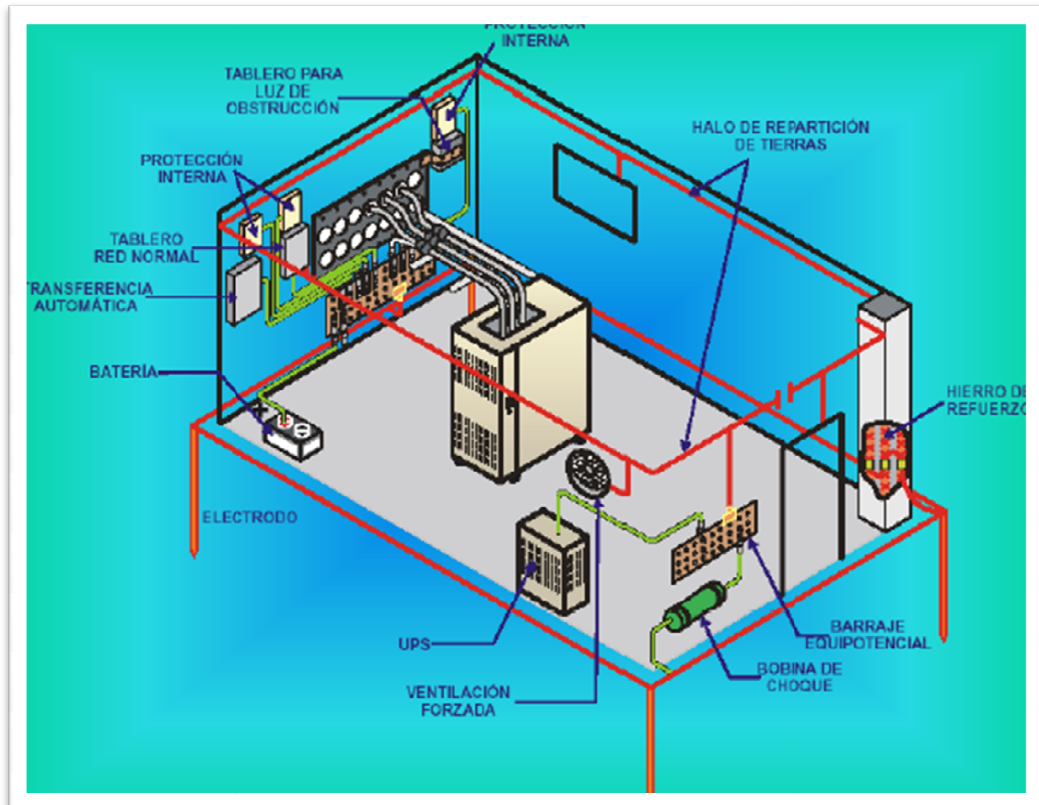


Figura 3.29
Esquema del sistema de protección interior
 extraído del libro Tierras de Favio Casas Ospina

Dispositivos de Protección en HF

Existe una gran variedad de filtros, dependiendo de la aplicación se puede elegir el más adecuado.

Halo de repartición de tierras

Elemento con el que se distribuye tierras a los equipos que lo requieran.

DPS, Los dispositivos contra sobre corrientes, se instalan en el tablero eléctrico de acuerdo a los requerimientos eléctrico del sistema.

3.4.6 Kit de tierras interior

Al igual que los kit de tierras exteriores, los interiores cumplen la misma función de llevar a tierra las pantallas de los cables, tal como se muestra en la figura 3.31, en la figura 3.32, se muestra un detalle de conexión.

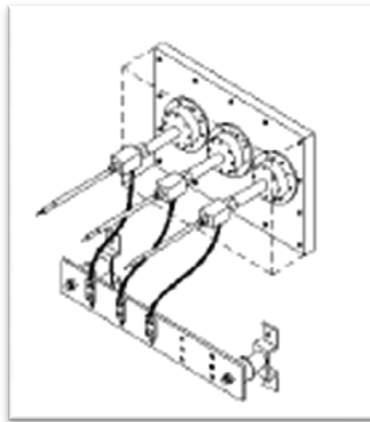


Figura 3.31
Kit de tierras interior

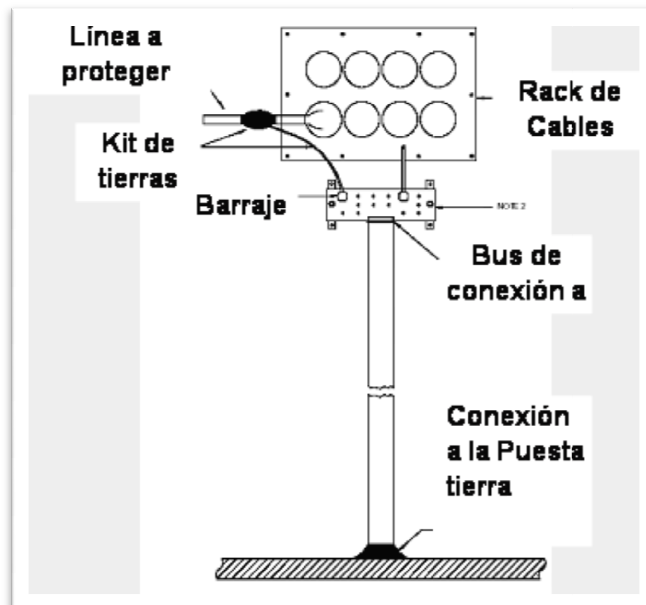


Figura 3.32
Detalle de aplicación del Kit de tierras

CAPÍTULO 4

TRABAJO DE CAMPO

4.1 RESULTADOS DE RESISTIVIDAD.

Se revisaron los siguientes puntos:

- a. Subestación N° 2
- b. Pararrayos al costado de la Subestación N° 2
- c. Cuarto de Comunicaciones y sala de equipos
- d. Subestación Eléctrica N° 01
- e. Planta, zona exterior
- f. Planta, zona interior
- g. Pararrayos - Laboratorio Químico
- h. Laboratorio y Tanque de petróleo
- i. Polvorín
- j. Escalerilla
- k. Pararrayos San Martín
- l. Subestación N° 3 - La Villa
- m. Cerro carbón
- n. Cerro a la espalada de la Villa
- o. Cerro Urugalda

- p. Pararrayos en la línea
- q. Estructura 0072904 en la LT
- r. Punto de salida y pararrayos Comarsa.

En todos los puntos se realizaron mediciones de resistencia de Puesta a Tierra, resistividad de terreno y toma de datos de sus principales características; siendo las resistividades obtenidas:

Tabla N° 4.1 Tabla de resistividades promedio por estación

ESTACION	RESISTIVIDAD PROMEDIO(Ω.m)
a. SE N° 2	443
b. Pararrayos SE N° 2.	1,174
c. Cuarto de Com. y sala de equipos	1,174
d. SE N° 1	1,233
e. Planta, zona exterior	361
f. Planta, zona interior	361
g. Pararrayos - Laboratorio Químico	1,662
h. Laboratorio y Tanque de petróleo	256
i. Polvorín	941
j. Escalerilla	4,798
k. Pararrayos San Martín	2,269
l. Subestación N° 3 - La Villa	1,041
m. Cerro carbón	2,242
n. Cerro a la espalada de la Villa	6,044
o. Cerro Urugalda	34,935
p. Pararrayos en la línea	2,374
q. Estructura 0072904 en la LT	3,712
r. Punto de salida y pararrayos Comarsa.	28,369

La medición se hizo aplicando el método de Wenner, para ello se utilizó un telurómetro marca Mecabras MTD 20 KW. 1.760 Hz.

RESISTIVIDAD PROMEDIO ANALIZADO

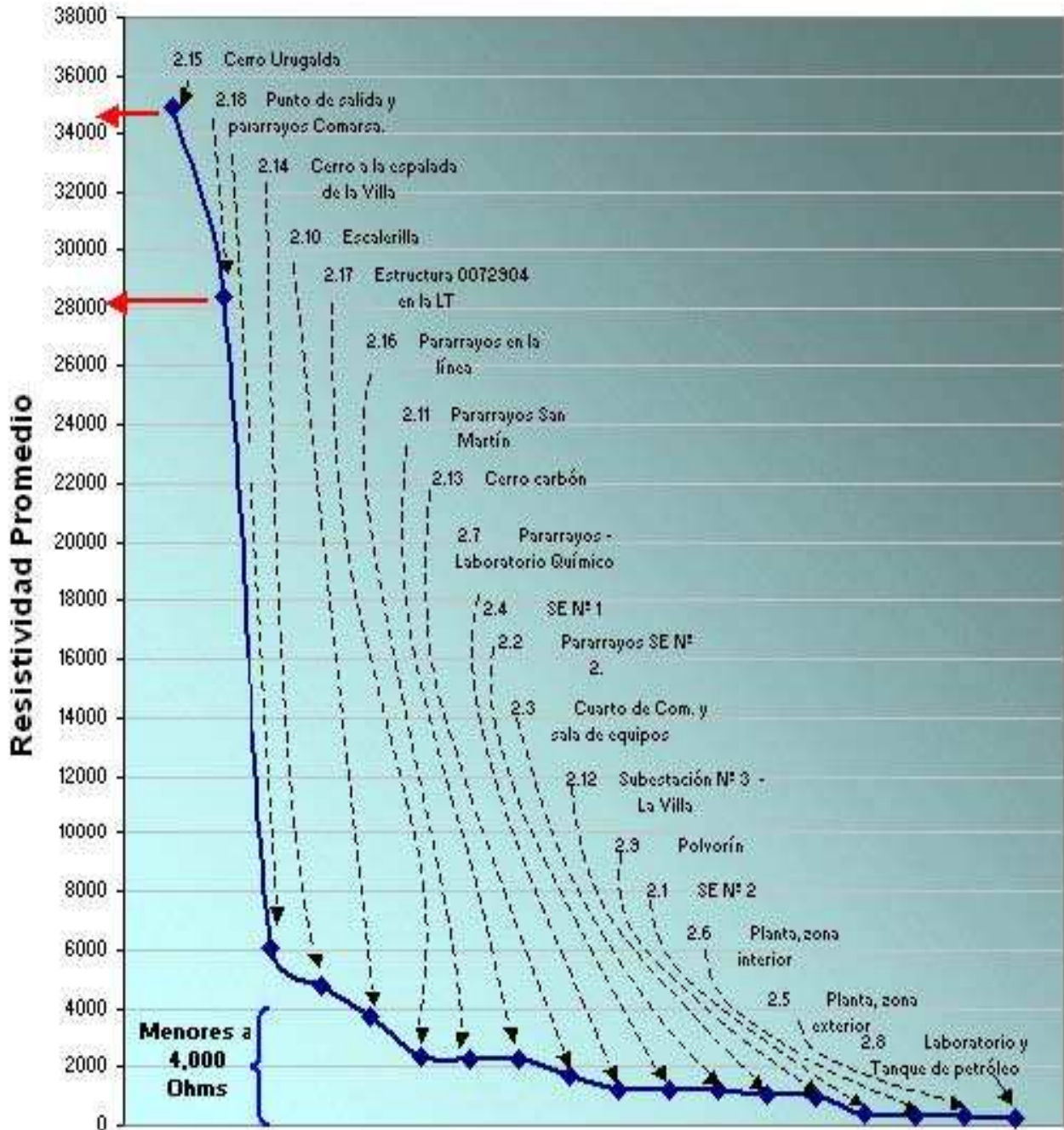


Figura N° 4.1 Resistividades en los Puntos Medidos

4.2 CONSIDERACIONES DE MODELAMIENTO

El modelamiento se realizó de acuerdo con las especificaciones técnicas de las normas: IEC 61024-1-2 e IEEE 80 - 2000 "Guide for safety in a.c. substation grounding".

- Para el modelamiento se utilizó el programa TecAT IV Plus 3.2
- Como tiempo de despeje de falla, se asumió un valor de 10 s como lo recomienda la norma IEEE 80 - 2000 para sistemas flotantes. Esto quiere decir que si la falla se despeja en un tiempo mucho menor, los rangos de seguridad serán mucho mayores.
- El diseño fue ajustado para controlar las tensiones de paso y de contacto. Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima corriente que puedan soportar, debido a las tensiones de paso o de contacto y no el valor de resistencia de Puesta a Tierra tomado aisladamente. Sin embargo, un bajo valor de resistencia de Puesta a Tierra es siempre deseable para disminuir el máximo potencial de tierra.
- Para el cálculo del conductor se utilizó la siguiente ecuación, asumiendo que se utilizarán conexiones exotérmicas:

$$A_{mm} = \frac{3 * I_0 * K_F * \sqrt{t_c}}{1,9740} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Donde:

A_{mm} = Sección transversal del conductor a utilizar en mm^2 (mínimo $67,44\text{mm}^2 = 2/0$ AWG).

I_0 = Corriente de falla monofásica en el secundario (A)

K_F = Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión T_m y una temperatura ambiente de 40°C .

t_c = Tiempo de duración de la falla (s). Para cálculo del conductor se utilizó un tiempo de despeje de falla de 10 s.

Tabla Nº 4.2 Tabla de Constantes de materiales para puestas a tierra

MATERIAL	Conductividad (%)	T_m ($^\circ\text{C}$)	K_f
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utilizan conexiones mecánicas a presión	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierto de cobre	20	1084	14,64
Aceero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero galvanizado	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de zinc	8,6	419	28,96
Aceero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

RESULTADOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.

Lugar	Telurómetro usado (AF: Alta Frecuencia, BF: Baja Frecuencia)	Vf	Xi	Xp	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (Ω)
2.1 SE N° 2	BF 1,760 Hz.	0.02	80	50.2	32.8
2.2 Pararrayos SE N° 2.	BF 1,760 Hz.	0.00	60	37.7	11.0
2.3 Cuarto de Com. y sala de equipos	BF 1,760 Hz.	0.00	60	37.7	11.0
2.4 SE N° 1	BF 1,760 Hz.	10.50	120	75.4	12.6
2.5 Planta, zona exterior	BF 1,760 Hz.	15.50	150	94.2	7.0
2.6 Planta, zona interior	BF 1,760 Hz.	15.10	150	94.2	18.8
2.7 Pararrayos - Laboratorio Químico	BF 1,760 Hz.	0.00	15	9.4	53.8
2.8 Laboratorio y Tanque de petróleo	BF 1,760 Hz.	1.50	200	125.6	1.6
2.9 Polvorín PT 1	BF 1,760 Hz.	0.00	200	125.6	8.4
2.9 Polvorín PT 2	BF 1,760 Hz.	0.00	200	125.6	22.8
2.10 Escalerilla, Poste N° 0072891	AF 25 MHz.	0.00	100	62.8	10.0
2.10 Escalerilla, Pararrayos	AF 25 MHz.	0.00	100	62.8	22.0
2.11 Pararrayos San Martín	AF 25 MHz.	0.00	100	62.8	152.0
2.12 Subestación N° 3 -La Villa	BF 1,760 Hz.	3.20	100	62.8	27.0
2.13 Cerro carbón	BF 1,760 Hz.	0.00	150	94.2	66.2
2.14 Cerro a la espalda de la Villa	BF 1,760 Hz.	0.00	100	62.8	950.0
2.15 Cerro Urugalda - PT frontal	BF 1,760 Hz.	0.00	20	12.6	2,180.0
2.15 Cerro Urugalda - PT posterior	BF 1,760 Hz.	0.00	20	12.6	863.0
2.16 Pararrayos en la línea	AF 25 MHz.	0.00	100	62.8	2.6
2.17 Estructura 0072904 en la LT	AF 25 MHz.	0.00	100	62.8	55.0
2.18 Punto de salida y pararrayos Comarsa.	AF 25 MHz.	0.00	100	62.8	12.0

Donde:

	Para realizar mantenimiento o mejora total.
	No cumple con la Norma IEEE 80 - IEC 62305, debe realizar una puesta a tierra adecuada.
	Puestas a tierra con valor muy alto, se detallará solución en las propuestas de este informe.

Vf: Voltaje de falla, según norma, si este valor es mayor a 25 V, no se debe medir por seguridad. **Xi:** Distancia a la pica de Corriente **Xp:** Distancia a la pica de Potencial

4.3 DIAGNÓSTICO

Observamos de los datos obtenidos lo siguiente:

- Los puntos de mayor resistividad se encontraron en el Cerro Urugalda y en la salida de la Línea en Comarca, con $34,935 \Omega \times m$ y $28,369 \Omega \times m$, los demás puntos se encuentran por debajo de los $6,000 \Omega \times m$, ver Figura N° 4.1
- Las puestas a tierra del cerro, a la espalda de la Villa y Urugalda, por tener alta resistividad, sus valores de resistencia son las mayores registradas por encima de los 800 ohms. Respecto al pararrayos del Laboratorio Químico y escalerilla así como en Cerro Carbón y la estructura N° 0072904 de la línea de transmisión, sus valores de resistencia son 55 ohms. y 66,20 ohms. respectivamente, por encima del permitido, según Norma Peruana ($R_{max} = 25 \text{ ohm.}$), las Subestaciones N° 02 y 03, tienen un valor de resistencia alto, pero los principales problemas son las Tensiones de Toque y Paso.



Figura N° 4.1

- En Polvorín, se tiene un valor límite de resistencia de 22,8 Ohmios y en el cuarto de comunicaciones, al costado de la SE N° 02, la puesta a tierra tiene

un valor de 11 Ohmios, no cumple con las recomendaciones especificadas en la Norma R56 de Motorola.

- En general, las estructuras para pararrayos, tienen bajantes por medio de aisladores y separados una distancia constante, lo cual ante fenómenos atmosféricos genera un campo magnético en el interior de la instalación, por ello se recomienda unir la bajante a la estructura. Además, se observo que las estructuras y los vientos de las estructuras, no están colocados a tierra.

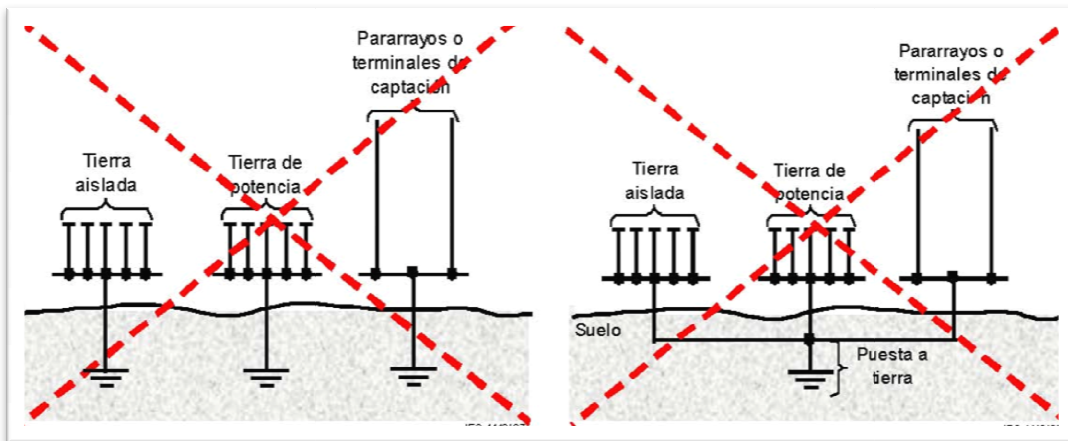


Figura Nº 4.2 Bajante por aisladores

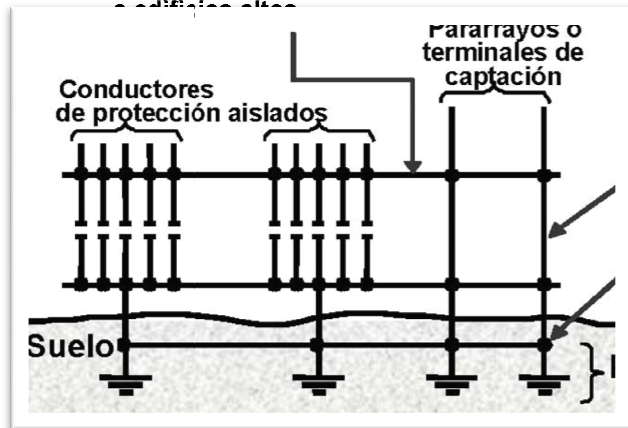
En la zona de la Subestación N° 02, la caseta del UPS y el cuarto de comunicaciones, así como la antena satelital y el medidor de referencia de coordenadas (GPS), poseen Puestas a Tierras separadas en unos casos y en otros compartidas, disposición que no cumple la norma IEC 61000-2-5 quien dispone que las tierras deben ser dedicadas y equipotencializadas a través de filtros (bobinas de choque) así como se muestra en la figura N° 4.5

Figura N° 4.3

Figura N° 4.4



Conexiones equipotenciales para edificaciones altas



Conexiones equipotenciales para edificaciones altas

Conexiones equipotenciales para edificaciones altas

Conexiones equipotenciales para edificaciones altas

Conexiones equipotenciales para edificaciones altas

Figura N° 4.5

Además se encontró que en todos los puntos donde existen DPS, estos se encuentran instalados en forma incorrecta, ya que en caso de alguna sobretensión la trayectoria puede seguir la ruta descrita en la figura N° 4.6, ingresando la corriente de falla a la instalación y haciendo daño a los equipos, lo cual se deben evitar, con la utilización adecuada de estos dispositivos



Figura N° 4.6

4.4 PROPUESTAS GENERALES

En la Figura 4.7, observaremos la manera correcta de la instalación del DPS y los demás dispositivos.

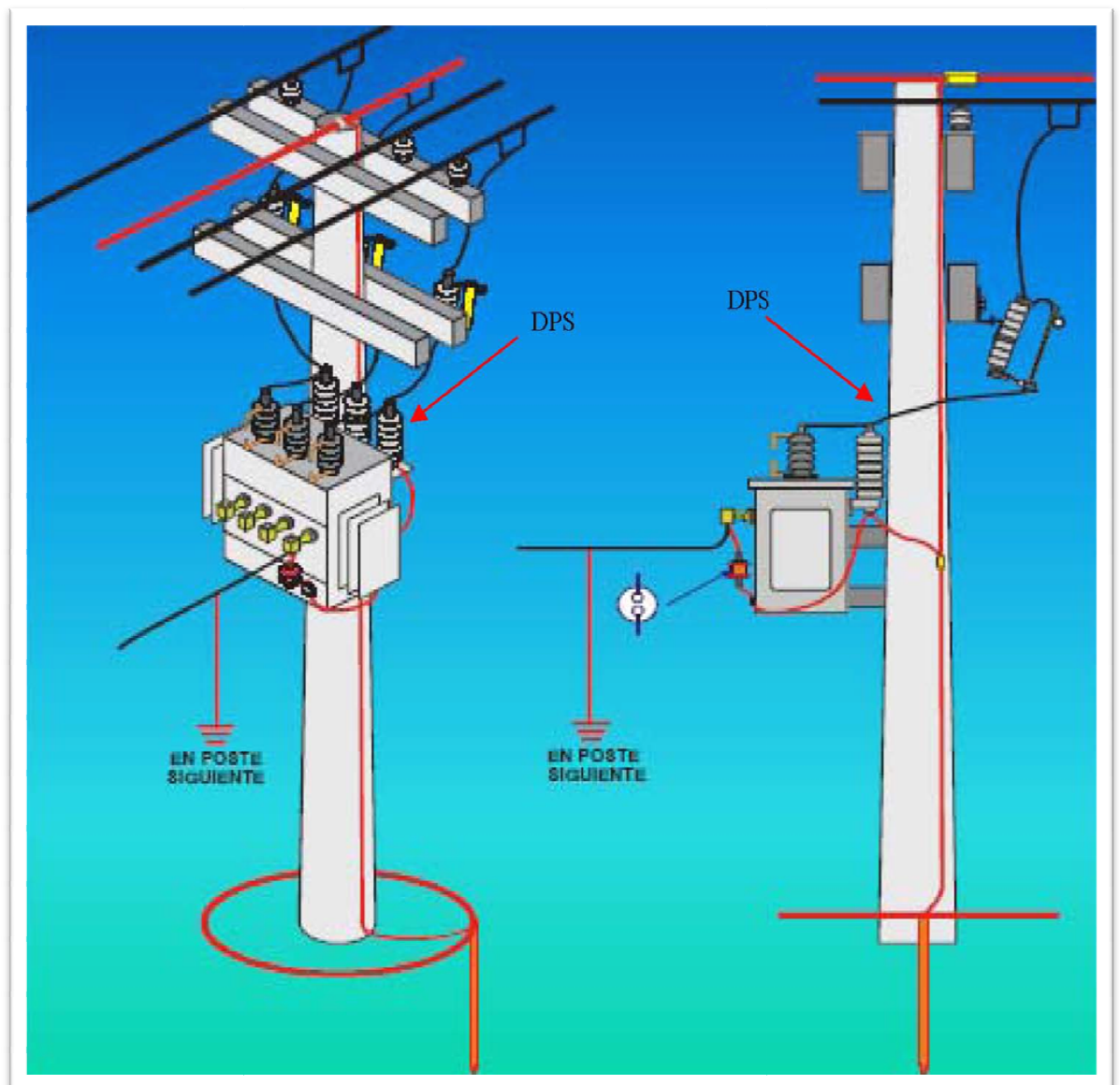


Figura Nº. 4.7
Instalación DPS's en media tensión para transformadores

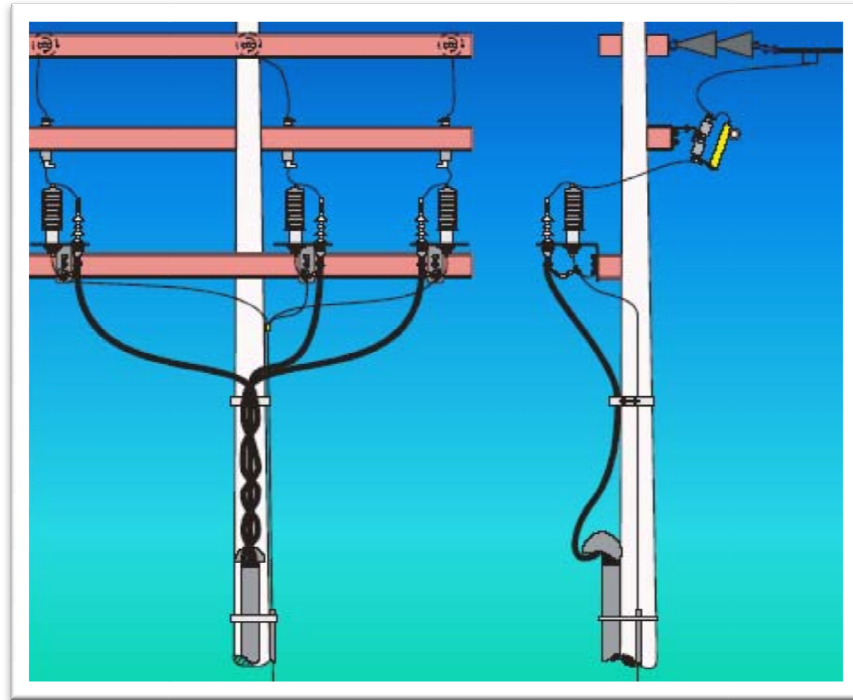


Figura N°. 4.8
Instalación DPSs en media tensión para cables blindados

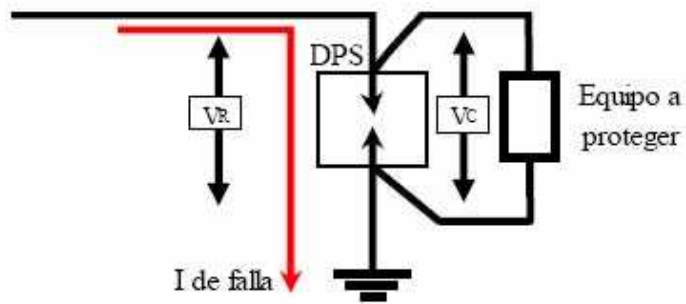


Figura N°. 4.9
Instalación de DPS's

Para un correcto sistema de protección contra rayos, de las antenas de comunicación, se puede construir de la forma indicada en la figura N° 4.10, en este caso la antena estaría dentro del apantallamiento ofrecido por el Terminal de Captación, además la varilla se puede remplazar por un contrapeso. ‘

También se observa que la bajante del pararrayos puede montarse dentro de un tubo metálico de acero galvanizado, para evitar el daño de aisladores cuando impacte un rayo.

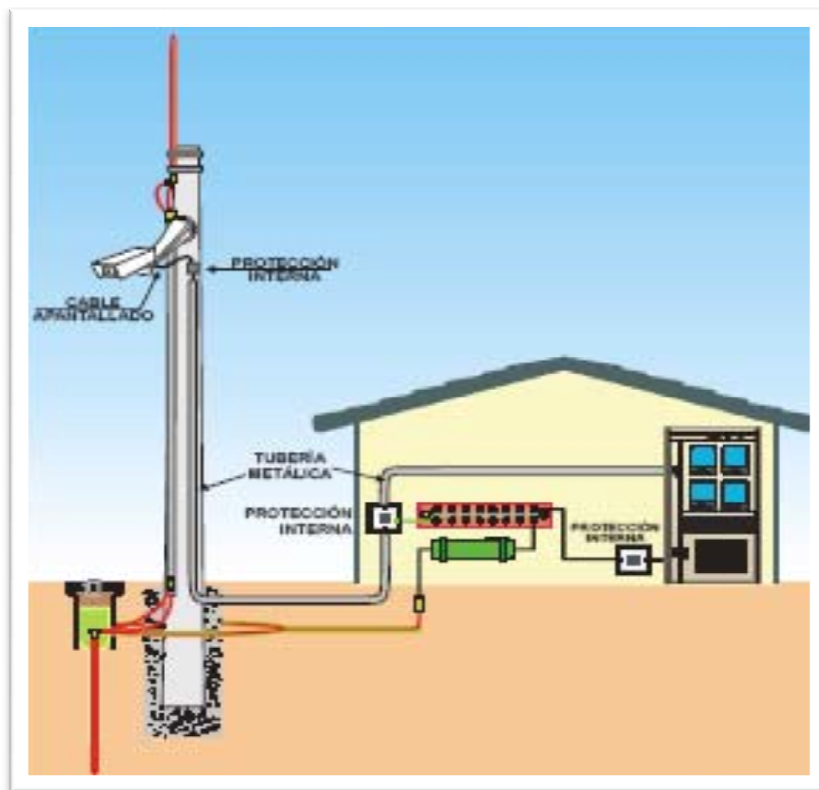


Figura N°. 4.10

Los vientos de las antenas deben estar todos fijados a tierra, tal como lo muestra la Figura N° 4.11

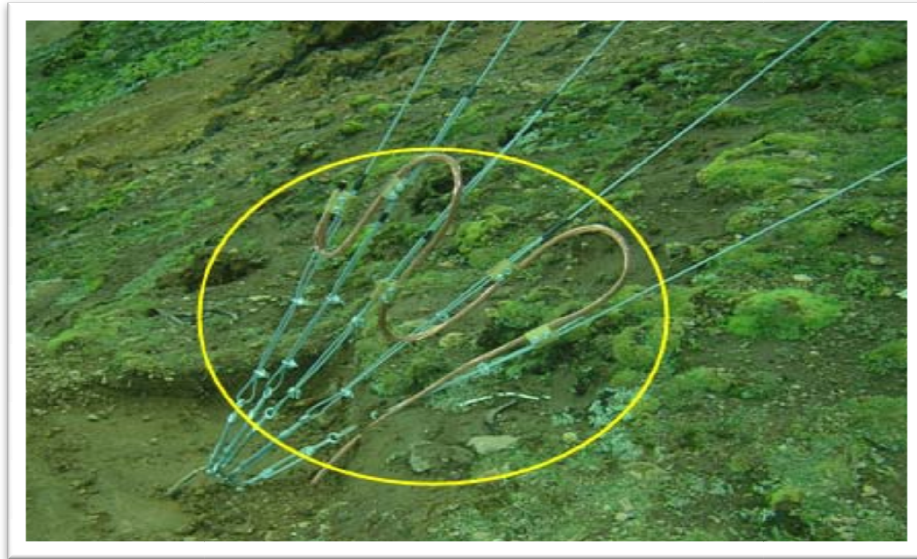


Figura N°. 4.11

Los cercos o mallas metálicas, deben estar puestos a tierra por medio de conectores doble ojo tal como se muestra en la Figura N° 4.12



Figura N°. 4.12

CAPÍTULO 5

MEJORAS DE LA PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

5.1 ZONA DE OFICINAS GENERALES

En la Figura N° 5.1, podemos ver el esquema de los diferentes lugares, pertenecientes a las Oficinas Generales del campamento.

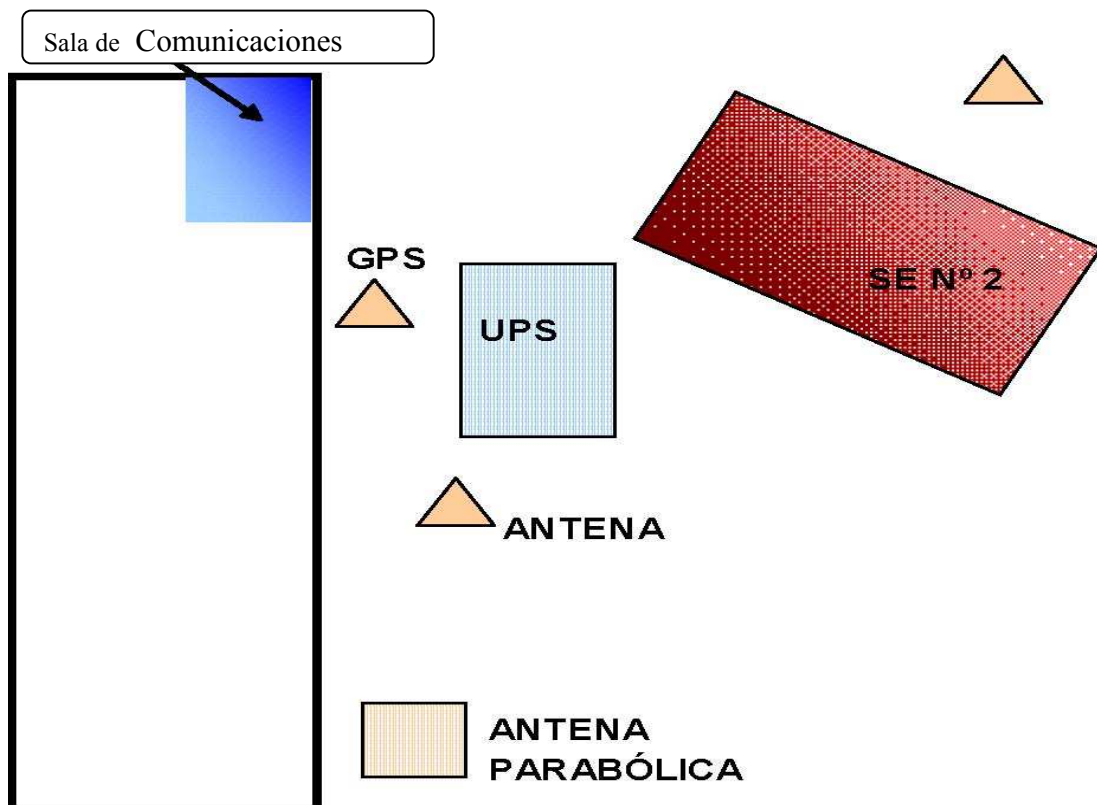


Figura N° 5.1

A) Puesta a Tierra

Diseño de Puesta a Tierra para todo el Sistema: Comunicaciones, SE N° 2, UPS, GPS, Antena y Pararrayos en las Oficinas Generales:

Tabla N° 5.1 Leyenda de Símbolo

LEYENDA	
Tablero	Descripción
	Varilla de Puesta a Tierra
	Soldadura Exotérmica
	Caja de Registro
	Cable de Cobre

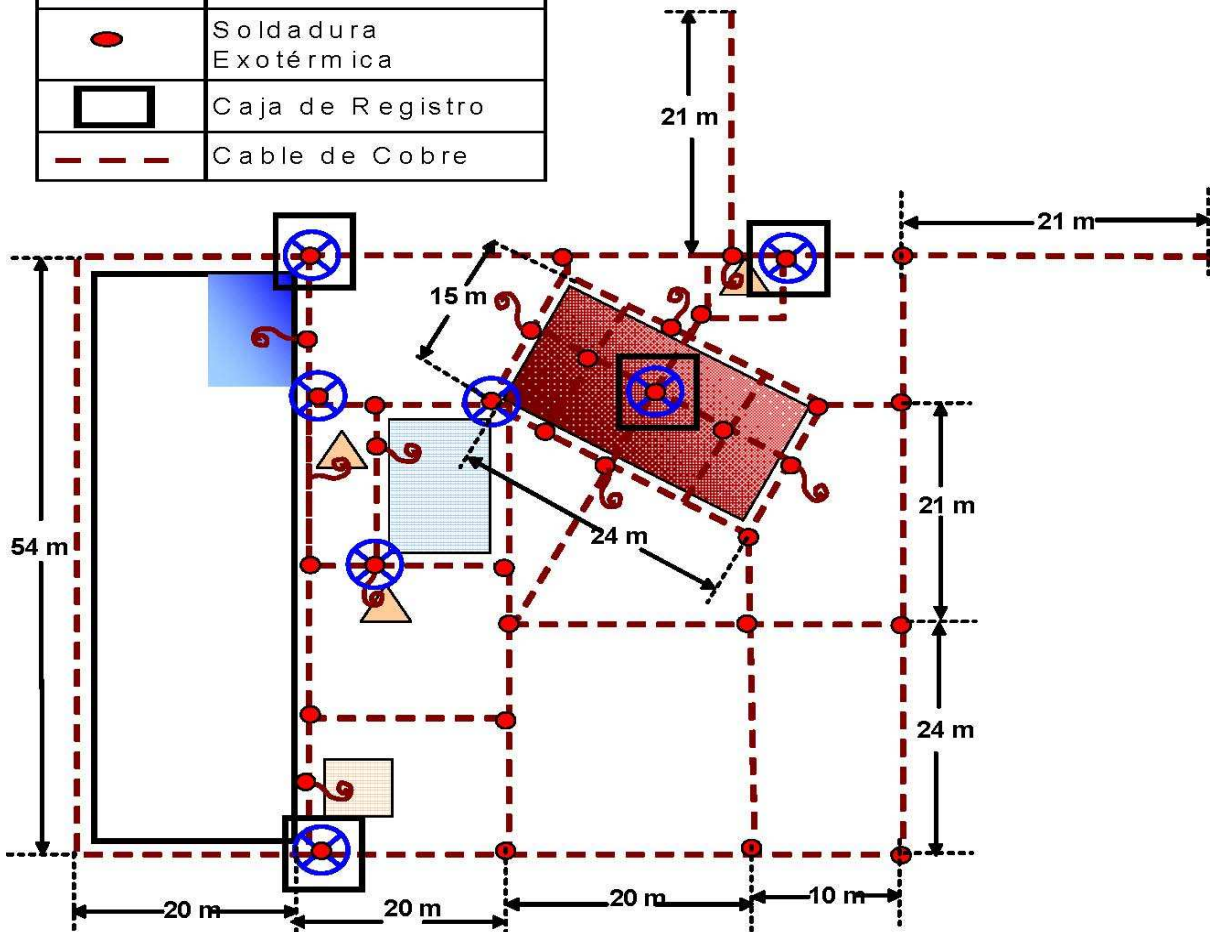


Figura N°. 5.2

Sala de Comunicaciones

Se deben colocar los dispositivos de protección, tal como se muestra en la figura N° 5.4.

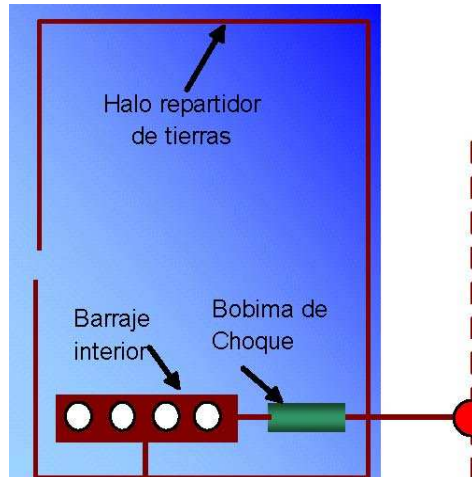


Figura N°. 5.3

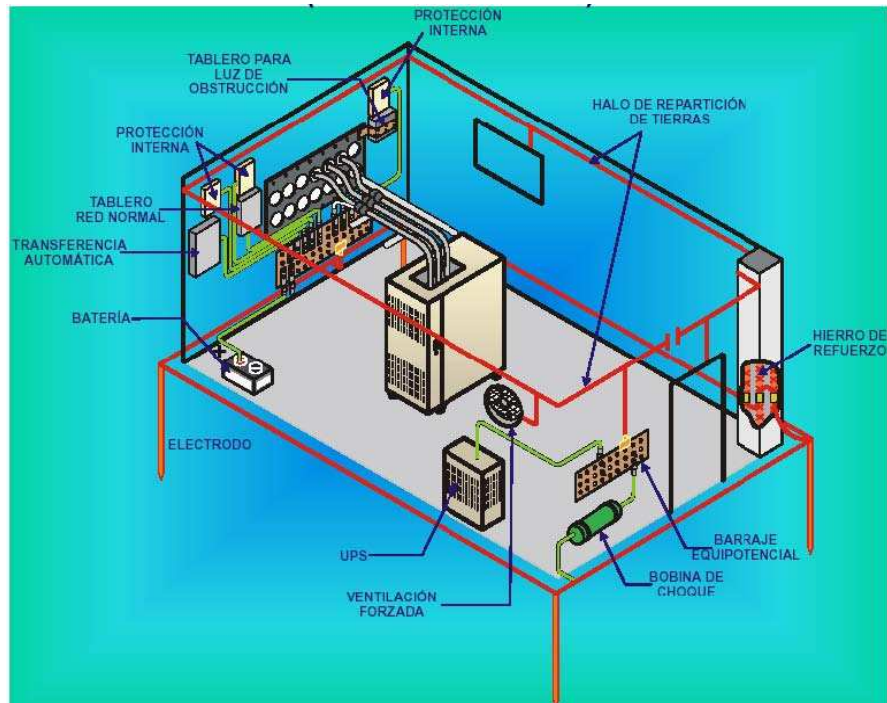


Figura N°. 5.4

La Antena Parabólica, debe disponerse tal como lo indica la Figura N° 5.5

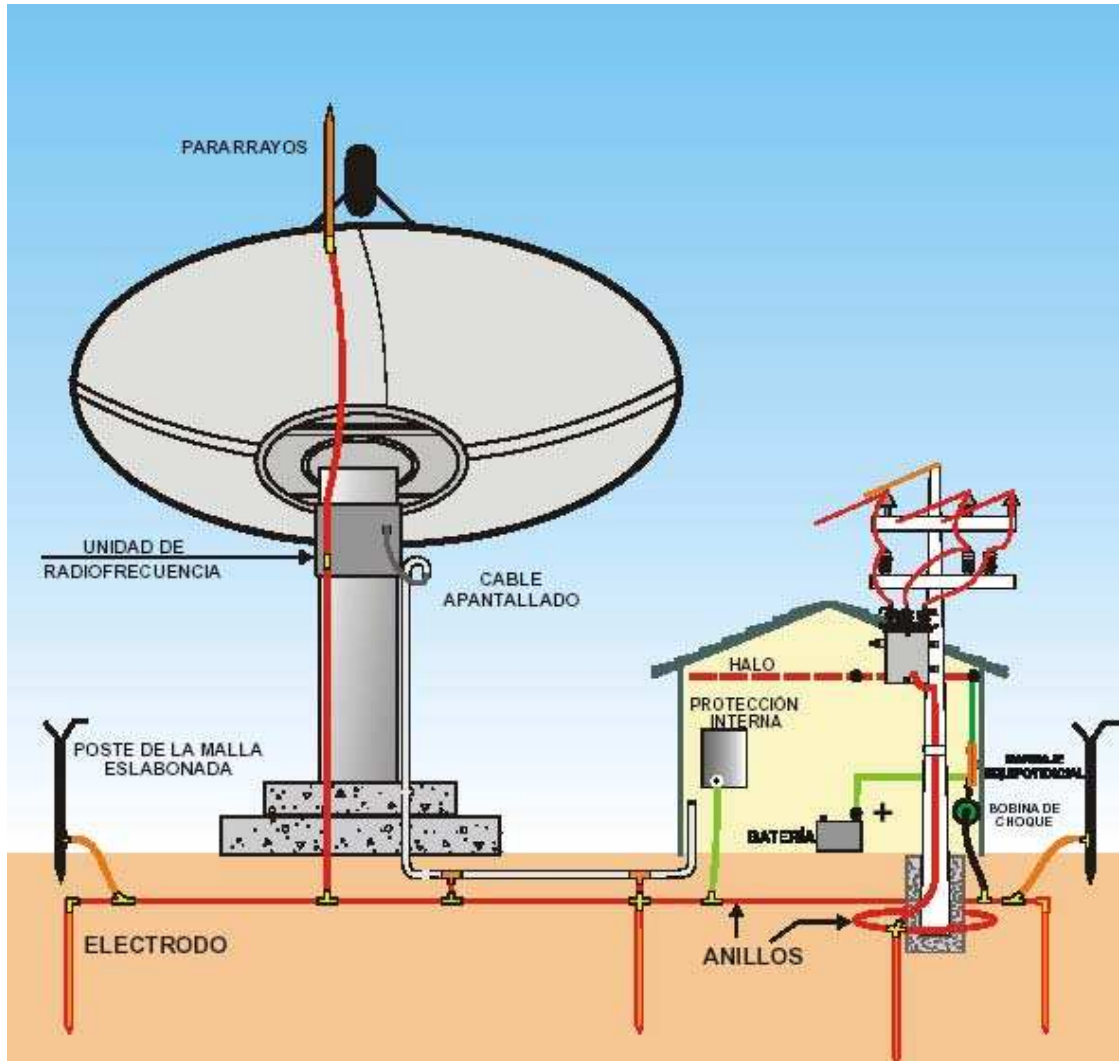


Figura N°. 5.5

En el GPS y la Antena se deben conectar las estructuras metálicas y equipos a la malla propuesta.

B) Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas

Se recomienda cambiar el pararrayos existente por uno del tipo Franklin, modelo Blunt Ref. P8, cuya hoja técnica se adjunta en los Anexos.

Se deberá colocar un nuevo pararrayos en la antenna detrás de la caseta de máquinas, al lado del GPS, como se indica en la Figura N° 5.6

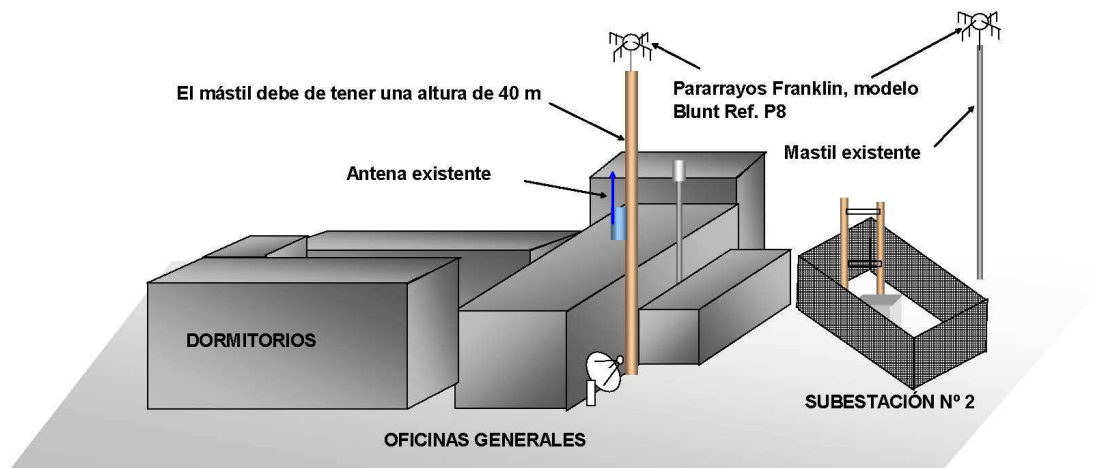
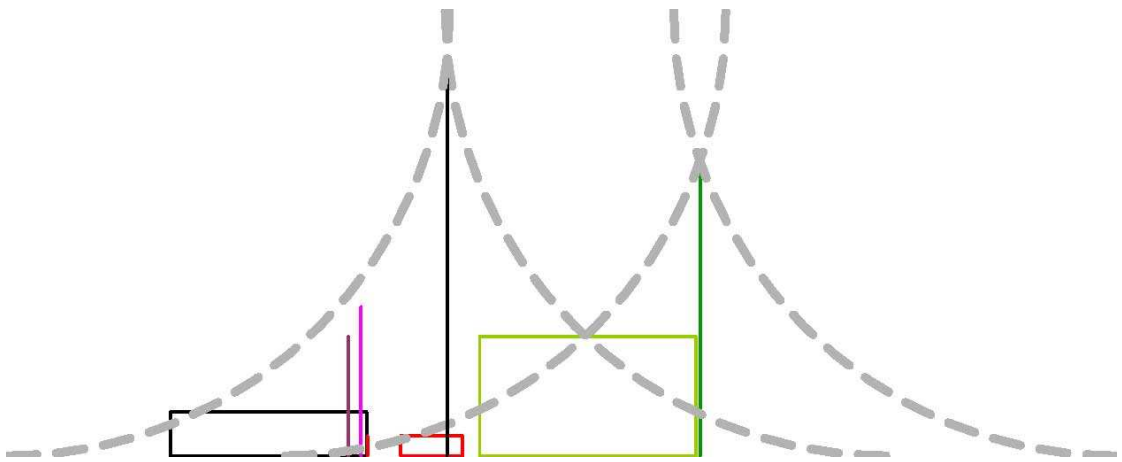


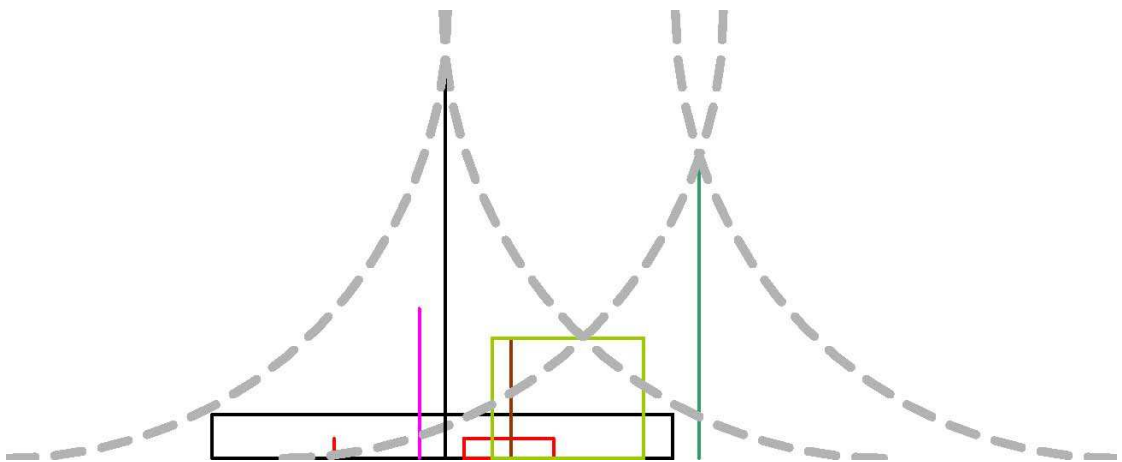
Figura N°. 5.6

Análisis de los perfiles y cobertura de los pararrayos

Vista Frontal a las Oficinas Generales (Mirando desde la entrada principal)



Vista Lateral (Mirando desde la entrada principal)



Para la estructura de la Oficinas Generales y los dormitorios que se encuentran frente a ella, se deberá realizar un “apantallamiento”. Esto quiere decir colocar puntas captadoras de cobre en los puntos mas altos de los techos uniéndolas con alambrcn de cobre 2/0 AWG y con bajantes a la malla propuesta de Puesta a Tierra, en la disposicin que se indica en la Figura N° 5.7

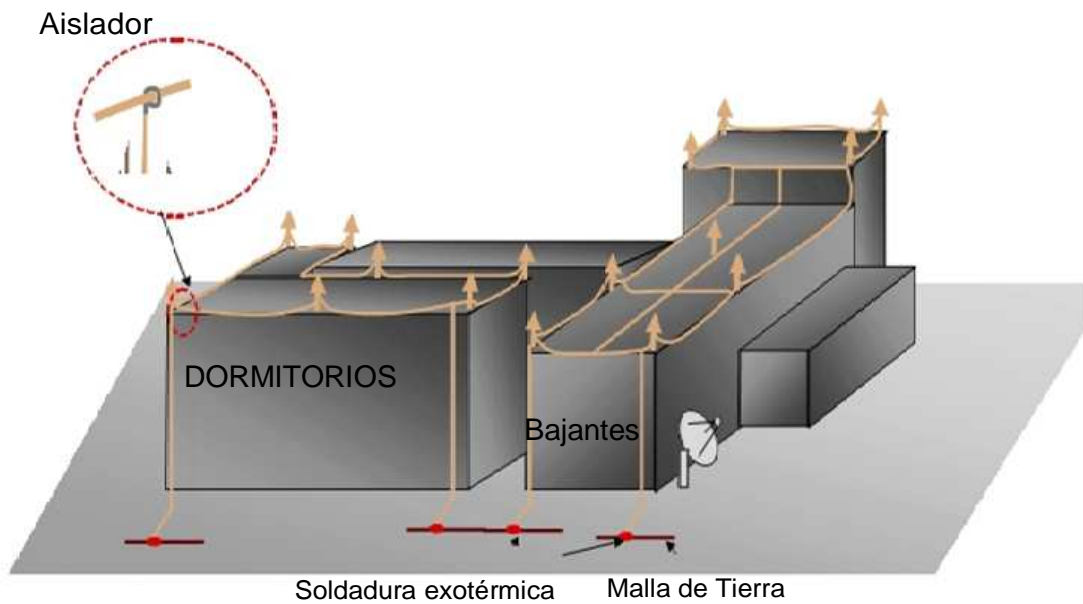


Figura N° 5.7

Observar que se debe colocar el alambrcn sobre aisladores y las bajantes deben ir sólidamente soldadas a la malla propuesta.

5.1.1 Subestación Nº 2

Modelamiento de Resistividad:

Modelando mediante la utilización del Software TecAt Plus:

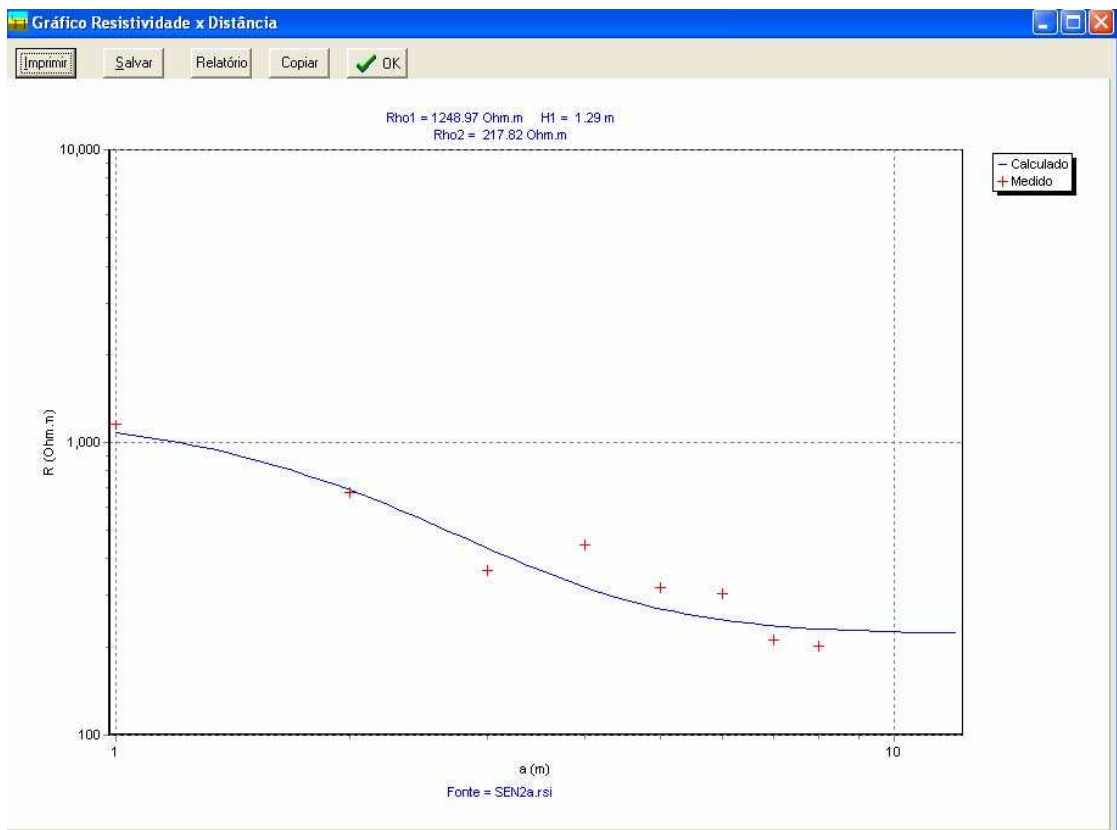


Figura Nº. 5.8 Modelamiento en 2 Capas SE Nº 2

Resultados del Modelamiento:

R1= 1248.97		H1= 1.29	

R2= 217.82		H2= Inf	

- Comparación entre valores medidos y calculados

A(l)	Rmedido(l)	Rcalculado(l)	Diferencia (%)
1.0	1154.10	1076.18	6.75
2.0	669.72	683.58	-2.07
3.0	364.32	434.77	-19.34
4.0	446.89	319.47	28.51
5.0	317.64	269.25	15.24
6.0	303.92	246.77	18.80
7.0	210.55	235.98	-12.08
8.0	201.94	230.30	-14.04

Entrada de dados:

Entrada de Dados | Opções

Estrutura do Solo

Multi-camada Uniforme

Nr. camadas:

Camadas	1	2
Resistividade	1248.97	217.82
espessura	1.29	

Corrente (kA):

Assist.

Habilita Z1 =
Z2 =
faixa D: até D:

Habilita Todos r's
faixa D: até D:

	X1 (m)	Y1 (m)	Z1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Z2 (m)	Raio mm	Tipo
C1	0	0	0.5	0	54	0.5	3.99	A
C2	70	0	0.5	70	54	0.5	3.99	A
C3	0	0	0.5	70	0	0.5	3.99	A
C4	0	54	0.5	70	54	0.5	3.99	A
C5	20	0	0.5	20	54	0.5	3.99	A
C6	40	0	0.5	40	54	0.5	3.99	A
C7	60	0	0.5	60	54	0.5	3.99	A
C8	70	54	0.5	91	54	0.5	3.99	A
C9	50	54	0.5	50	75	0.5	3.99	A
C10	20	45	0.5	70	45	0.5	3.99	A
C11	20	24	0.5	70	24	0.5	3.99	A
C12								

Eixos: xy xz yz

Figura Nº. 5.9 Simulação del Diseño Total

- Simulación adicional a la Malla de la Subestación

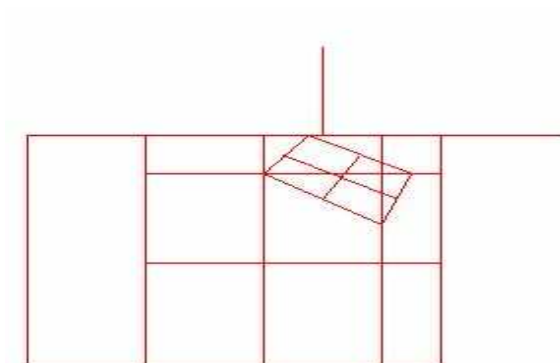


Figura Nº. 5.10 Malla Total con la parte de la SE Nº 2

- Analizando las Tensiones de Paso en la Subestación

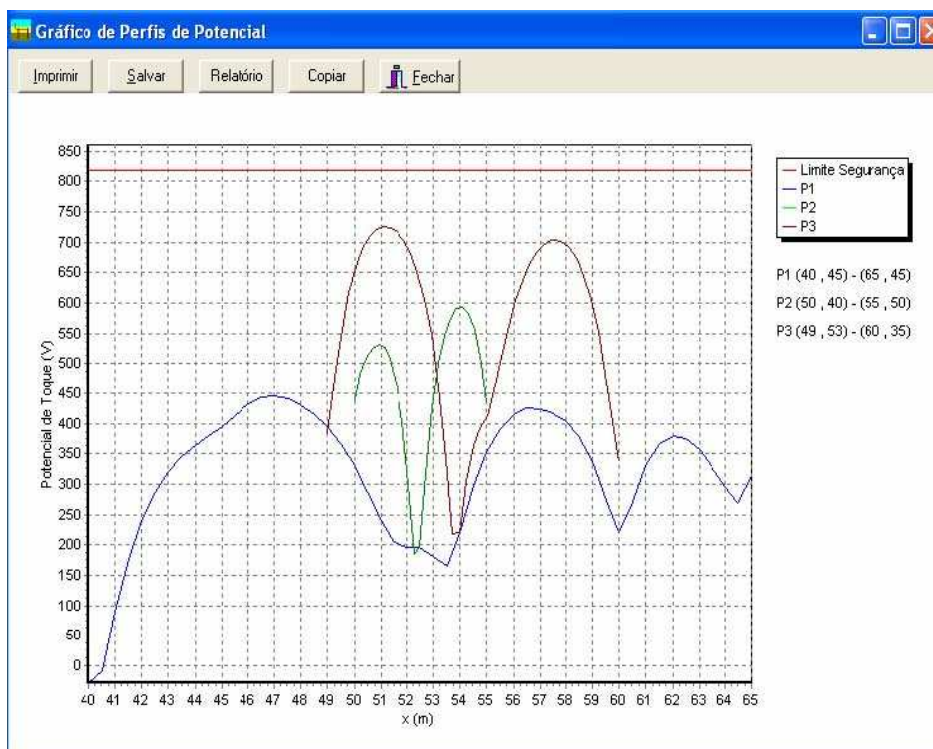


Figura Nº. 5.11 Tensiones de Toque

Observamos de la Figura N° 5.11, que todas las tensiones de toque analizadas son menores que el permitido en color rojo horizontal.

Resultados:

- Corriente de malla = 1000.0 A
- Resistencia de Malla = 2.507 Ohm
- Elevaluación de potencial de malla = 2506.6 V
- Número de perfiles = 3

Perfil	Xa	Ya	Xb	Yb
1	40.0	45.0	65.0	45.0
2	50.0	40.0	55.0	50.0
3	49.0	53.0	60.0	35.0

Potencial Toque Máximo y Posiciones

Perfil	Valor Máximo	Xmax	Ymax
1	445.6	47.0	45.0
2	593.8	54.1	48.2
3	726.3	51.1	49.6

Valor máximo de potencial de mesh admisible = 819.6 V

- Analizando las Tensiones de Toque en la Subestación

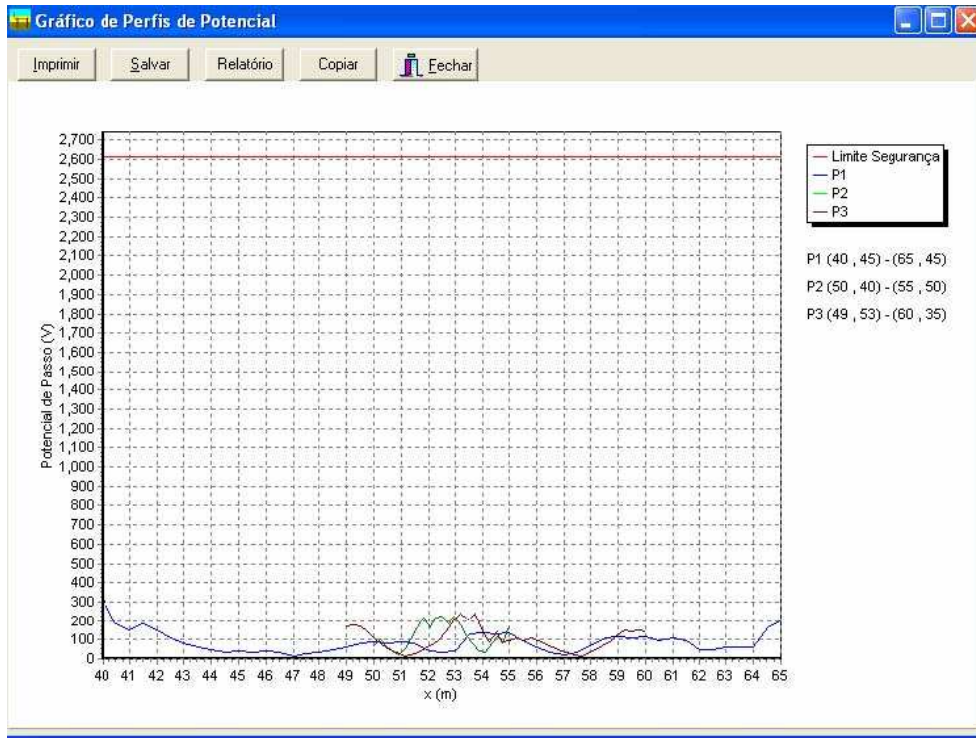


Figura Nº. 5.12 Tensiones de Paso en la SE Nº 2

Resultados de la simulación de tensiones de Paso:

Corriente de malla = 1000.0 A

Resistencia de Malla = 2.507 Ohm

Elevación de potencial de malla = 2506.6 V

Número de Perfiles= 3

Perfil	Xa	Ya	Xb	Yb
1	40.0	45.0	65.0	45.0
2	50.0	40.0	55.0	50.0
3	49.0	53.0	60.0	35.0

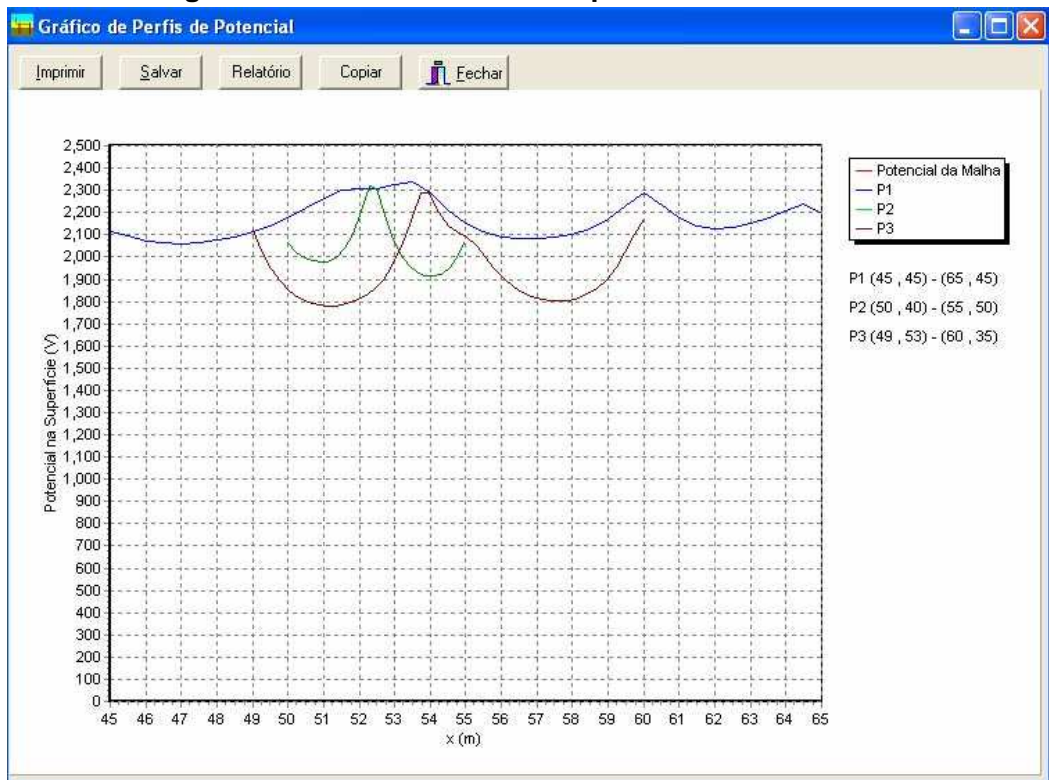
Máximo Tensión de paso y sus

posiciones	Perfil	Valor Máximo	Xmax	Ymax
	1	322.0	40.0	45.0
	2	227.2	53.0	45.9
	3	240.5	53.2	46.1

Valor máximo de potencial de paso admisible = 2612.4 V

- Analizando las Tensiones de Superficie en la Subestación

Figura Nº. 5.13 Tensiones de Superficie en la SE Nº 2



- Analizando los perfiles en la malla para ver el resultado en el espacio

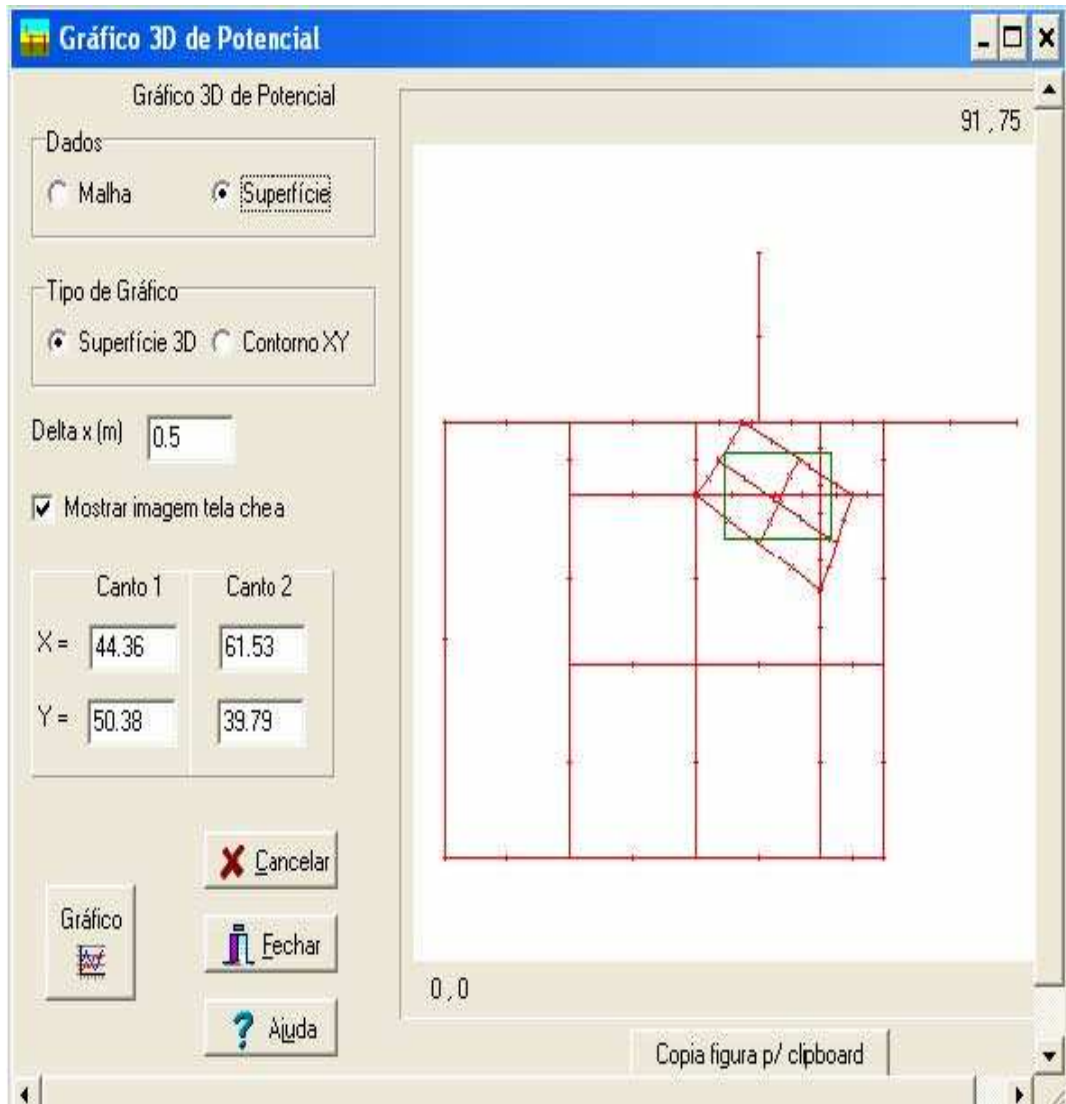


Figura Nº. 5.14 Perfil de Tensiones, en la SE Nº 2

- Analizando las tensiones de Toque en el espacio

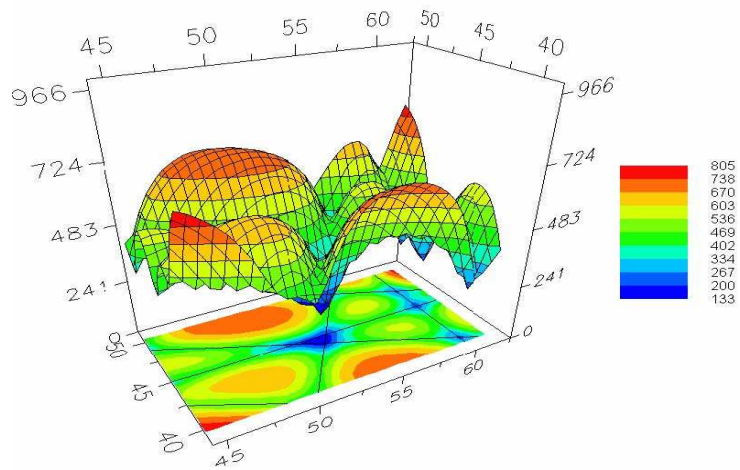


Figura N°. 5.15 Tensiones Toque en el espacio, en la SE N° 2

- Analizando las tensiones de Superficie en el espacio

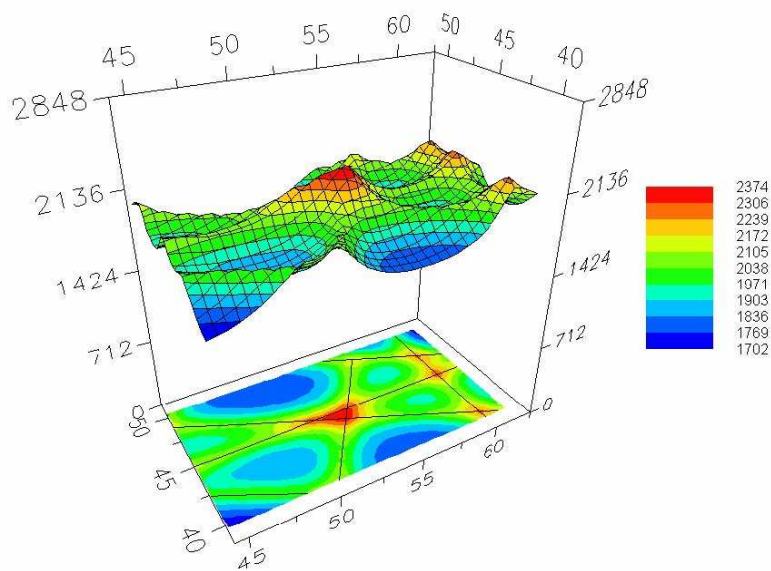


Figura N°. 5.16 Tensiones de Superficie en el espacio, en la SE N° 2

5.2 SUBESTACIÓN N° 1

En la siguiente Figura, podemos ver la distribución de las zonas en las que se encuentra la SE N° 1.



Figura N°. 5.17

El valor de la Resistencia de Puesta a Tierra esta dentro de los límites admisibles ($R = 12.6 \text{ Ohms}$) el problema son las tensiones de Toque y Paso.

- Análisis de tensiones de Toque y Paso:
 - a) Con malla de puesta a Tierra existente

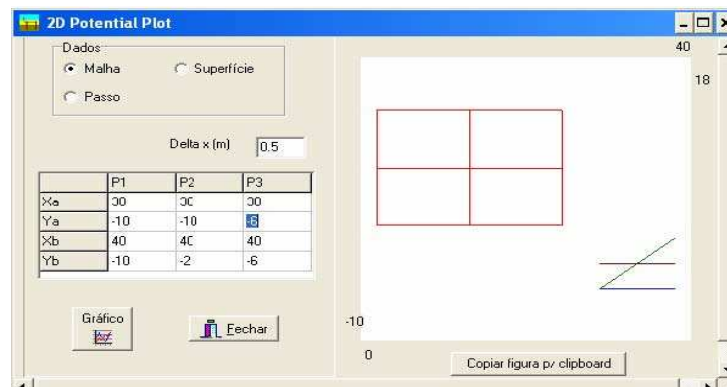


Figura N°. 5.18 Perfiles en la malla existente

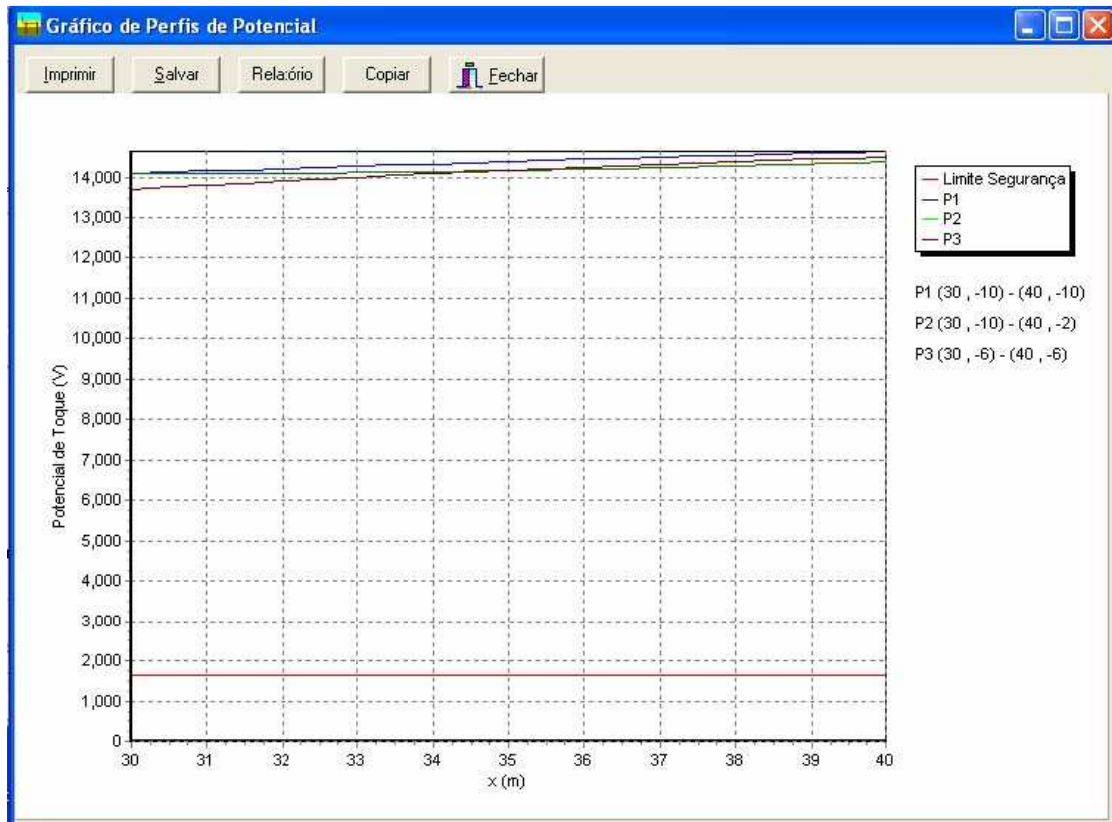


Figura Nº. 5.19 Tensões de Toque em la malla existente

Observamos de la Figura 5.19 que las tensiones de Toque están por encima del límite permitido, por tanto es un gran peligro para un operario en la subestación. Estas tensiones deben controlarse adecuadamente, para lo cual se propone una malla adicional a la existente.

..

b) Con una malla adicional a la existente

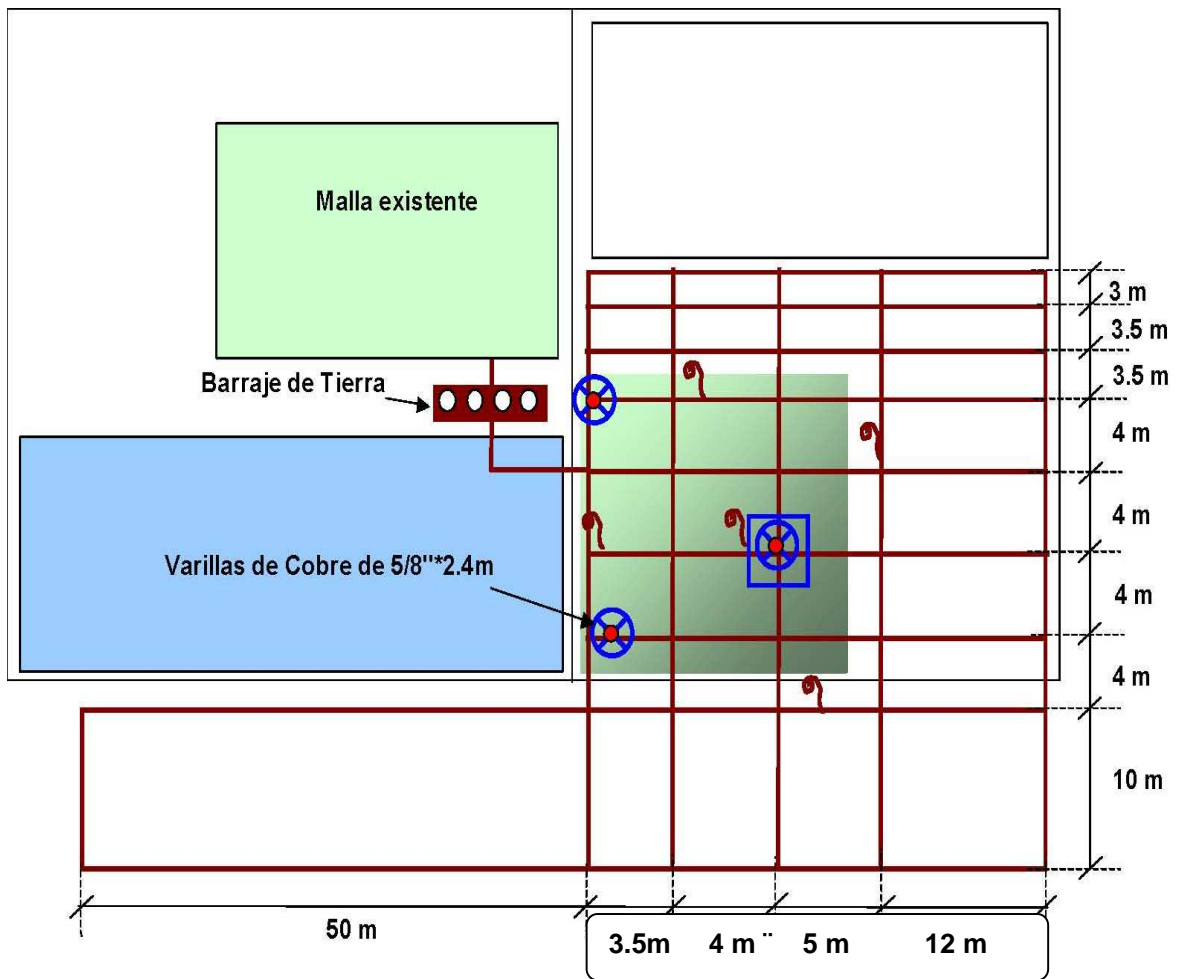


Figura N°. 5.20 Diseño adicional para la Subestación N° 1

Con el diseño propuesto en la Figura N° 5.19, si podremos controlar bien las tensiones de toque, paso y superficie.

Para los símbolos ver Tabla N° 5.1

Simulación de la malla Propuesta

Entrada de dados:

Entrada de Dados | Opções

Estrutura do Solo

Multi-camada Uniforme

Nr. camadas:

Camadas	1	2
Resistividade	1065.54	344.26
espessura	2.30	

Corrente (kA):

Assist.

Habilita Z1 =
Z2 =
faixa D: até D:

Habilita Todos r/s:
faixa D: até D:

	X1 (m)	Y1 (m)	Z1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Z2 (m)	Raio mm	Tipo
C5	0	0	0.5	0	10	0.5	3.99	A
C6	0	0	0.5	50	0	0.5	3.99	A
C7	0	10	0.5	74.5	10	0.5	3.99	A
C8	50	14	0.5	74.5	14	0.5	3.99	A
C9	50	18	0.5	74.5	18	0.5	3.99	A
C10	50	22	0.5	74.5	22	0.5	3.99	A
C11	50	26	0.5	74.5	26	0.5	3.99	A
C12	50	29.5	0.5	74.5	29.5	0.5	3.99	A
C13	50	33	0.5	74.5	33	0.5	3.99	A
C14	53.5	0	0.5	53.5	36	0.5	3.99	A
C15	62.5	0	0.5	62.5	36	0.5	3.99	A
C16	57.5	0	0.5	57.5	36	0.5	3.99	A

Eixos: xy xz yz

Figura Nº. 5.21 Malla Propuesta

Tensiones de Toque

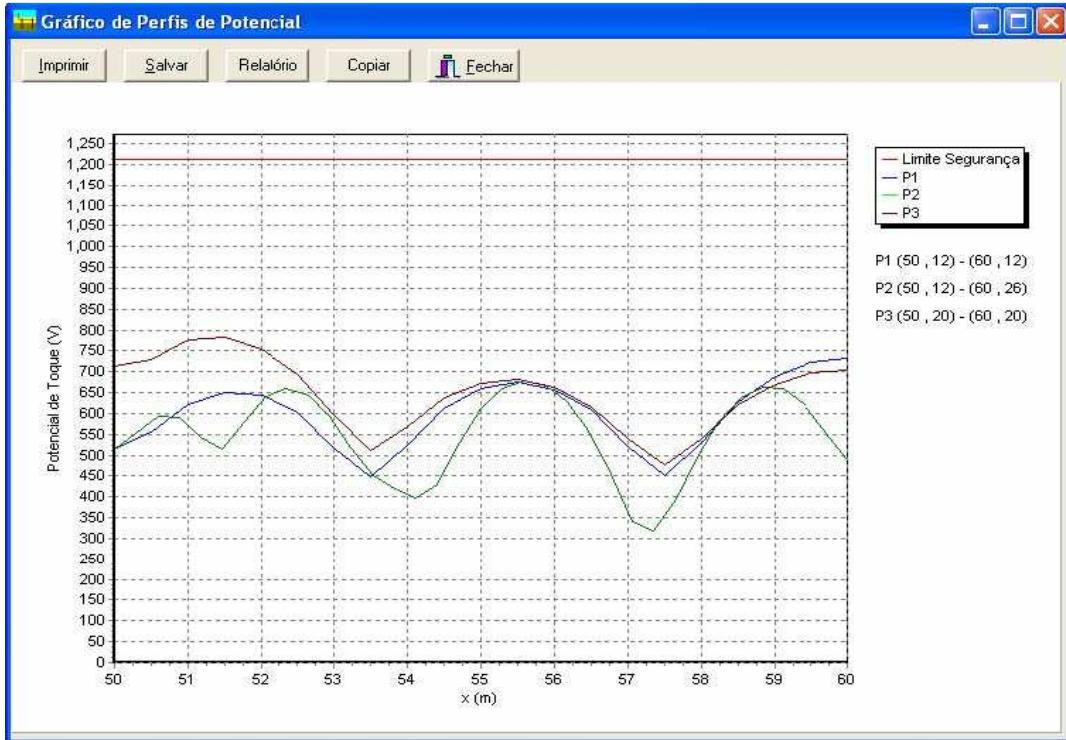


Figura Nº. 5.22 Tensiones de Toque

Resultados de la Simulación:

Corriente de malla = 1000.0 A
 Resistencia de Malla = 4.890 Ohm
 Elevación de potencial de malla = 4890.2 V
 Número de Perfiles = 3´

Perfil	Xa	Ya	Xb	Yb
1	50.0	12.0	60.0	12.0
2	50.0	12.0	60.0	26.0
3	50.0	20.0	60.0	20.0

Potencial de Toque Máximo y posiciones			
Perfil	Valor Máximo	Xmax	Ymax
1	731.3	60.0	12.0
2	677.2	55.6	19.8
3	783.7	51.5	20.0

Valor máximo de potencial de Toque = 1211.6 V

Tensiones de Paso

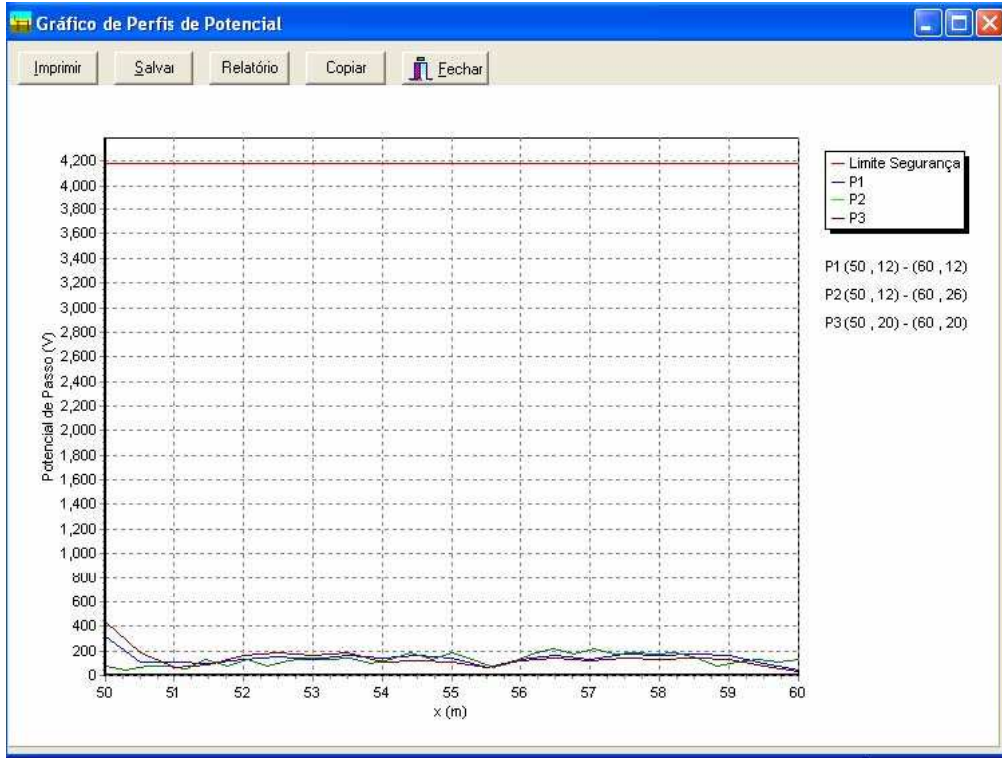


Figura Nº. 5.23 Tensiones de Paso

Resultados de la Simulación

Corriente de malla = 1000.0 A
 Resistencia de Malla = 4.890 Ohm
 Elevación de potencial de malla = 4890.2 V
 Número de Perfiles = 3

Perfil	Xa	Ya	Xb	Yb
1	50.0	12.0	60.0	12.0
2	50.0	12.0	60.0	26.0
3	50.0	20.0	60.0	20.0

Máxima tensión de Paso y sus posiciones

Perfil	Valor Máximo	Xmax	Ymax
1	316.2	50.0	12.0
2	216.9	57.1	21.9
3	432.0	50.0	20.0

Valor máximo de potencial de paso = 4180.4 V

Tensões de Superfície

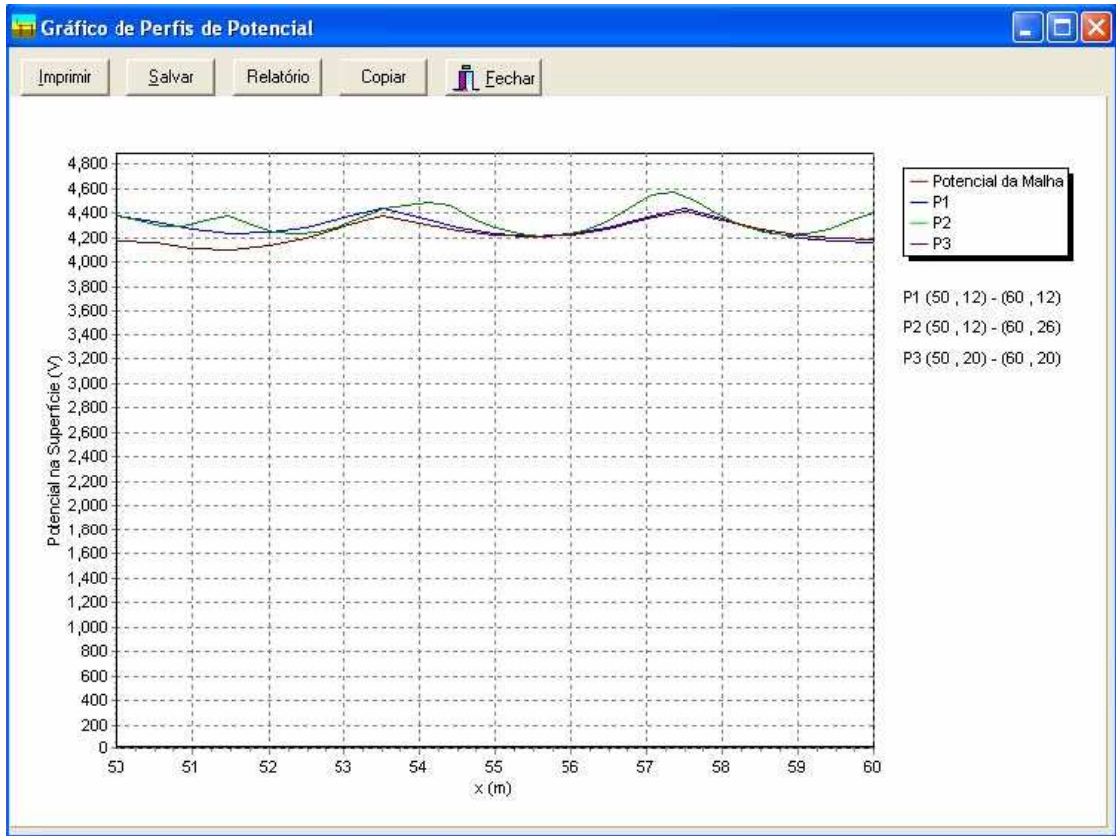


Figura Nº. 5.24 Tensões de Superfície

Simulando las tensiones en el espacio Tensión de Toque

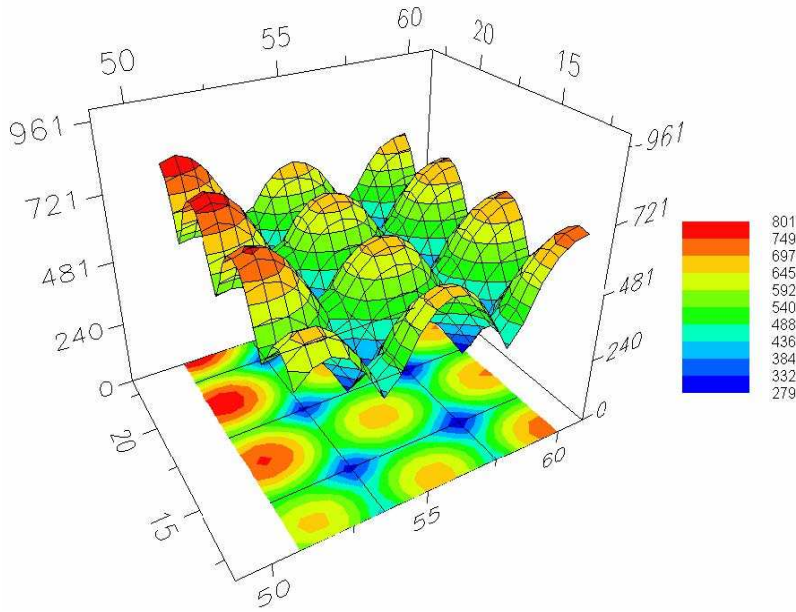


Figura N°. 5.25 Tensiones de Toque en el Espacio

Tensiones de Superficie en el espacio

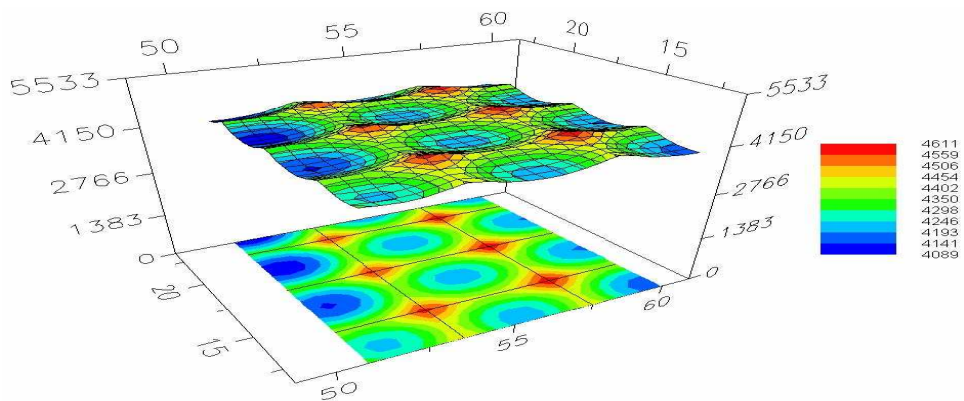


Figura N°. 5.26 Tensiones de Superficie en el Espacio

5.3 PLANTA INTERNA Y EXTERNA

El valor medido de la resistencia de Puesta a Tierra en la Planta Externa, es aceptable, pero de requerir un valor menor de resistencia, tendríamos que diseñar un adicional al existente.

La resistencia de puesta a tierra de la Planta Interna esta alta, aunque es menor de lo establecido por la Norma Peruana que es 25 ohms, sin embargo de requerir un valor menor, tendríamos que realizar un diseño alternativo.

Por tanto para la parte externa como la interna, se sugiere lo siguiente:

- Unir las Puesta a Tierra de la Planta externa e interna mediante un Barraje de Tierras de 7 cm x 8mm x 1m, mediante conectores doble ojo para cable de 70 mm².
- Agregar 2 contrapesos de 42 m, de cable 70 mm², uniéndolos en la caja de registro existente, tal como se indica en la Figura N° 5.26

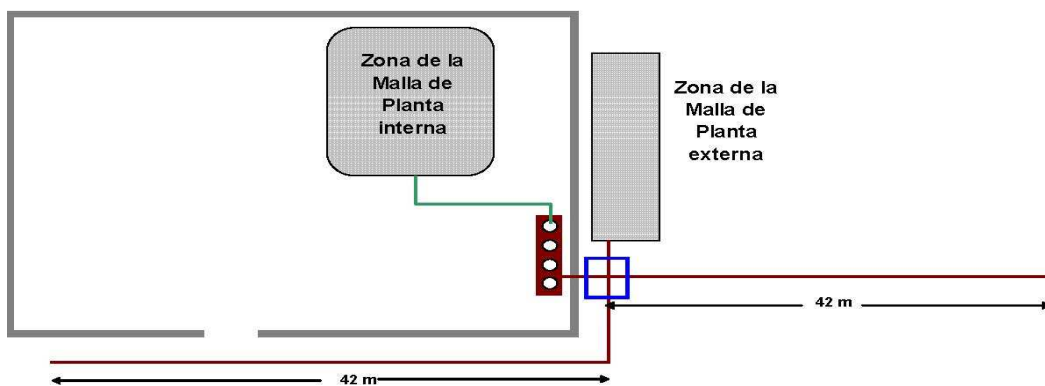


Figura N° 5.27

Simulando su resistividad:

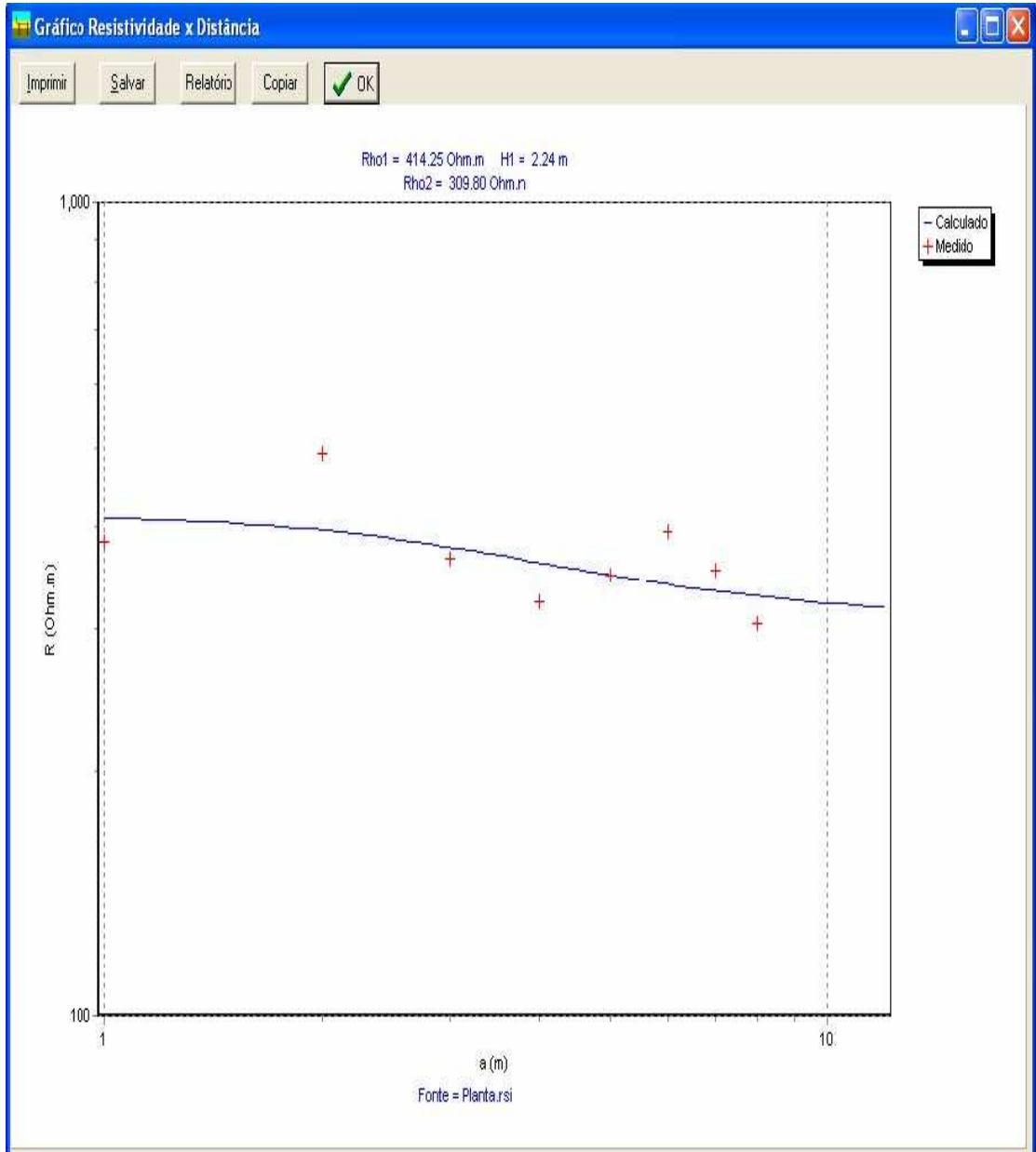


Figura Nº. 5.28 Simulación en 2 capas de la Resistividad

5.4 PARARRAYOS Y LABORATORIO QUÍMICO

Este pararrayos dispone de una Puesta a Tierra en configuración tipo varilla, la cual no es adecuada para un fenómeno atmosférico tipo Rayo, además su valor es muy superior a 25 Ohms. ($R = 53.8 \text{ Ohm}$)

Para proteger el Laboratorio Químico se sugiere lo indicado en la Figura N° 5.29

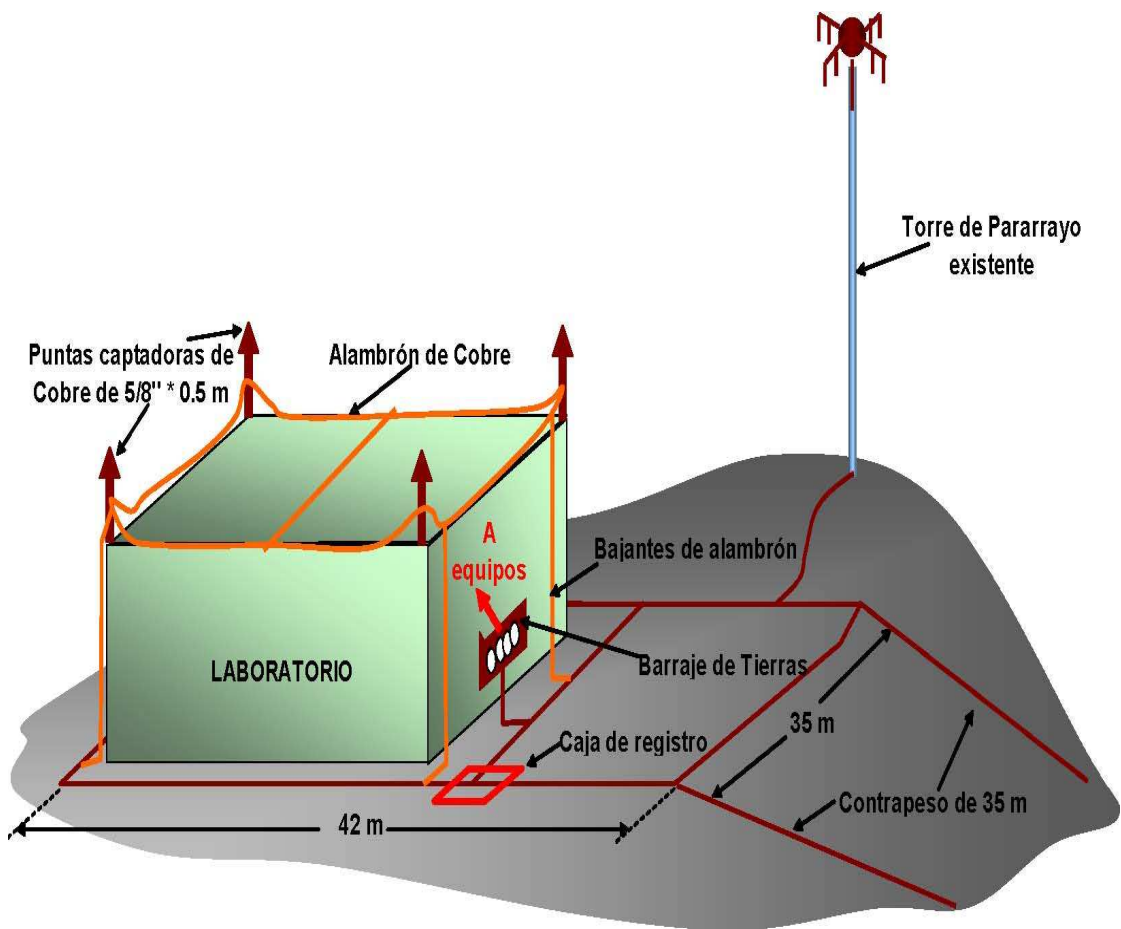


Figura N°. 5.29

Simulación de su resistividad en 2 capas

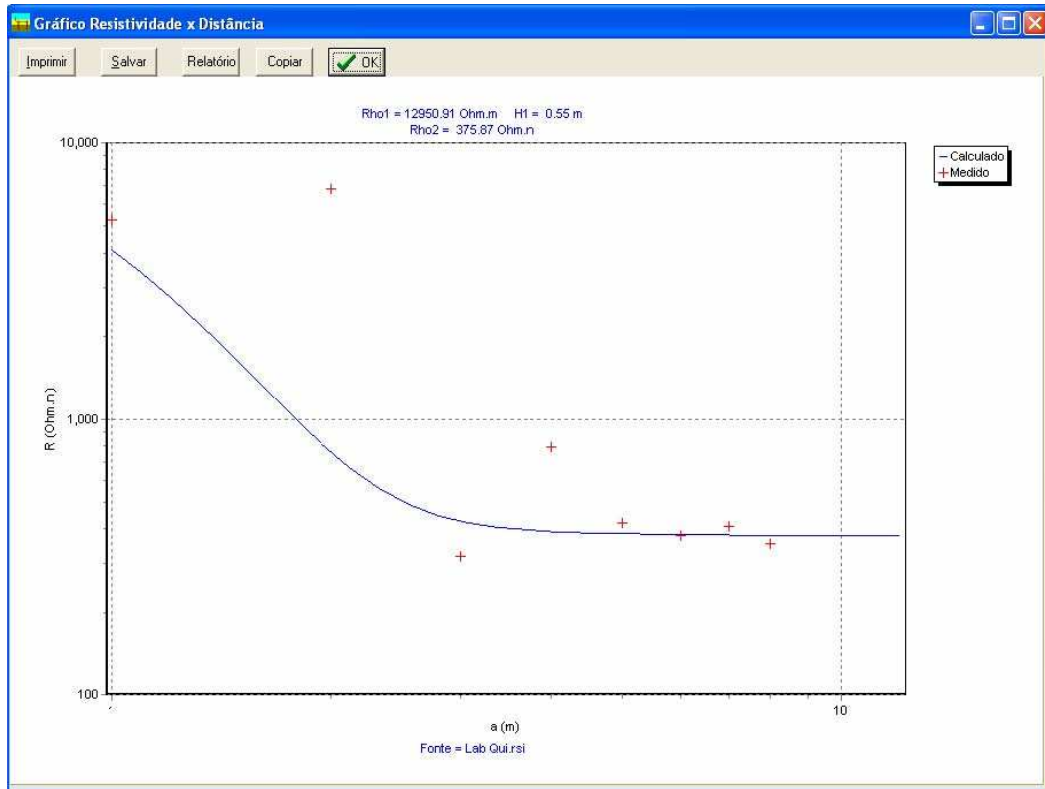


Figura Nº. 5.30 Simulación de la resistividad del terreno en 2 capas

Resultados

R1= 12950.91	H1= 0.55	

R2= 375.87	H2= Inf.	

Comparación entre valores medidos y calculados

A(l)	Rmedido(l)	Rcalculado(l)	Diferencia (%)
1	5247.33	4096.16	21.94
2	6790.92	755.57	88.87
3	318.49	427.16	-34.12
4	792.54	391.93	50.55
5	419.29	384.68	8.25
6	379.90	381.71	-0.48
7	406.94	380.07	6.60
8	353.39	379.06	-7.26

5.5 LABORATORIO Y TANQUE DE PETRÓLEO

Dispone de una resistencia dentro de los límites admisibles por la Norma Peruana, ($R = 1.6 \text{ Ohms}$), por tanto no requiere mayor atención.

5.6 POLVORÍN

Dispone de dos sistemas de Puesta a Tierra, a cada uno van 2 pararrayos. Sus valores de Resistencia son menores a 25 Ohms, ($R1 = 8,4$ y $R2 = 22,8 \text{ Ohms}$ respectivamente), sin embargo de requerir valores menores, se sugiere lo siguiente:

- Unir las Puestas a Tierra existentes, mediante un barraje de tierras de 7cm x 8mm x 1m, mediante conectores doble ojo para cable de 70 mm².
- Agregar un contrapeso de 70 m unido al barraje de tierras, tal como se indica en la Figura N° 5.31

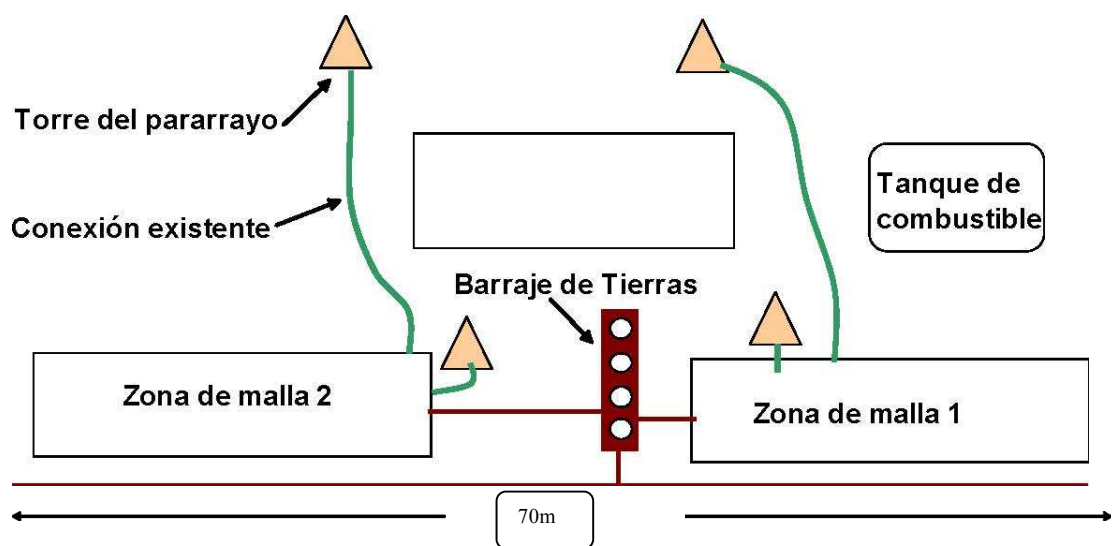


Figura N°.5.31

Simulación de la resistividad

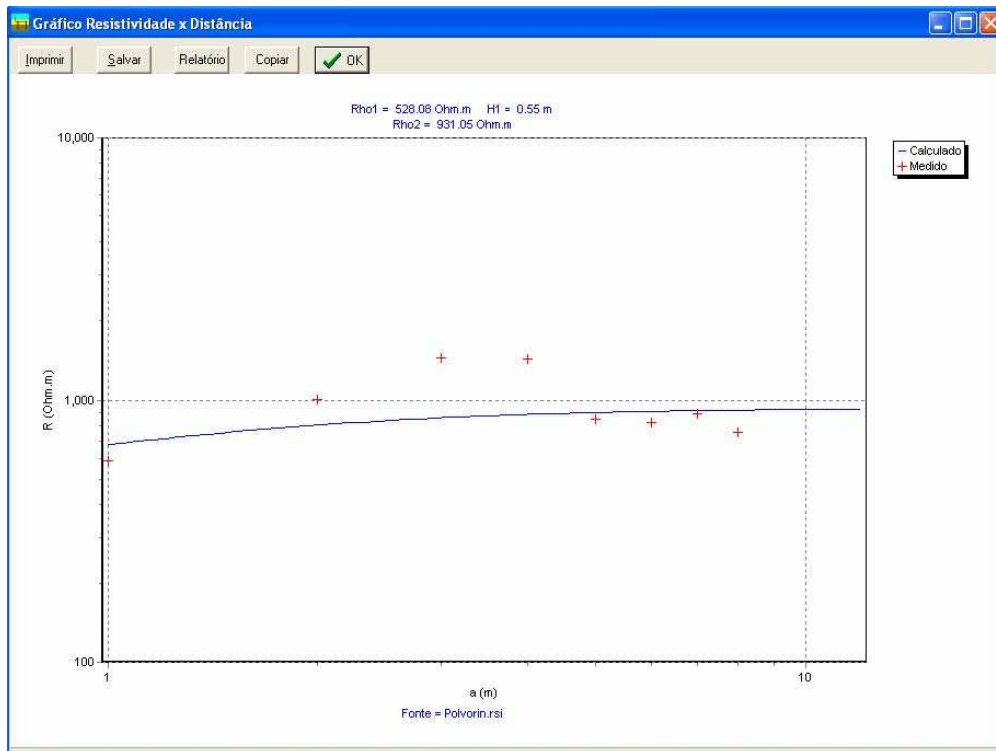


Figura Nº. 5.32 Simulación de la resistividad del terreno en 2 capas

R1= 528.08 | H1= 0.55 |

R2= 931.05 | H2= Inf.

Comparación entre valores medidos y calculados

A(I)	Rmedido(I)	Rcalculado(I)	Diferencia (%)
1	590.13	679.21	-15.09
2	1001.89	803.02	19.85
3	1450.68	856.18	40.98
4	1436.80	882.58	38.57
5	848.11	897.38	-5.81
6	820.59	906.42	-10.46
7	884.65	912.31	-3.13
8	757.27	916.34	-21.01

5.7 ESCALERILLA

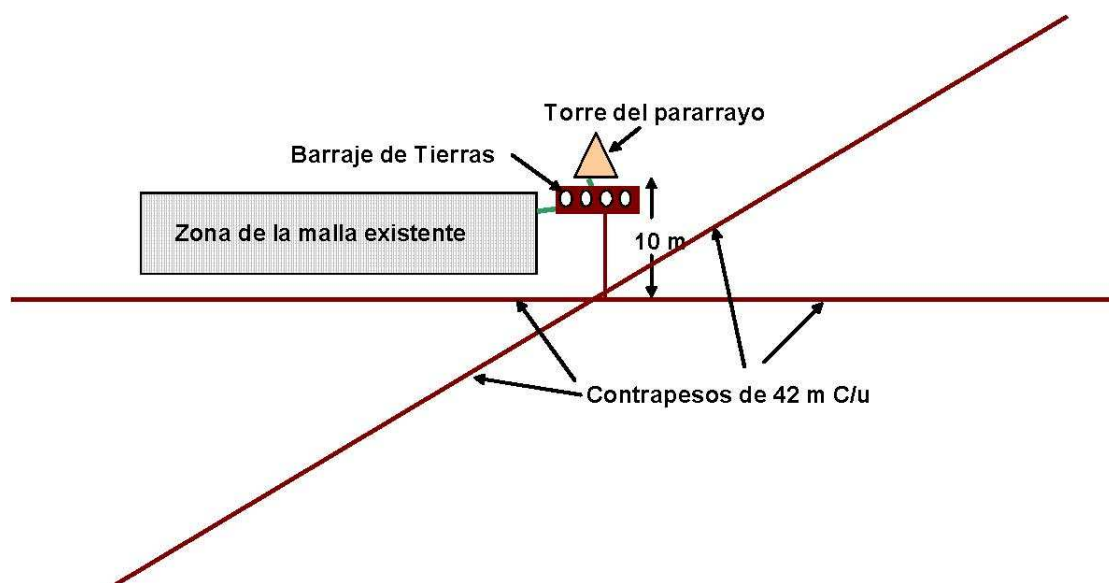
El valor registrado de la resistencia de Puesta a Tierra es 10 Ohms, por tanto no requiere mayor tratamiento.

5.8 ESCALERILLA PARARAYOS

La Puesta a Tierra registró un valor de 22 Ohms, por tanto de requerir un valor menor, se sugiere lo siguiente:

- Colocar un contrapeso de 70 m a un barraje de tierras y unirlo a la malla existente, tal como se indica en la Figura N° 5.33.

Figura N° 5.33



Simulación de la resistividad

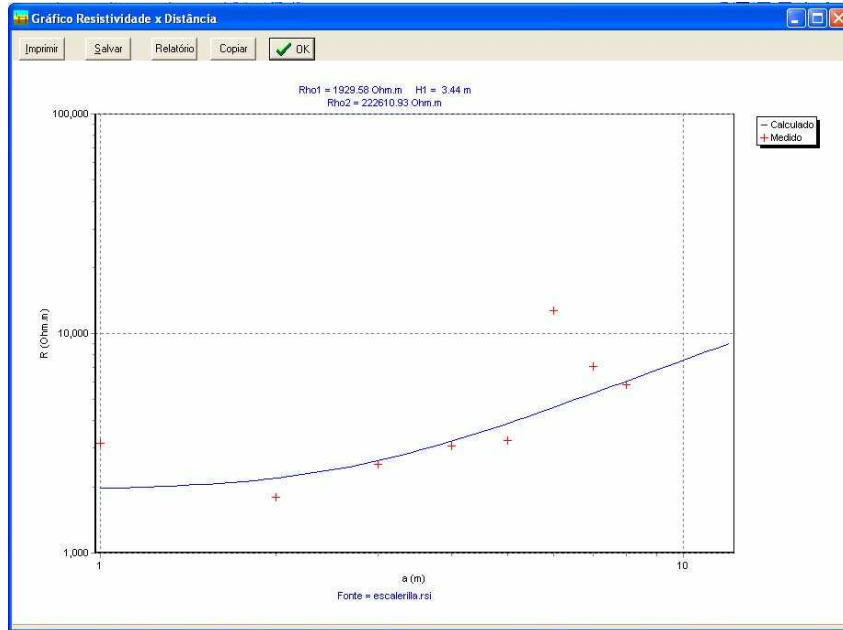


Figura Nº. 5.34 Simulación de la resistividad de terreno

Resultados de la simulación de resistividad

R1= 1929.58	H1= 3.44
R2= 222610.93	H2= Inf.

Comparación entre valores medidos y calculados

A(I)	Rmedido(I)	Rcalculado(I)	Diferencia (%)
1	3154.55	1968.04	37.61
2	1794.84	2190.87	- 22.07
3	2524.61	2629.29	-4.15
4	3067.89	3218.52	-4.91
5	3239.95	3890.18	-20.07
6	12726.74	4600.67	63.85
7	7077.17	5326.88	24.73
8	5805.72	6057.63	-4.34

5.9 PARARAYOS SAN MARTÍN

Presentó un valor de resistencia de puesta a tierra alto ($R = 152 \text{ Ohms}$), según el resultado se recomienda:

- Realizar el diseño propuesto en la Figura N° 5.35

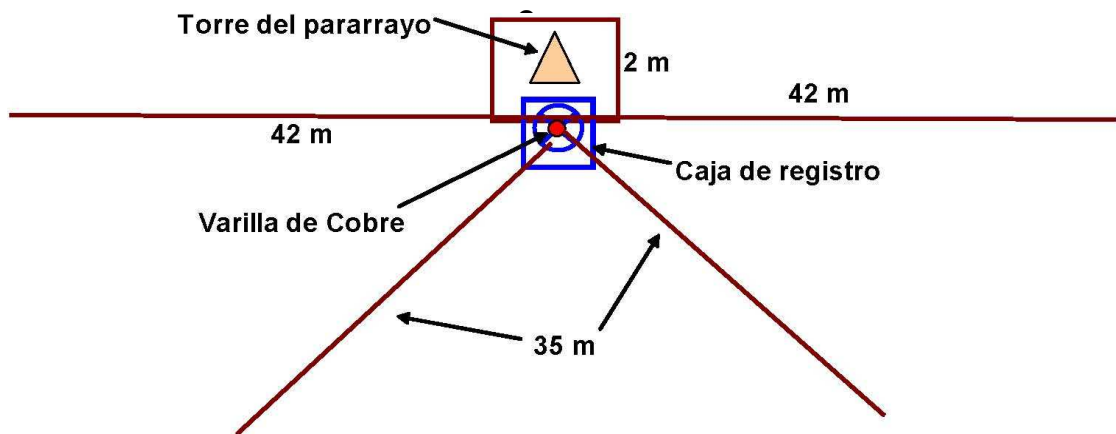


Figura N°. 5.35

Simulación de la resistividad

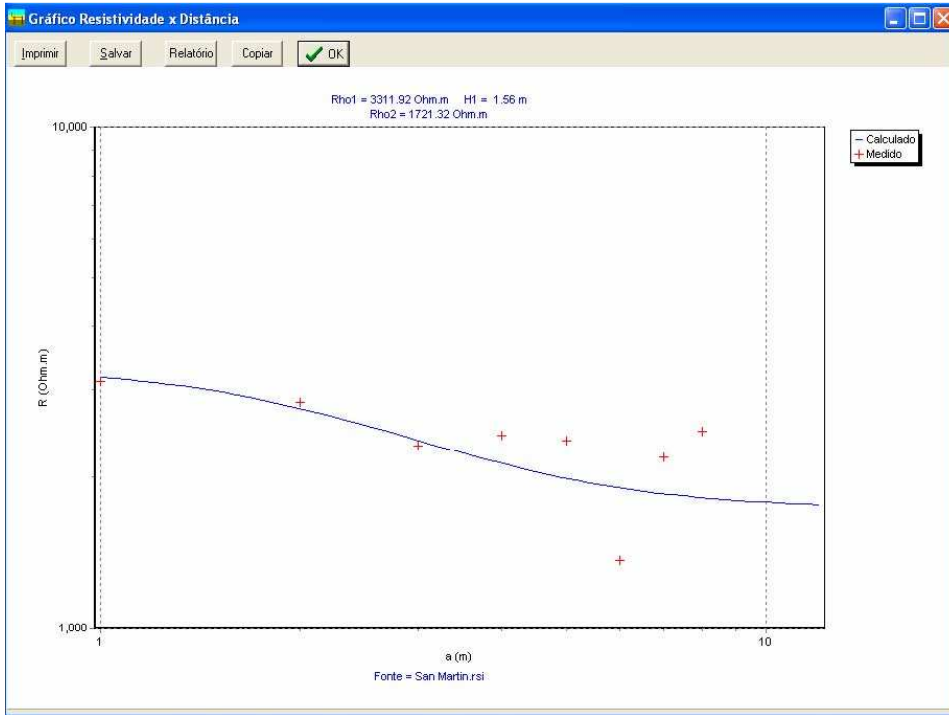


Figura N°. 5.36 Simulación de la resistividad de terreno

Resultados de la simulación de resistividad

R1= 3311.92	H1= 1.56

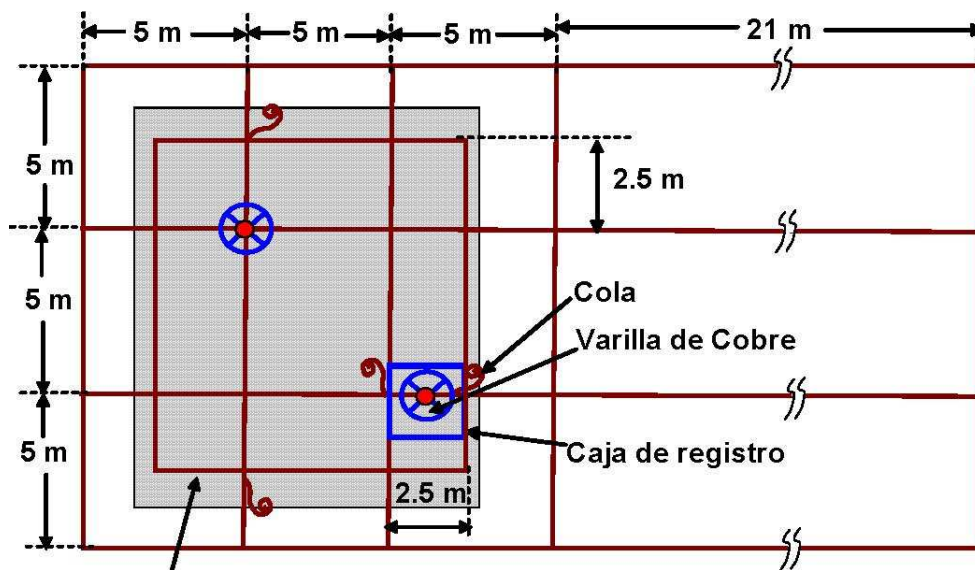
R2= 1721.32	H2= Inf.

Comparación entre valores medidos y calculados

A(I)	Rmedido(I)	Rcalculado(I)	Diferencia (%)
1	3108.39	3171.19	-2.02
2	2826.20	2746.96	2.80
3	2310.99	2370.93	-2.59
4	2423.63	2130.24	12.11
5	2366.44	1987.70	16.00
6	1367.65	1903.06	-39.15
7	2189.50	1851.18	15.45
8	2473.74	1818.02	26.51

5.10 SUBESTACIÓN Nº 03 LA VILLA

Registró un valor de resistencia de puesta a tierra por encima de los 25 Ohms (27 Ohms), se recomienda realizar un diseño adecuado, tal como se indica en la figura Nº 5.37



Zona de la Subestación existente

Figura Nº. 5.37 Malla Propuesta

Resistividad

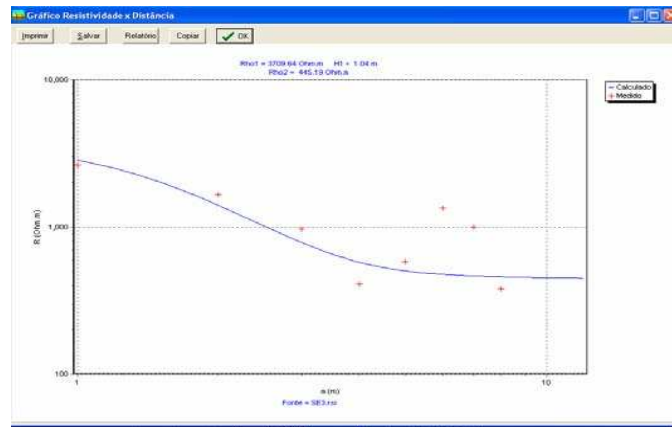


Figura Nº. 5.38

Resultados de Resistividade simulada

R1= 3709.64 | H1= 1.04 |

R2= 445.19 | H2= Inf

Comparación entre valores medidos y calculados

A(I)	Rmedido(I)	Rcalculado(I)	Diferencia (%)
1.0	2615.97	2819.26	-7.77
2.0	1660.89	1402.86	15.54
3.0	971.00	785.44	19.11
4.0	411.61	575.97	-39.93
5.0	584.46	504.82	13.63
6.0	1341.06	478.07	64.35
7.0	999.65	466.31	53.35
8.0	383.68	460.20	-19.94

Malla Propuesta

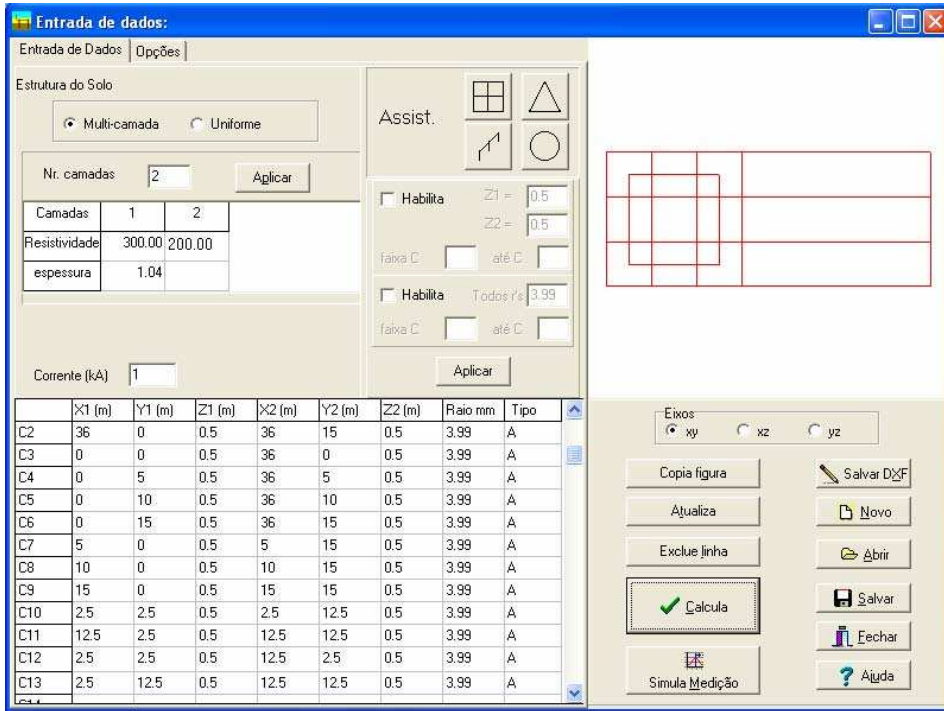


Figura Nº. 5.39 Simulando la malla

Perfiles de tensión

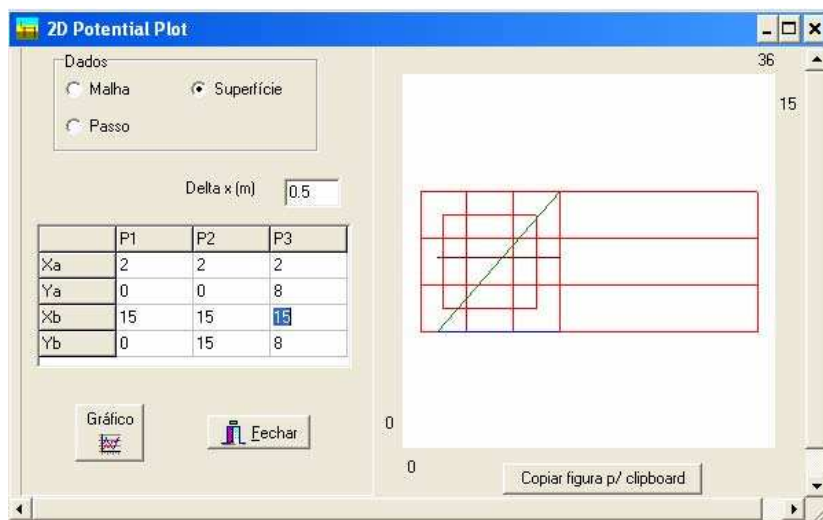


Figura Nº. 5.40 Perfis de tensión para simulación Tensiones de toque

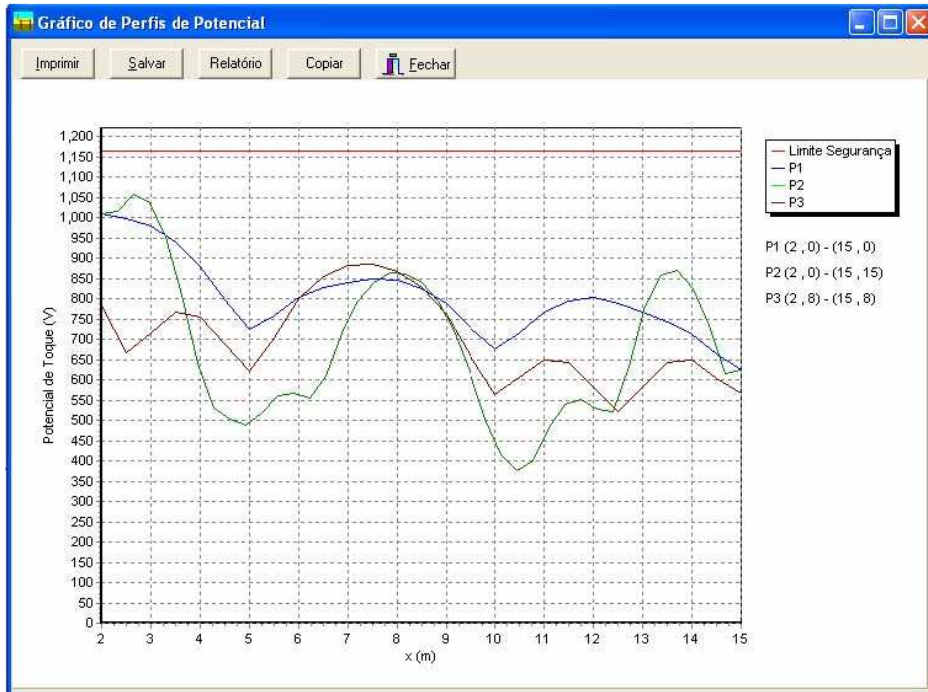


Figura Nº. 5.41 Tensões de Toque

Resultados de la Simulación

Corriente de malla = 1000.0 A

Resistencia de Malla = 4.477 Ohm

Elevación de potencial de malla = 4476.9 V

Número de Perfiles = 3

Perfil	Xa	Ya	Xb	Yb
1	2.0	0.0	15.0	0.0
2	2.0	0.0	15.0	15.0
3	2.0	8.0	15.0	8.0

Potencial de Toque Máximo y sus posiciones

Perfil	Valor Máximo	Xmax	Ymax
1	1009.6	2.0	0.0
2	1058.3	2.6	0.8
3	884.6	7.5	8.0

Valor máximo de potencial de Toque = 1163.2 V

Tensiones de Paso

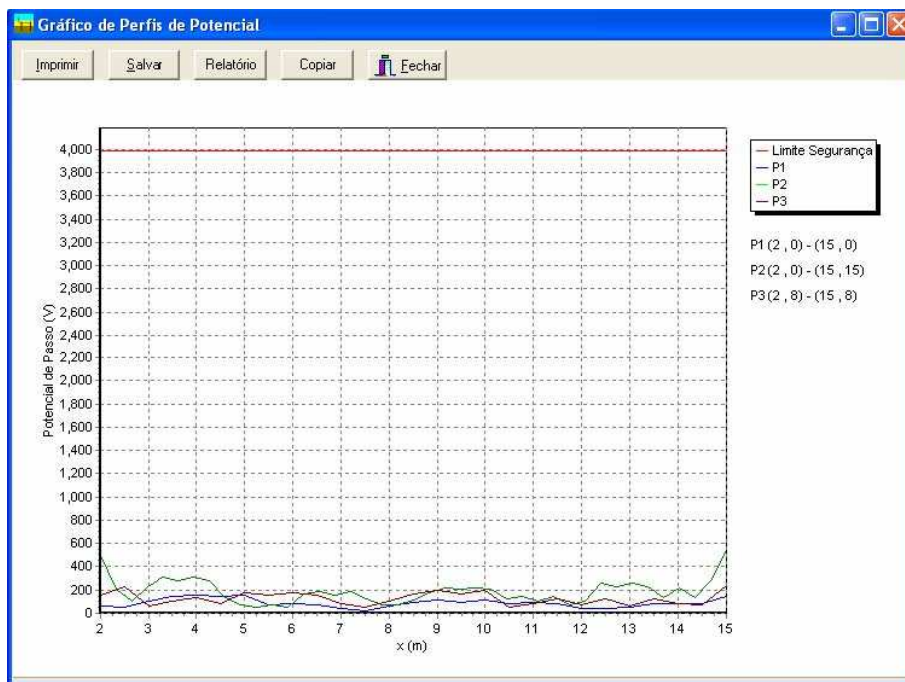


Figura Nº. 5.42 Tensiones de Paso

Resultados de la Simulación

Corriente de malla = 1000.0 A

Resistencia de Malla = 4.477 Ohm

Elevación de potencial de malla = 4476.9 V

Número de Perfiles = 3

Perfil	Xa	Ya	Xb	Yb
1	2.0	0.0	15.0	0.0
2	2.0	0.0	15.0	15.0
3	2.0	8.0	15.0	8.0

Máxima tensión de Paso y sus posiciones

Perfil	Valor Máximo	Xmax	Ymax
1	153.6	4.0	0.0
2	540.7	15.0	15.0
3	241.9	15.0	8.0

Valor máximo de potencial de paso admisible = 3986.6 V

Tensiones de Superficie

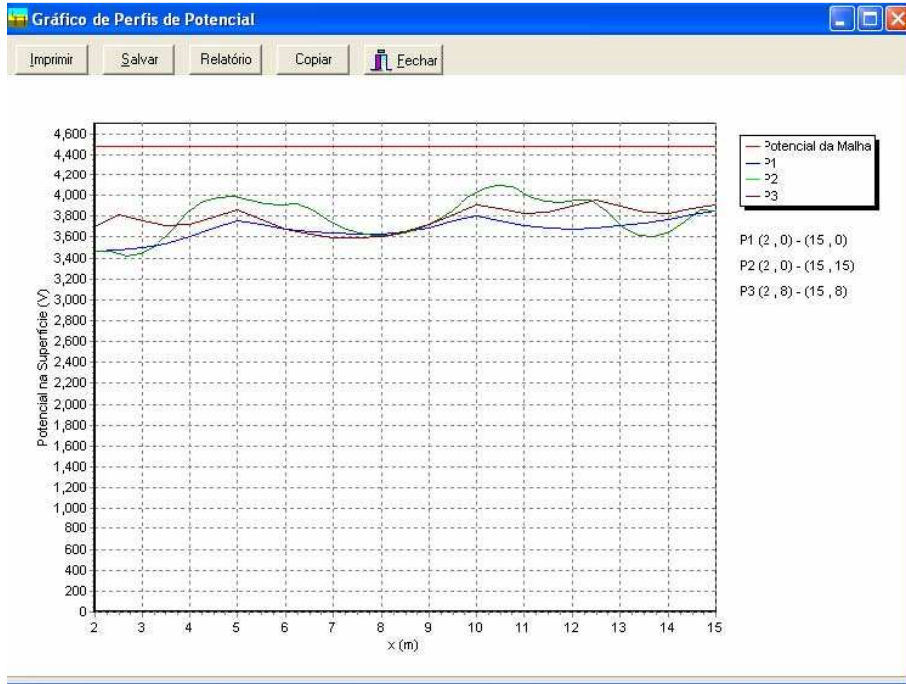


Figura Nº. 5.43 Tensões de Superficie

Simulação de las tensiones de Toque en el Espacio

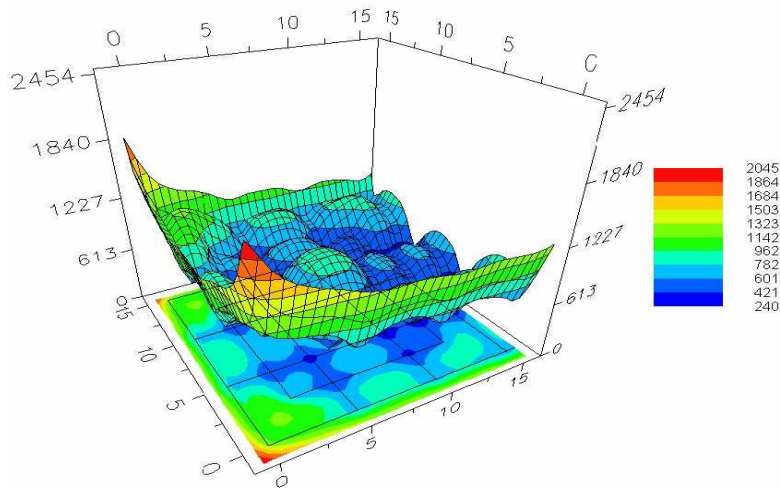


Figura Nº. 5.44

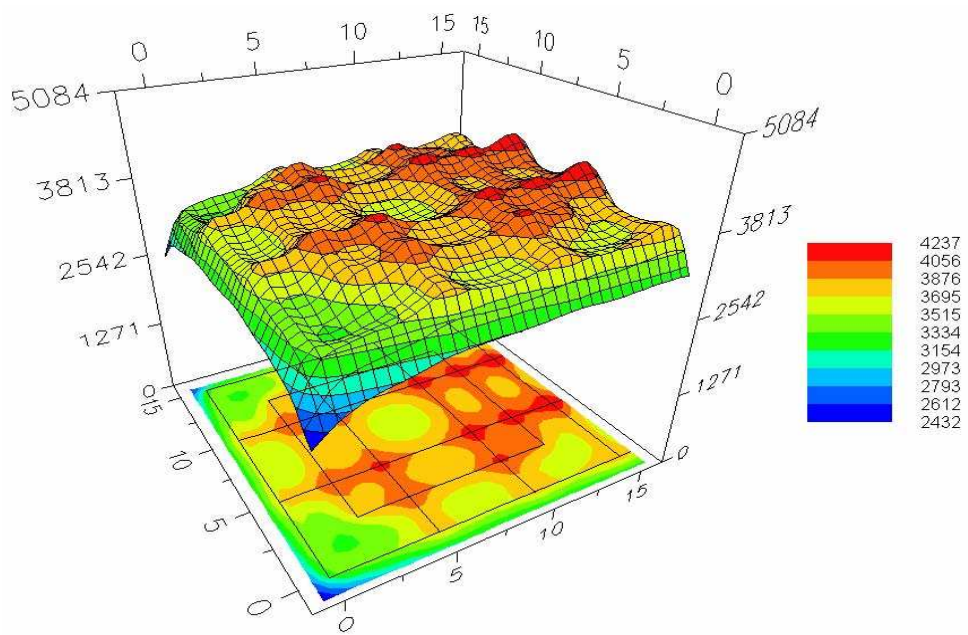


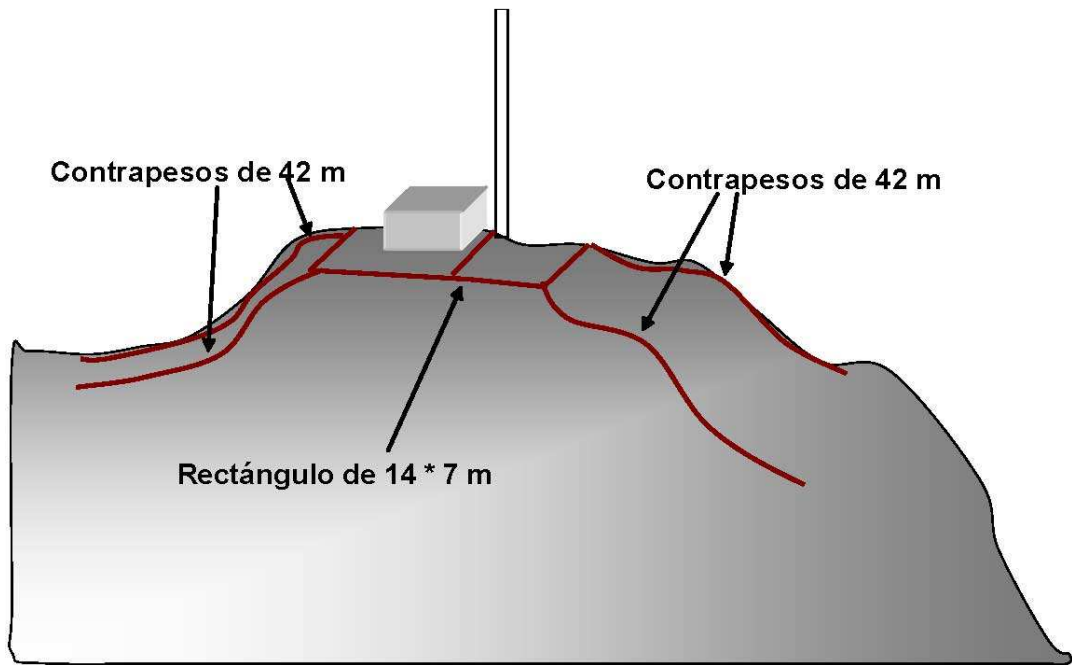
Figura N°5.45

5.11 CERRO ESPALDA DE LA VILLA

El lugar registra un valor de resistencia de puesta a tierra, por encima de los 800 Ohms ($R = 950$ Ohms), debido a la alta resistividad que presenta el terreno, por tanto se recomienda:

Colocar una Puesta a Tierra según el diseño de la Figura N° 5.46

Realizar un apantallamiento y equipotencialización, según se indica en el detalle de la Figura N° 5.46



Vista de Planta:

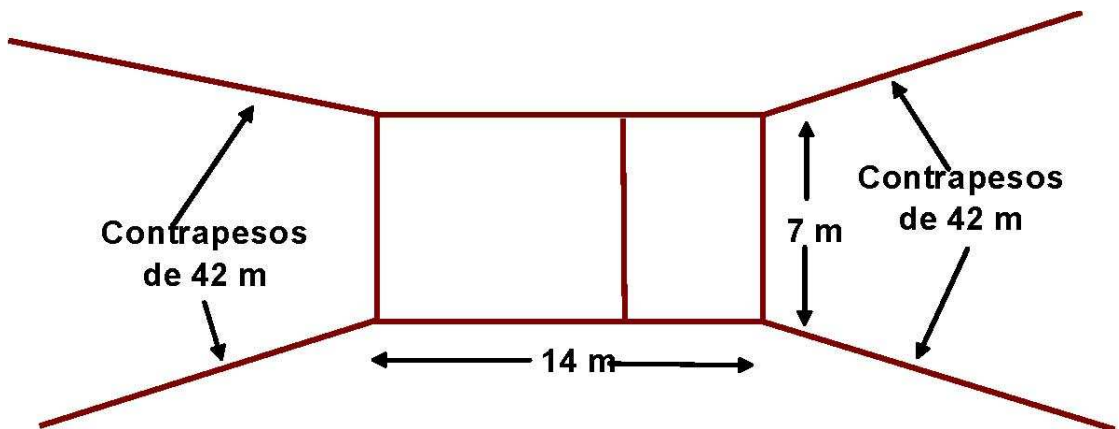


Figura Nº. 5.46

Conectar toda estructura metálica a Tierra.

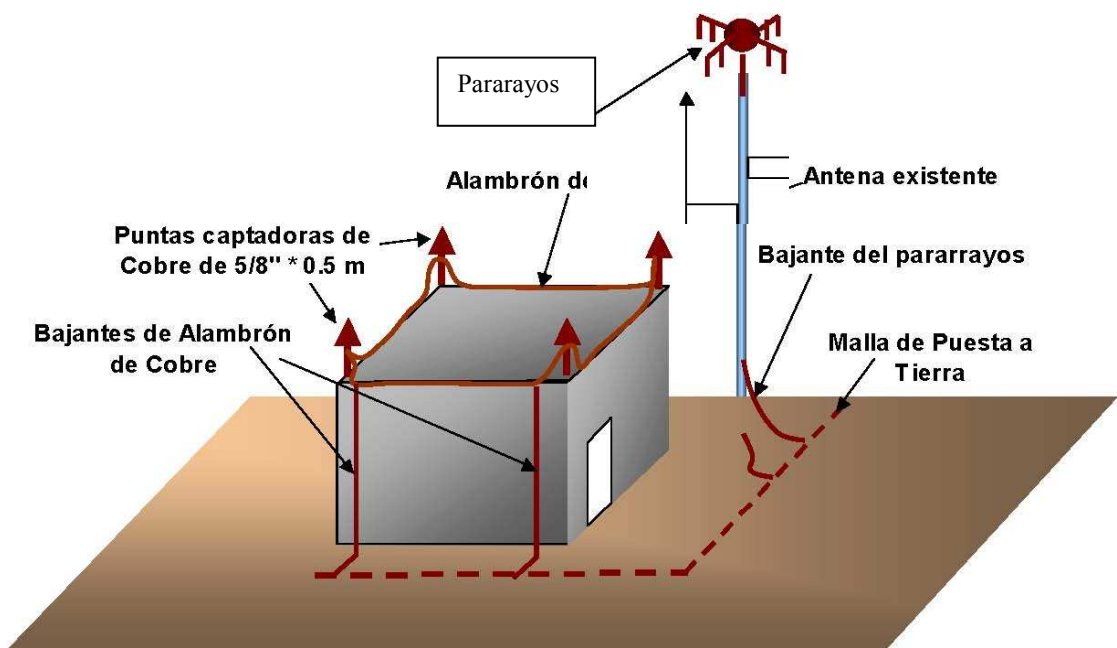


Figura N°5.47

5.12 CERRO URUGALDA

Se midió un valor de Resistencia de Puesta a Tierra muy alto (R frontal = 2,180 Ohms y R posterior = 863 Ohms), debido al gran valor de resistividad medido (34,935 Ohms x m), el procedimiento es análogo al punto 5.11. Pero adicionalmente se debe colocar un barraje de tierras y unir las puestas a tierra existentes junto con el diseño propuesto, como se indica en la Figura N° 5.47 y 5.48.

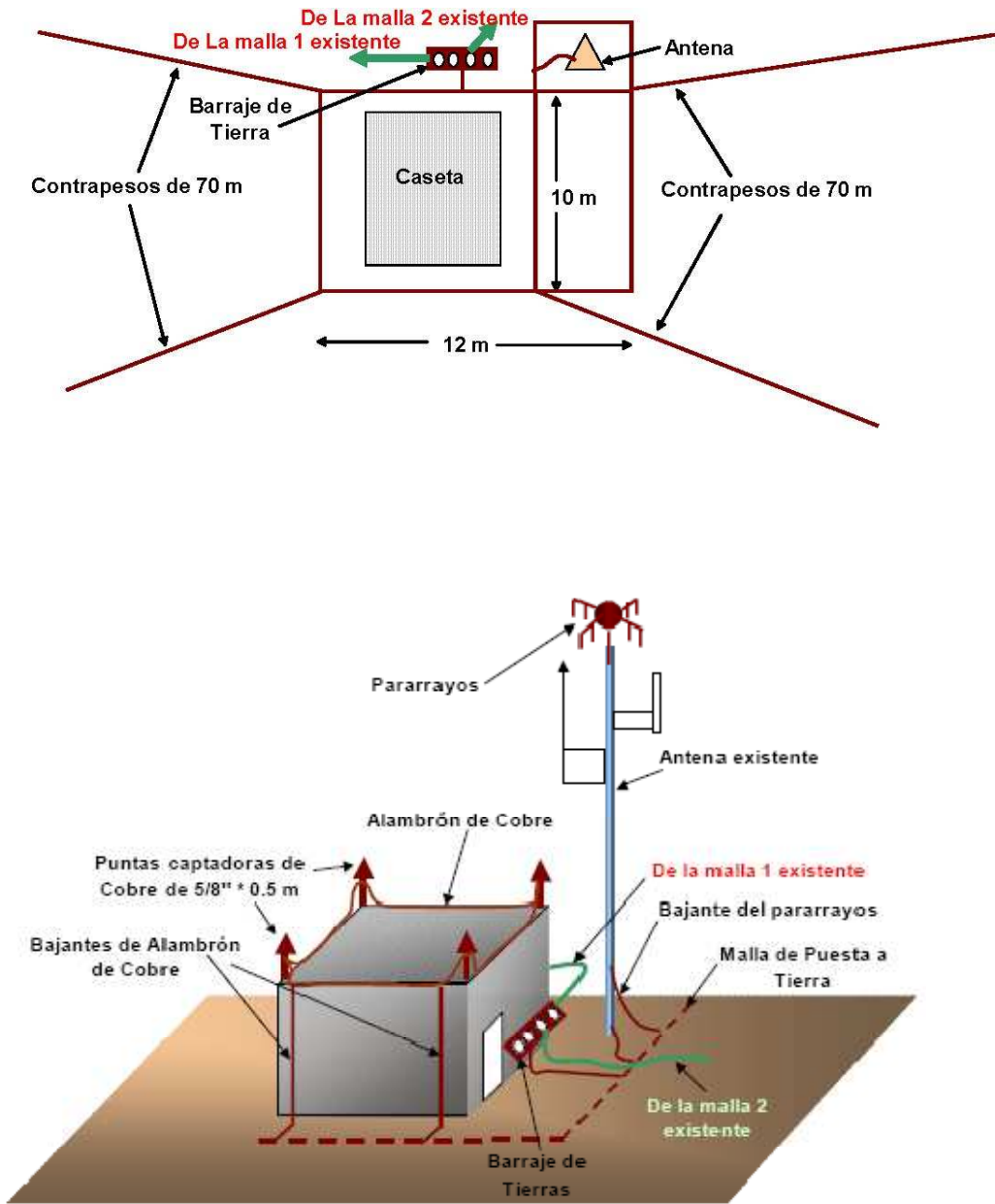


Figura N°5.48

5.13 POSTE 0072904 DE LA LÍNEA

Se registró un valor por encima del indicado en la Norma Peruana
($R = 55 \text{ Ohms}$), por tanto se recomienda lo siguiente en el diseño de la Figura N° 5.49

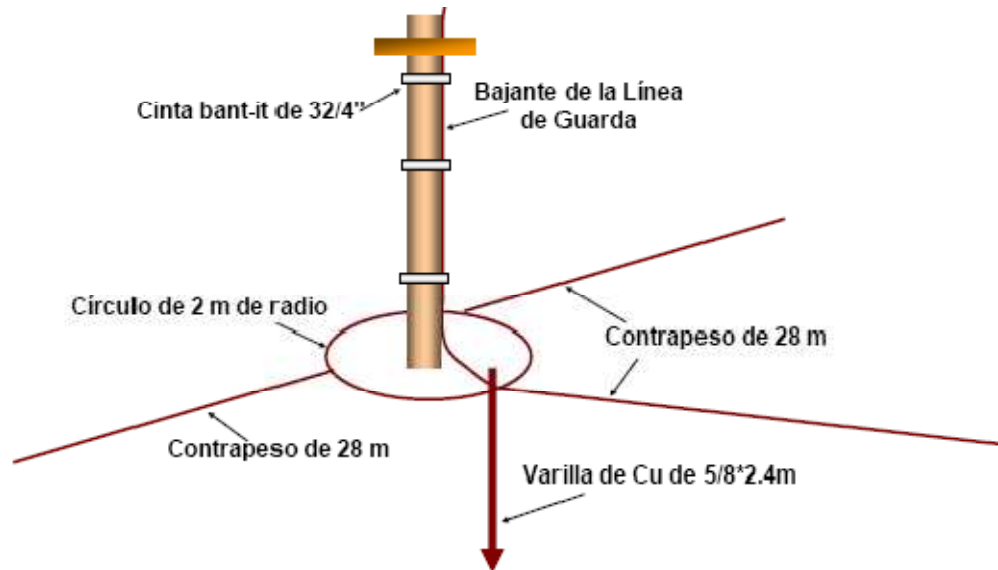


Figura N° 5.49

5.14 PARARAYOS DE LA LÍNEA

Registró un valor adecuado ($R = 2.6 \text{ Ohms}$), por tanto no requiere mayor atención.

5.15 PUNTO DE SALIDA DE LA LÍNEA EN COMARCA

La puesta a tierra existente está influenciada por una puesta a tierra muy cercana ubicada en la localidad de Comarca, que tiene una longitud mayor a 300 m, por necesitar un diseño específico para una aplicación en particular, como protección ($R = 12 \text{ Ohms}$)

5.16 CERRO CARBÓN

En este lugar el valor de la resistencia de puesta a tierra existente esta por encima de 25 Ohms ($R = 66,2$ Ohms), pero no existe nada que proteger; por tanto, de necesitar un diseño específico para una aplicación en particular, como protección contra rayos para una caseta de comunicaciones u otra, es necesario los planos de planta del mismo y las cotas de alturas.

CAPÍTULO 6
IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEJORAS

6.1 RESISTIVIDAD APARENTE DEL TERRENO.

Tabla 6.1

ESTACIÓN	RESISTIVIDAD PROMEDIO (Ω-m)
Subestación N° 2	443
Subestación N° 1 - Oficinas Generales	1,174
Planta Zona Exterior	361
Subestación N° 3 - La Villa	1,041
Estructura 0072904	3,712

6.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ARTIFICIAL FAVIGEL:

USO PRINCIPAL: Reducir y mantener la resistencia de una puesta a tierra.

RESISTIVIDAD: 0,5 Ω -m (humedecida)

PH: 7,0

EMBALAJE: Dosis de 25 kg – empaque en polipropileno

FAMILIA QUIMICA: Talco

6.3 DETALLES DE OBRA EJECUTADA

La Obra fue ejecutada en 23 días.

Se contó con la participación de:

-Personal de Segelectrica SAC

- Ing. Residente: Henry Vergaray Lozano
- Supervisor: Mauro Aguirre Romero
- Técnico: Josmell Noé Pasache
- Técnico: Mirco Ascencio Salinas

- Personal de la zona

El Personal de la zona, fue escogido de las diferentes comunidades en coordinación con la señorita Elizabeth Torres y el departamento de Seguridad quien proporcionó la charla de inducción. El trabajo a desempeñar fue exclusivamente de apertura y tapado de zanja.

La Relación de personas fue:

- Natividad de la Cruz Altamirano
- Gerardo Romero Esquivel
- Wilmer Flores Acevedo
- Severino Castillo Ruiz
- José Quispe Briceño
- Pablo Barrios Flores
- Edwin Sánchez Artenas
- Cupertino Altamirano

- Wilder Quispe Altamirano
- Francisco Laiza Yupanqui
- Cirilo Altamirano Leonardo
- Luis Ramirez Baltazar
- Isidro Paredes Reyes
- Ronald Richar Altamirano Asencio
- Eduardo Esquivel Iparaguirre

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SUBESTACIÓN N°1

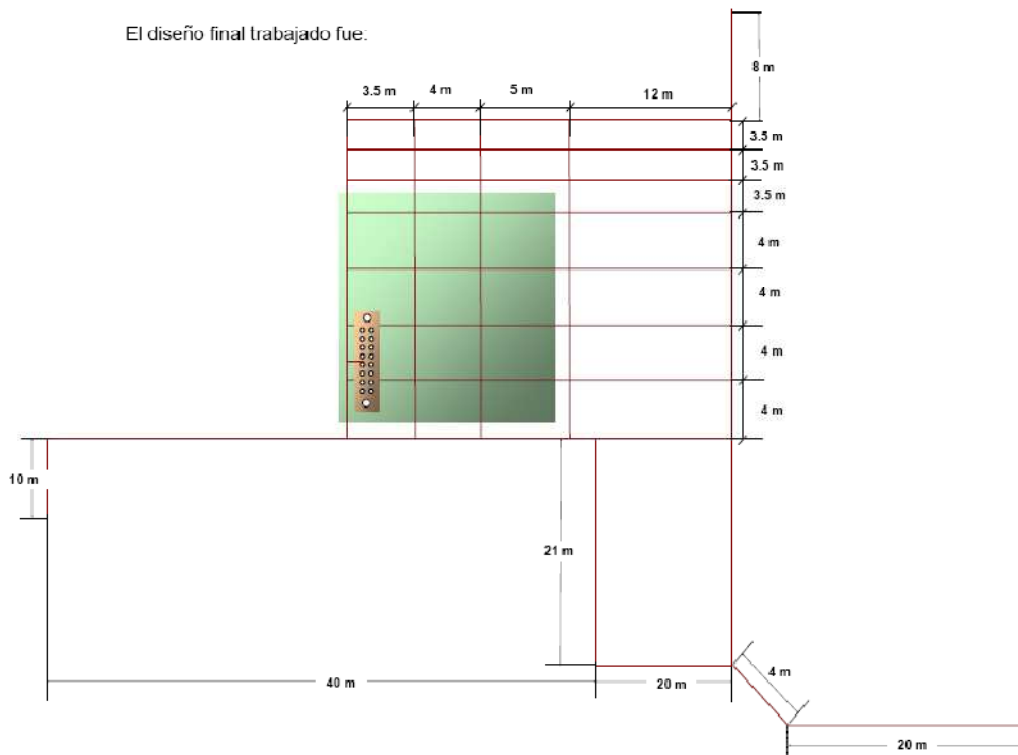


Figura N° 6.2



Figura N° 6.3

En el instante de la Foto, el Telurómetro midió **2.46 Ω** , pero se estabilizó en **2.49 Ω** , que es el valor oficial tomado.

6.5 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SUB N°2 Y OFICINAS GENERALES

El Diseño final fue:

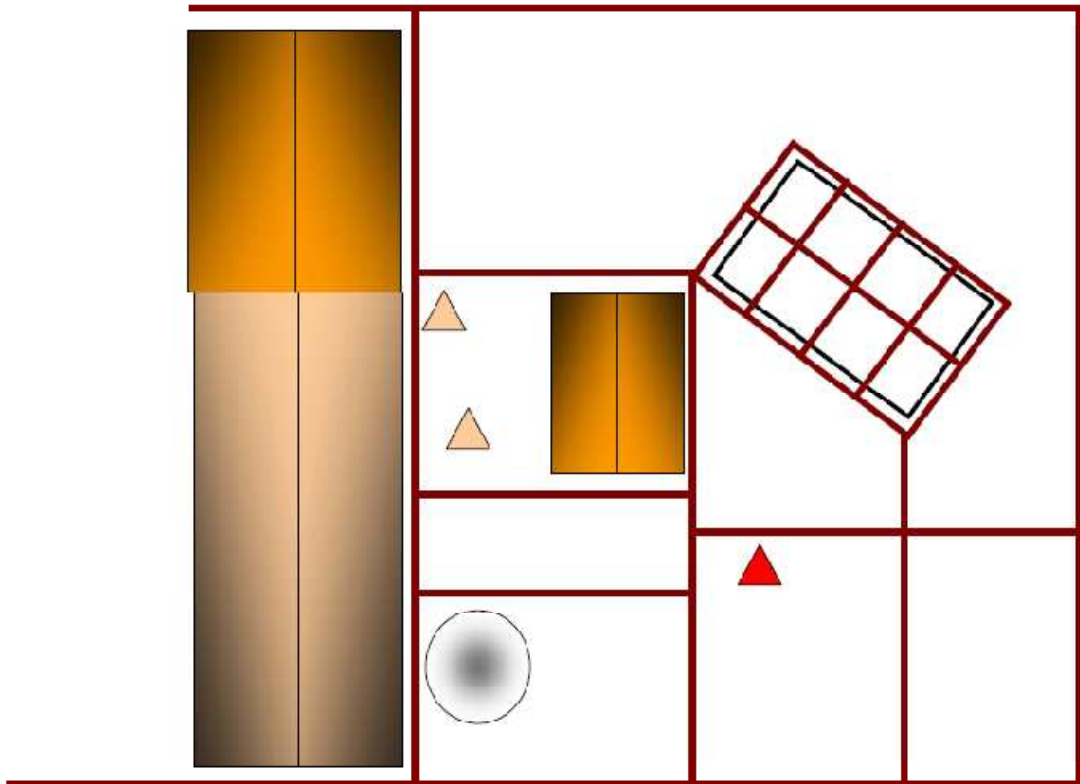


Figura N° 6.4



Figura N° 6.5

En el instante de la Foto, el Telurómetro midió **4.58** Ω , pero se estabilizó en **4.56** Ω , que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra.

6.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SUB N°3 LA VILLA

El Diseño final fue:

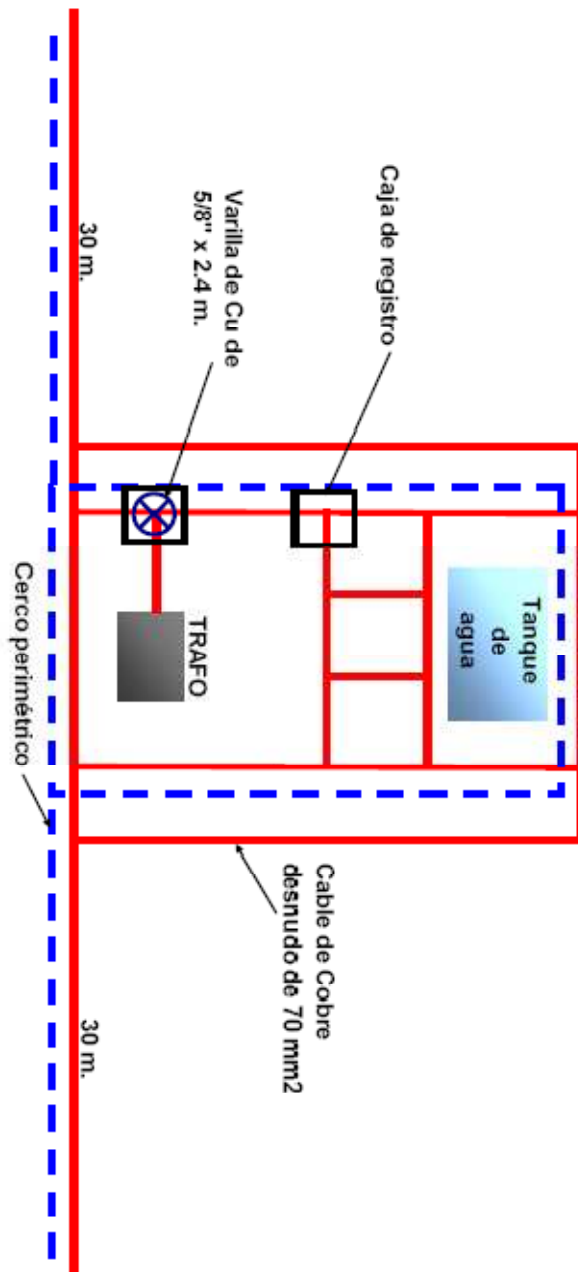


Figura N° 6.6

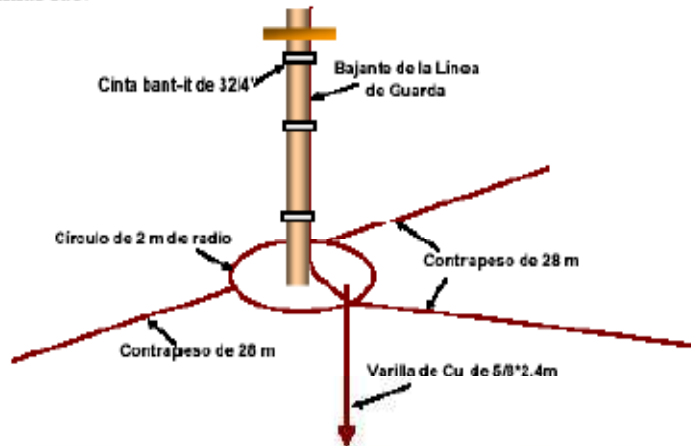


Figura N° 6.7

En el instante de la Foto, el Telurómetro midió **5.96** Ω , pero se estabilizó en **5.9** Ω , que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra

6.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL POSTE 0072904

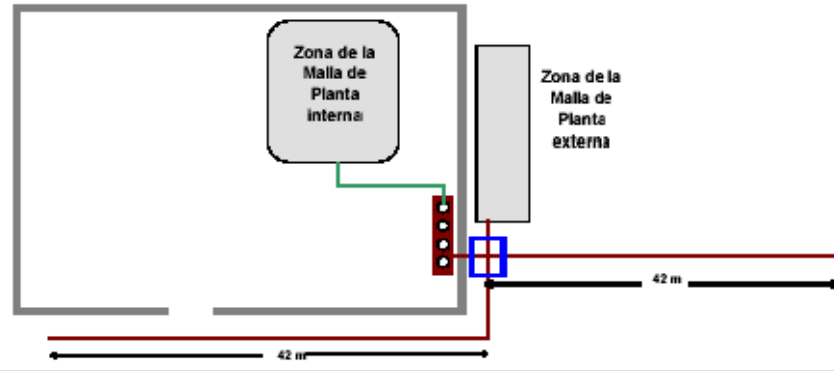
El Diseño final fue:



En el instante de la Foto, el Telurómetro midió **3.09 Ω**, estabilizándose en el mismo valor que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra

6.8 RESULTADOS OBTENIDOS EN PLANTA EXTERNA

El Diseño final fue:



En el instante de la Foto, el Telurómetro midió **6.85 Ω** , estabilizándose en el mismo valor que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra.

CONCLUSIONES

1. El Rayo es un evento probabilístico y como tal no existe una manera cien por ciento segura de evitarlo, lo que se hace es minimizar su efecto al mínimo posible a fin de salvaguardar los elementos materiales y la vida humana.
2. Con una adecuada Protección exterior, se garantizará que los impactos directos del rayo sean minimizados y que los efectos de los indirectos no sean nocivos y se minimicen sus efectos.
3. Los sistemas de captación son fundamentales como punto de impacto directo de un rayo, por lo tanto se debe tener gran cuidado a fin de evitar posibles daños, problemas de índole normativo y comercial, por ejemplo el uso de pararrayos radioactivos, los cuales están prohibidos por toda la comunidad científica.
4. Los requisitos mínimos a considerar en una Puesta a Tierra son:
 - Un adecuado valor de la resistencia para cada tipo de instalación
 - Mínima variación de resistencia a cambios ambientales
 - Garantizar una vida útil razonable (Como todo material eléctrico por lo menos debería presentar sus mismas características durante 10 años).
 - Resistente a la corrosión.
 - Costos razonables, sin comprometer la seguridad.
 - Permitir su mantenimiento periódico.

- Cumplir los requerimientos de las normas y especificaciones
5. Las principales funciones que debe tener una puesta a tierra son:
 - Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
 - Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
 - Servir de referencia al sistema eléctrico.
 - Conducir y disipar las corrientes de falla con suficiente capacidad.
 - Eliminar ruidos eléctricos.
 - En algunos casos, servir como conductor de retorno.
 - Transmitir señales de RF en onda media.
 6. Un Dispositivo contra sobretensiones (DPS), es el elemento que , limita el nivel de la sobretensión, mediante la absorción de la mayor parte de la energía transitoria, minimizando la transmitida a los equipos y reflejando la otra parte hacia la red.
 7. De acuerdo con IEC 61000-5-2/1997, todas las puestas a tierra deben estar interconectadas a través de bajas impedancias
 8. Los DPS o también llamados "Pararrayos de línea, deben colocarse correctamente a fin de tener una primera etapa correcta en la protección integral.
 9. Se debe medir la resistencia de puesta a tierra siguiendo la metodología sugerida por la norma Motorola, donde señala que se debe colocar el electrodo más lejano a 6.5 veces del electrodo más largo en la malla de puesta a tierra y el electrodo más corto al 62.8% de la distancia más larga.
 1. Después de 23 días de ejecución de la obra se obtuvieron los siguientes resultados con el telurómetro:

- En la Subestación 1 en el instante de la Foto, el Telurómetro midió **2.46** Ω , pero se estabilizó en **2.49** Ω , que es el valor oficial tomado.
- En la Subestación N°2 Y Oficinas Generales, en el instante de la Foto, el Telurómetro midió **4.58** Ω , pero se estabilizó en **4.56** Ω , que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra.
- En la Subestación N°3 La Villa en el instante de la Foto, el Telurómetro midió **5.96** Ω , pero se estabilizó en **5.9** Ω , que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra
- En el Poste 0072904 en el instante de la Foto, el Telurómetro midió **3.09** Ω , estabilizándose en el mismo valor que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra
- En Planta Externa en el instante de la Foto, el Telurómetro midió **6.85** Ω , estabilizándose en el mismo valor que es el valor oficial tomado y colocado en el documento de medición de puesta a tierra.

RECOMENDACIONES

1. En las Oficinas Generales se recomienda cambiar el pararrayos existente por uno del tipo Franklin, modelo Blunt Ref. P8, cuya hoja técnica se adjunta en los Anexos. Se deberá colocar un nuevo pararrayos en la antena detrás de la caseta de máquinas, al lado del GPS y un apantallamiento.
2. En la subestación N°1 el valor de la Resistencia de Puesta a Tierra está dentro de los límites admisibles ($R = 12.6$ Ohms) el problema son las tensiones de Toque y Paso, están por encima del límite permitido, por tanto es un gran peligro para un operario en la subestación, para lo cual se propone una malla adicional a la existente.
3. El Laboratorio y tanque de petróleo dispone de una resistencia dentro de los límites admisibles por la Norma Peruana, ($R = 1.6$ Ohms), por tanto no requiere mayor atención.
4. El Polvorín dispone de dos sistemas de Puesta a Tierra, a cada uno van 2 pararrayos. Sus valores de Resistencia son menores a 25 Ohms, ($R1 = 8,4$ y $R2 = 22,8$ Ohms respectivamente), sin embargo de requerir valores menores, se sugirió lo siguiente:
 - Unir las Puestas a Tierra existentes, mediante un barraje de tierras de $7\text{cm} \times 8\text{mm} \times 1\text{m}$, mediante conectores doble ojo para cable de 70 mm^2 .
 - Agregar un contrapeso de 70 m unido al barraje de tierras.
5. En la Escalerilla el valor registrado de la resistencia de Puesta a Tierra es 10

Ohms, por tanto no requiere mayor tratamiento.

6. En la Escalerilla pararrayos la Puesta a Tierra registró un valor de 22 Ohms, por tanto de requerir un valor menor, se sugirió lo siguiente:
 - Colocar un contrapeso de 70 m a un barraje de tierras y unirlo a la malla existente.
7. El Pararrayos San Martín presentó un valor de resistencia de puesta a tierra alto ($R = 152$ Ohms), según el resultado se recomienda:
 - Realizar el diseño propuesto en la Figura N° 5.35
8. En la Subestación N° 03 La Villa registró un valor de resistencia de puesta a tierra por encima de los 25 Ohms (27 Ohms), se recomienda realizar un diseño adecuado.
9. En el Cerro Espalda de la Villa se registra un valor de resistencia de puesta a tierra, por encima de los 800 Ohms ($R = 950$ Ohms), debido a la alta resistividad que presenta el terreno, por tanto se recomienda:
 - Colocar una Puesta a Tierra según el diseño de la Figura N° 8.42.
 - Realizar un apantallamiento y equipotencialización, según se indica en el detalle de la Figura N° 5.46
10. En el Cerro Urugalda se midió un valor de Resistencia de Puesta a Tierra muy alto (R frontal = 2,180 Ohms y R posterior = 863 Ohms), debido al gran valor de resistividad medido (34,935 Ohms x m), el procedimiento es análogo al del Cerro Espalda de la Villa, pero adicionalmente se debe colocar un barraje de tierras y unir las puestas a tierra existentes junto con el diseño propuesto, como se indica en la Figura N° 5.47 y 5.48.

11. En el Poste 0072904 de la Línea se registró un valor por encima del indicado en la Norma Peruana ($R = 55$ Ohms), por tanto se recomendó lo indicado en el diseño de la Figura N° 5.49
12. En el Pararayos de la línea se Registró un valor adecuado ($R = 2.6$ Ohms), por tanto no requiere mayor atención.
13. En el Punto de Salida de la Línea en COMARSA, la puesta a tierra existente está influenciada por una puesta a tierra muy cercana ubicada en la localidad de Comarca, que tiene una longitud mayor a 300 m, por necesitar un diseño específico para una aplicación en particular, como protección ($R = 12$ Ohms)
14. En el Cerro Carbón el valor de la resistencia de puesta a tierra existente está por encima de 25 Ohms ($R = 66,2$ Ohms), pero no existe nada que proteger; por tanto, de necesitar un diseño específico para una aplicación en particular, como protección contra rayos para una caseta de comunicaciones u otra, es necesario los planos de planta del mismo y las cotas de alturas.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

1. Meliopoulos, A. P. Sakis. Power system grounding and transients. M. Dekker, 1988
2. Sunde, Erling Ditlef. Earth Conduction Effects in Transmission Systems. D. Van Nostrand Co., 1949
3. *Chowdhuri, Pritindra. Electromagnetic transients in power systems. Reserach Studies Press, c1996
4. Greenwood, Allan. Electrical transients in power systems. Wiley-Interscience, 1971
5. Mardiguian, Michel. EMI troubleshooting techniques. McGraw-Hill Professional, 1999
6. Mardiguian, Michel. Grounding and bonding. Interference Control Technologies, 1988
7. Casas, Favio. Tierras – Soporte de la Seguridad Electrica. Editorial ICONTEC, 2005
8. Hermanos Mejia Villegas Ingenieros. Subestaciones de Alta y Extra Alta Tension. HMV Ingenieros, 2003
9. Donald G. Fink, H. Wayne Beaty, John Miller Carroll. Manual práctico de electricidad para ingenieros. Editorial Reverté, S.A., 1981
10. Casas Favio, EEEB, 18982.
11. Amórtegui, F. Aplicaciones de las puestas a tierra III. SiPaT, Universidad Nacional de Colombia, 2001.
12. Gonzales, César M y Sánchez Jorge A. Modelamiento de contrapesos en sistemas de puesta a tierra. UN, 1988.
13. Torres Sanchez, Horacio. El rayo: mitos, leyendas, ciencia y tecnología. Univ. Nacional de Colombia, 2002

Normas y documentos aplicados

1. MOTOROLA: R56 (1994) Quality Standards. Fixed Network Equipment Installations.
2. Codigo Nacional Electrico Peruano
3. IEC 1024-1 (1990-03) Protection of structures against lightning.
4. IEC 1024-1-1 (1993-08) Protection of structures against lightning
5. IEC 61024-1-2 (1998-05) Protection of structures against lightning- Part 1-2

6. ANSI/ IEEE 1100-1999: Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment
7. ANSI/ IEEE 80 - 1986: (version 1992) Guide for Safety in AC Substation Grounding
8. ANSI/ IEEE Std 81 - 1983: Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance
9. IEC 61000-5-2 (1997-11) Electromagnetic compatibility part 5: Installation and mitigation guidelines - section two: Earthing and cabling
10. NFPA 780 – 2000 Standard for lightning protection system
11. API 2003 – 1998 Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning and Stray Currents.
12. NEC 2002 National Electrical Code®
13. IEC 62305 – 1: El método de manejo de riesgo - 2005
14. IEC 62305 – 2: Los criterios para el diseño, la instalación y el mantenimiento de medidas de protección contra rayo - 2005
15. IEC 62305 – 3: Medidas de protección para reducir los daños físicos y el peligro de los seres vivos dentro de una estructura - 2005
16. IEC 62305 – 4: Medidas de protección para reducir las fallas en los sistemas eléctricos y de electrónicos de una estructura - 2005
17. IEC 62305 – 5: Medidas de protección para reducir los daños físicos y fallas en la prestación de servicios que incorpora ICONTEC: NTC 4628. Calificación de Conexiones Permanentes Usadas en Puestas a Tierra en Subestaciones - 2005
18. S45052-L1511-P661 (1993) SIEMENS, Puesta a Tierra de Equipos de Telecomunicaciones
19. TIA/EIA SP-607-A: Commercial Building grounding and Bonding requirements for Telecommunications (August 1994).
20. UIT –T K8 –1988 (Antes CCITT) Separación en el suelo entre un cable de telecomunicación y el sistema de puesta a tierra de una instalación de energía eléctrica.
21. UIT –T K11 1993 (Antes CCITT) Principios de protección contra las sobretensiones y sobrecorrientes
22. UIT –T K27 1996 (Antes CCITT) Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra dentro de los edificios de telecomunicación.
23. UIT –T K31 1993 (Antes CCITT) Método de conexión equipotencial y puesta a tierra dentro de los edificios de abonados.
24. UIT –T K35 1996 (Antes CCITT) Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra en instalaciones electrónicas distantes.
25. UIT –T K36 1996 (Antes CCITT) Selección de los dispositivos de protección.
26. V15-E (1993): Bonding Configurations and Earthing inside a Telecommunication Building.
27. VDE 0141 (1964), Regulation for Earthings in A.C. Installations with Rated Voltage above 1 kV.n una estructura (principalmente eléctricos y las líneas de telecomunicación)