



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

## **ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN**

**Edwin Romeo Ochoa Paredes**

Asesorado por el Ing. Gustavo Adolfo Cuevas Porta

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDWIN ROMEO OCHOA PAREDES**

ASESORADO POR EL ING. GUSTAVO ADOLFO CUEVAS PORTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

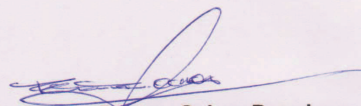
DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montúfar Urizar
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de octubre de 2011.



**Edwin Romeo Ochoa Paredes**

Guatemala, 16 de Julio de 2012


Ingeniero Romeo Nettali Lopez Orozco  
Coordinador de Electrotecnia  
Escuela de ingeniería mecánica-eléctrica  
Facultad de ingenieria  
USAC.

Estimado Ingeniero Romeo Lopez:

Por este medio le saludo y al mismo tiempo hago de su conocimiento dar mi aprobación al trabajo de graduacion titulado: **Análisis de sistemas de proteccion en instalaciones de baja tensión** , desarrollado por el estudiante Edwin Romeo Ochoa Paredes, por considerar que cumple con los objetivos , establecidos, por lo que el estudiante y asesor, nos hacemos responsables dei contenido de este trabajo.

Sin otro particular.

Atentamente,

  
Gustavo Adolfo Cuevas Porta  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 8608

Ing. Gustavo Adolfo Cuevas Porta  
Colegiado activo No. 8608  
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

A-8 MEME 56, 2012.

Guatemala, 25 de SEPTIEMBRE 2012.

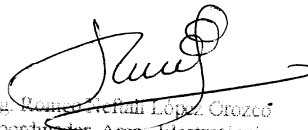
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN  
INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN", del estudiante  
Edwin Romeo Ochoa Paredes, que cumple con los requisitos  
establecidos para tal fin.

Si otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
DNY ENSEÑADA A TODOS

  
Ing. Romeo Rafael López Orozco  
Coordinador Área Electrotécnica

RNLO/so



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. LIME 00. 2012.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: EDWIN ROMEO GUZDA PAREDES. Título: "ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 29 DE OCTUBRE 2012.

V c Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.059-2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Romeo Ochoa Paredes**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRIMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, febrero de 2013



/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser luz y esperanza en la vida.
<b>Mi madre</b>	Sara Paredes de Ochoa (q.e.p.d). Por su amor principios y valores inculcados.
<b>Mi tía</b>	Concepción Paredes. Por ser una segunda madre en mi desarrollo como persona.
<b>Mi padrino</b>	José Miguel Albanés (q.e.p.d). Por ser un padre en mi formación de vida.
<b>Mi hermano</b>	Byron Ochoa. Por su colaboración en la vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Familia Parada Villalta</b>	Julio Parada y Arely Villalta de Parada. Por hacerme sentir parte de la familia y apoyo incondicional en la vida.
<b>Pablo Díaz</b>	Por su valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo de graduación.
<b>Gustavo Cuevas</b>	Por su colaboración y motivación a seguir adelante.
<b>Blanca Higueros</b>	Por ser colaboración en momentos difíciles de la vida.
<b>Maryuri Ruiz</b>	Por su paciencia y comprensión en este proceso de vida.
<b>Provelec</b>	Por darme la oportunidad de desarrollar mis habilidades.
<b>Usted</b>	Por su colaboración directa e indirectamente con este servidor.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. CONSIDERACIONES DE PUESTA A TIERRA.....	1
1.1. Objetivo de la puesta a tierra de los equipos.....	1
1.2. Tipos de electrodos permitidos para puesta a tierra.....	1
1.2.1. Tubería de agua .....	1
1.2.2. Estructuras metálicas de un edificio o estructura.....	2
1.2.3. Electrodo revestidos en concreto.....	2
1.2.4. Anillo de tierra.....	3
1.2.5. Electrodo tipo varilla o tubo .....	3
1.2.6. Placas .....	4
1.2.7. Otros.....	4
1.2.8. Electrodos no permitidos .....	4
1.3. Objetivo del conductor de tierra del equipo .....	4
1.4. Tipos conductores de tierra del equipo.....	5
1.4.1. Conductores .....	5
1.4.2. Conduit intermedio metálico, conduit rígido metálico y tubo metálico eléctrico .....	5
1.4.2.1. Tubo metálico flexible .....	7
1.4.2.2. Conduit metálico flexible.....	7

	1.4.2.3.	Conduit flexible metálico a prueba de agua .....	8
1.5.		Tipos de fijación para los conductores de tierra del equipo.....	9
	1.5.1.	Conector de presión .....	10
	1.5.2.	Conector de compresión .....	10
	1.5.3.	Soldadura exotérmica .....	11
1.6.		Selección del conductor de tierra del equipo.....	12
	1.6.1.	Generales.....	12
	1.6.2.	Incremento de calibre .....	12
	1.6.3.	Múltiples circuitos .....	13
	1.6.4.	Circuito de motores .....	13
	1.6.5.	Conductores en paralelo .....	13
	1.6.6.	Derivaciones de alimentadores .....	14
1.7.		Métodos de tierra .....	15
	1.7.1.	Método del 62% .....	15
	1.7.2.	Método de la pendiente .....	16
	1.7.3.	Método de intersección de curvas.....	23
2.		PROTECCIÓN EXTERNA .....	27
2.1.		Tipos de tecnologías de pararrayos .....	27
	2.1.1.	Puntas Franklin .....	27
	2.1.2.	Radiactivo.....	27
	2.1.3.	Cebado.....	28
2.2.		Niveles cerámicos .....	29
2.3.		Densidad de rayos a tierra .....	31
2.4.		Análisis de riesgo .....	32
2.5.		Probabilidad de incidencia del rayo.....	35
2.6.		Área colectora equivalente.....	36
2.7.		Componentes del sistema de protección externa .....	37

2.8.	Métodos para ubicación de pararrayos.....	37
2.8.1.	Método del ángulo .....	37
2.8.2.	Método de la esfera rodante .....	38
2.8.3.	Método del mallado o jaula de Faraday .....	40
2.9.	Tipos de materiales para la protección externa .....	41
2.9.1.	Terminales aéreas .....	42
2.10.	Conductores bajantes.....	43
2.11.	Sistemas de puesta a tierra .....	43
2.12.	Configuraciones típicas de la red de tierra .....	44
2.12.1.	Tipo A .....	44
2.12.2.	Tipo B .....	44
2.13.	Estándar <i>NFPA 780</i> para la instalación de pararrayos .....	44
2.13.1.	Generales .....	45
2.13.2.	Daños mecánicos o desplazamientos .....	45
2.13.3.	Terminales aéreos .....	46
2.13.3.1.	Altura del terminal aéreo.....	46
2.13.3.2.	Soporte del terminal aéreo.....	47
2.13.3.3.	Localización de los terminales aéreos.....	48
2.14.	Conductores bajantes.....	50
2.15.	Número de conductores bajantes .....	51
2.16.	Protección de conductores bajantes.....	52
2.17.	Curvas de conductores.....	52
2.18.	Fijación de conductores.....	53
2.19.	Conductores en techo.....	53
2.20.	Conductores en cruz .....	54
2.21.	Electrodos de puesta a tierra .....	54

3.	PROTECCIÓN INTERNA .....	59
3.1.	Dispositivos de protección.....	59
3.2.	Tipos de tecnologías .....	60
3.2.1.	Gas.....	60
3.2.2.	Varistor óxido metálico .....	61
3.2.2.1.	Varistor de carburo de silicio .....	62
3.2.2.2.	Varistor de óxido de zinc .....	62
3.2.3.	Diodo zener .....	63
3.3.	Ubicación de protección interna por categorías .....	65
3.3.1.	Categoría C .....	65
3.3.2.	Categoría B .....	65
3.3.3.	Categoría A .....	65
3.4.	Parámetros para su selección.....	66
3.4.1.	Modo por fase .....	66
3.4.2.	Modo de protección.....	66
3.4.3.	Voltaje máximo de operación continuo ( MCOV).....	67
3.4.4.	Voltaje nominal.....	67
3.4.5.	Corriente nominal de descarga .....	67
3.4.6.	Corriente máxima de descarga .....	67
3.4.7.	Rango de voltaje de protección ( VPR) .....	67
3.4.8.	Niveles de exposición.....	68
3.4.8.1.	Alto .....	68
3.4.8.2.	Medio.....	68
3.4.8.3.	Bajo .....	68
3.5.	Coordinación de protección.....	69
4.	READECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN .....	71
4.1.	Datos de la instalación .....	71
4.2.	Historial .....	72

4.3.	Solución al problema .....	73
4.3.1.	Sistema de puesta a tierra .....	73
4.3.2.	Protección externa .....	75
4.3.3.	Sistema de protección interna .....	76
CONCLUSIONES .....		83
RECOMENDACIONES .....		87
BIBLIOGRAFÍA.....		89
APÉNDICES .....		91





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Conductor de cobre.....	5
2.	Conduit intermedio metálico .....	6
3.	Conduit rígido metálico.....	6
4.	Tubo metálico eléctrico .....	6
5.	Tubo metálico flexible.....	7
6.	Conduit metálico flexible .....	8
7.	Conduit flexible metálico a prueba de agua .....	9
8.	Conector de presión Al / Cu .....	10
9.	Conector de compresión .....	11
10.	Soldadura exotérmica.....	12
11.	Método del 62%.....	16
12.	Método de la pendiente .....	17
13.	Método de intersección de curvas .....	24
14.	Intersección de curvas.....	26
15.	Mapa de niveles isoceráunicos.....	30
16.	Probabilidad de incidencia del rayo .....	36
17.	Método del ángulo.....	38
18.	Método de la esfera rodante.....	39
19.	Método del mallado .....	41
20.	Ubicación de terminales aéreos .....	47
21.	Soporte de terminal aéreo .....	48
22.	Localización de terminales .....	49
23.	Ubicación de terminales .....	50

24.	Ubicación de bajantes.....	51
25.	Radio y curva de conductores.....	52
26.	Fijación de conductores en techo .....	53
27.	Anillo de tierra.....	56

## TABLAS

I.	Selección del conductor de tierra del equipo.....	14
II.	Coeficiente Delta .....	20
III.	Coeficiente Delta .....	21
IV.	Coeficiente Delta.....	22
V.	Distancia a 20 metros .....	24
VI.	Distancia a 40 metros .....	25
VII.	Distancia a 60 metros .....	25
VIII.	Distancia a 80 metros .....	25
IX.	Descargas de rayo a tierra.....	31
X.	Determinación del coeficiente del medio circundante .....	33
XI.	Determinación del coeficiente estructural $C_2$ .....	33
XII.	Determinación del contenido de la estructura .....	34
XIII.	Determinación de la ocupación de las estructuras.....	34
XIV.	Determinación de consecuencias del rayo .....	35
XV.	Nivel de protección .....	40
XVI.	Dimensiones del mallado.....	41
XVII.	Materiales de clase I.....	42
XVIII.	Materiales de clase II.....	43
XIX.	Cuadro comparativo de tecnologías .....	64
XX.	Propiedades de los conductores.....	77
XXI.	Conductor de puesta a tierra para sistemas AC .....	78
XXII.	Supresor para tablero principal.....	79

XXIII.	Supresor para subtablero 3 .....	80
XXIV.	Supresor para máquina 4 .....	81



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Al</b>	Aluminio
<b>H</b>	Altura
<b>Am</b>	Americio
$\alpha$	Ángulo
<b>AWG</b>	Calibre de conductor
<b>C</b>	Carbono
<b>CM</b>	Circular mils
$\Delta$	Coefficiente delta
<b>I</b>	Corriente
<b>Sr</b>	Estroncio
<b>DRT</b>	Descargas de rayo a tierra
<b>SAD</b>	Diodo de silicio de avalancha
<b>SPD</b>	Dispositivo de protección contra picos
$^{\circ}$	Grados
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
<b>CB</b>	Interruptor o flipón
<b>kA</b>	Kiloamperio
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>kV</b>	Kilovoltio
<b>Kr</b>	Kriptón
<b>L-L</b>	Línea a línea
<b>L-N</b>	Línea a neutro

<b>L-G</b>	Línea a tierra
<b>+ / -</b>	Más / menos
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>≤</b>	Menor o igual que
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>μ s</b>	Microsegundo
<b>KCM</b>	Mil circulars mils
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milímetro cuadrado
<b>ns</b>	Nanosegundo
<b>N-G</b>	Neutro a tierra
<b>ZnO</b>	Óxido de zinc
<b>'</b>	Pie
<b>%</b>	Porcentaje
<b>"</b>	Pulgada

## GLOSARIO

<b>BIL</b>	Nivel básico de aislamiento.
<b>Conduit metálico flexible</b>	Canalización de sección transversal circular hecha de banda metálica entrelazada, conformada y enrollada en espiral.
<b>Conduit metálico flexible a prueba de agua</b>	Canalización certificada de sección transversal circular que lleva una chaqueta exterior hermética a los líquidos, no metálica y resistente a la luz del sol sobre una parte central metálica flexible con sus acoples, conectores y herrajes aprobados para la instalación de conductores.
<b>Conduit metálico intermedio</b>	Canalización de acero certificada, de sección circular con acoples integrados o asociados, aprobada para la instalación de conductores eléctricos y usada con herrajes certificados para brindar continuidad eléctrica.
<b>Conduit metálico rígido</b>	Canalización de acero certificada, de sección circular con acoples integrados o asociados, aprobada para la instalación de conductores eléctricos y usada con herrajes certificados para brindar continuidad eléctrica.

<b>Corriente de falla</b>	Corriente que puede darse por dos causas por corto circuito o falla a tierra.
<b>Domótica</b>	Conjunto de sistemas capaces de automatizar, una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación.
<b>IEC</b>	Cómite Eléctrico Internacional.
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
<b>MCOV</b>	Voltaje máximo de operación continúa.
<b>Modem</b>	Dispositivo para enviar una señal llamada modulada, mediante otra señal llamada portadora.
<b>MOV</b>	Varistor óxido metálico.
<b>NEMA</b>	Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos.
<b>NFPA</b>	Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego.
<b>Nivel cerámico</b>	Número de días tormenta promedio al año en que por lo menos se escucha un trueno.
<b>PLC</b>	Para realizar automatismos, dispositivos electrónicos que reproducen programas informáticos que permiten controlar autómatas.



<b>Transiente</b>	Son fenómenos puntuales y únicos, pueden presentarse uno detrás de otro o juntos, que se caracterizan por ser pulsos de gran cantidad de energía y de muy corta duración con muy cortos tiempos de subida y bajada de la señal.
<b>Tubo metálico eléctrico</b>	Tubería certificada de sección transversal circular aprobada para la instalación de conductores eléctricos cuando se unen con herrajes certificados.
<b>Tubo metálico flexible</b>	Tubería certificada de sección transversal circular, flexible, metálica y hermética a los líquidos.
<b>TVSS</b>	Supresor de transientes de voltaje.
<b>UL</b>	Under writer laboratorios.
<b>VPR</b>	Rango de voltaje de protección.



## RESUMEN

Cuando se analizan los sistemas de protecciones en las instalaciones de baja tensión sean éstas: residenciales, comerciales o industriales; se debe iniciar con el sistema de puesta a tierra de la instalación, sí la instalación ya dispone de un sistema de puesta a tierra se debe de medir, el valor de la resistencia de tierra. Métodos para medirla hay varios, de los cuales aquí se trataron los siguientes: del 62%, de la pendiente y de la intersección de curvas. Además se describe los tipos de electrodos más utilizados para la puesta a tierra de una instalación, los cuales deben cumplir con requisitos, para poder considerarlos como electrodos. También se trata el conexionado del conductor de puesta a tierra del equipo y formas de fijación del mismo.

En el capítulo de protección externa se describe las diferentes tecnologías de pararrayos, los niveles ceráunicos que se tienen disponibles, la densidad de rayos a tierra, el análisis de riesgo de la instalación, probabilidad de incidencia de un rayo, área colectora equivalente, los componentes del sistema de protección externa, los métodos para la ubicación del pararrayos, tipos de materiales, conductores bajantes, sistemas de puesta a tierra y sus configuraciones típicas, normativa *NFPA 780* para la instalación y fijación de los componentes del sistema de protección externa. Con la información anterior poder determinar sí la instalación necesita de protección externa, interna o de ambas.

Respecto al capítulo de protección interna se trata de las diferentes tecnologías para los TVSS, ubicación por categorías, parámetros para su selección y coordinación.

El último capítulo es la readecuación de los sistemas de protección es aplicar lo desarrollado anteriormente a un caso real.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar los sistemas de protección en instalaciones de baja tensión.

### **Específicos**

1. Describir los electrodos más comunes para puestas a tierra en las instalaciones de baja tensión.
2. Explicar la metodología para la medición de la resistencia de tierra por los métodos del 62%, de la pendiente y de intersección de curvas.
3. Aplicar correctamente los tipos de tierra del equipo.
4. Seleccionar correctamente el calibre del conductor de tierra del equipo de acuerdo a normas eléctricas.
5. Describir las diferentes tecnologías de protección externa.
6. Describir los parámetros necesarios para la selección de la protección externa en baja tensión.
7. Aplicar normas eléctricas para la instalación y fijación de la protección externa en baja tensión.

8. Describir los parámetros necesarios para la selección de la protección interna de una instalación en baja tensión.
9. Aplicar la normativa eléctrica para su instalación y ubicación de la protección interna en una instalación de baja tensión.

## INTRODUCCIÓN

Dentro del mundo eléctrico, específicamente en las instalaciones de baja tensión existen muchos mitos sobre los sistemas de puesta a tierra, de cómo debe realizarse o a veces, por comentarios, creen muchas personas que hay una receta para realizarlos. Los profesionales involucrados en dicho tema, saben muy bien que antes de colocar un sistema de puesta a tierra, lo primero que debe realizarse es la medición de la resistividad del suelo y en función del valor se procede a modelar el sistema de puesta a tierra que llene los requisitos de seguridad y cumpla con las normas eléctricas existentes a esta actividad se le llamará la fase de medición y diseño, después se procede a su instalación.

Efectuado, se procede al conexionado interno de todos y cada uno de los equipos que necesitan de la tierra del equipo, así como a aquellos objetos o equipos metálicos que podrían estar expuestos y transportar una corriente de falla, evitando así daños al personal o a la propiedad; de hecho las normativas o estándares siempre consideran de primero evitar daños a la vida humana y en segundo lugar a la propiedad o equipos. Definido todo lo anterior se analizará de acuerdo a los niveles cerámicos de la República de Guatemala, la necesidad de instalar la protección externa o interna de acuerdo al análisis de riesgo, y así a seleccionar los componentes externos e internos adecuados.

Entre las protecciones externas tratadas de acuerdo a su tecnología, se tienen las puntas Franklin, radiactiva ya prohibida, la de cebado. Para el dimensionamiento se utilizará los niveles cerámicos y métodos: del ángulo, el de la esfera rodante y el mallado, la fijación e instalación que es muy importante, para evitar altas impedancias en el recorrido de la corriente de rayo,

los materiales comúnmente usados para los bajantes y electrodos., las configuraciones típicas de la red de tierra para los sistemas de protección externa de acuerdo al estándar *NFPA 780*.

Para las protecciones internas, debe tenerse cuidado al momento de su dimensionamiento, ya que para esto se debe tener en cuenta su ubicación de acuerdo a las categorías y nivel de exposición que explica el estándar *IEEE C62.41.1*, las especificaciones de los parámetros que se deben exigir al momento de su compra. Al respecto también hay muchos mitos, sobre el tema sí se coloca uno de alta capacidad y con esto ya está protegido de todo fenómeno que pueda afectar a los equipos sensibles o los electrónicos. Y como se ha venido describiendo la instalación es algo bien importante debido a los voltajes remanentes que pueden pasar por los terminales del equipo de protección.



# **1. CONSIDERACIONES DE PUESTA A TIERRA**

Este tema es muy amplio en cuanto a sus aplicaciones y se enfocará en los tipos de electrodos permitidos para puestas a tierra en instalaciones de baja tensión y los no permitidos, el conductor de puesta a tierra del equipo, sus diferentes tipos, identificación del conductor de tierra del equipo, los tipos de fijación del conductor de tierra del equipo, su selección y medición de la resistencia de tierra por los métodos: del 62%, de la pendiente e intersección de curvas.

## **1.1. Objetivo de la puesta a tierra de los equipos**

Su función principal es transportar la corriente de falla, sea ésta por corto circuito o de fase a tierra de los equipos, para que la protección actúe y el equipo o instalación no se dañe.

## **1.2. Tipos de electrodos permitidos para puesta a tierra**

A continuación se describen los electrodos permitidos y no permitidos para las puestas a tierra.

### **1.2.1. Tubería de agua**

Los requisitos para que una tubería de agua sea considerada como un electrodo de puesta a tierra es la siguiente:

- La tubería tiene que tener contacto directo con la tierra

- Con longitud mínima de 3 m ( 10 ' ) o más enterrado en la tierra
- Debe ser metálica y continua, puede hacerse continúa con puentes alrededor de las uniones, sí en dado caso no lo fuera.
- Para una tubería a más de 1,50 m ( 5 ' ) de distancia del punto de entrada no es permitido que sea usada como electrodo de puesta a tierra, pero hay excepción, sí se trata de una instalación comercial o industrial dónde exista una persona calificada.

### **1.2.2. Estructuras metálicas de un edificio o estructura**

Las estructuras metálicas deben de estar conectadas de acuerdo a los siguientes requisitos.

- Tener una longitud de 3 m ( 10 ' ) o más en contacto directo con la tierra con o sin revestimiento de hormigón.
- La sujeción de los pernos de fijación de la columna de acero estructural debe estar conectado con el electrodo revestido en concreto, que es localizado en la base de la fundición por medio de: soldadura, soldadura exotérmica o el medio usual de sujeción de los cables de acero.

### **1.2.3. Electrodo revestidos en concreto**

El electrodo debe ser revestido:

- Al menos 2" (50 mm) en el concreto y estar localizado en el fondo de la fundición, en contacto directo con la tierra.

- Debe consistir en al menos 6 m ( 20 ') de longitud una o más varillas reforzadas de acero o zinc galvanizado o electrodos de 1 / 2 " (13 mm) de diámetro u otro material eléctricamente conductivo revestido.
- O 6 m ( 20 ') de conductor de cobre desnudo no menor a un calibre 4 AWG.

#### **1.2.4. Anillo de tierra**

Este requiere circular alrededor de todo el edificio o estructura y en contacto directo con la tierra, consiste de al menos 6 m (20 ') de longitud de conductor de cobre desnudo no menor al calibre 2 AWG.

#### **1.2.5. Electrodo tipo varilla o tubo**

Estos electrodos deben tener una longitud mínima de 2,50 m (8 ') y consisten de los siguientes materiales:

- Electrodos tipo tubo o conduit con un diámetro no menor a 3 / 4 ", de hierro o acero, debe tener un revestimiento para evitar la corrosión.
- Electrodos de hierro o acero deben tener un diámetro mínimo de 5/8 "
- Y los de puro cobre de 1 / 2 " de diámetro

### **1.2.6. Placas**

Estos deberán de tener una superficie de 0,186 m<sup>2</sup> (2 pies cuadrados), si son de hierro o acero deberán de tener un espesor mínimo de 6,4 mm ( 1 /4 ") y si son de cobre un espesor mínimo de 1,5 mm (0,006 ").

### **1.2.7. Otros**

Estos pueden ser electrodos como tuberías subterráneas con revestimiento, estructuras locales o tanques metálicos usados para dichos propósitos.

### **1.2.8. Electrodo no permitidos**

Se tiene el sistema de tubería de gas y los electrodos de aluminio.

## **1.3. Objetivo del conductor de tierra del equipo**

Es el conductor usado para conectar las partes metálicas del equipo que no transportan corriente, canalizaciones y otros encerramientos al sistema de puesta a tierra, al conductor puesto a tierra, al conductor del electrodo de tierra o ambos, en el tablero principal o a un sistema de fuente derivada separada. Su función servir como trayectoria de baja impedancia, segura para transportar y soportar la corriente de falla, el color del forro del conductor debe ser verde o verde con una o más rayas amarillas, si el conductor tiene un calibre mayor al calibre 6 AWG, entonces se marcará con color verde los extremos del conductor o todo punto visible dentro de la canalización, para su identificación.

## **1.4. Tipos conductores de tierra del equipo**

A continuación se describen los tipos de materiales que se pueden utilizar como tierra del equipo y los requisitos que deben de llenar para considerarse como tales.

### **1.4.1. Conductores**

Los conductores pueden ser de cobre, aluminio o aluminio revestido de cobre y deben de ir con los conductores del circuito, pueden ser sólidos, trenzados, aislados o desnudos.

Figura 1. **Conductor de cobre**



Fuente: Empresa Conductores del Norte.

### **1.4.2. Conduit intermedio metálico, conduit rígido metálico y tubo metálico eléctrico**

El tubo metálico debe estar certificado para que tenga accesorios nominados para ser usado como conductor de tierra del equipo.

Figura 2. **Conduit intermedio metálico**



Fuente: Empresa *EVT Electrical*.

Figura 3. **Conduit rígido metálico**



Fuente: Empresa *Western tube*.

Figura 4. **Tubo metálico eléctrico**



Fuente: Empresa *Flex tubes*.

#### 1.4.2.1. Tubo metálico flexible

Debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Los conductores de fase deben ir dentro del tubo y tener una protección de 20 amperios o menos.
- La longitud combinada del conduit flexible metálico, tubo metálico flexible y conduit flexible metálico a prueba de agua no debe exceder una longitud de 1,8 m ( 6 ').

Figura 5. Tubo metálico flexible



Fuente: Empresa *Delikon*.

#### 1.4.2.2. Conduit metálico flexible

Debe llenar los siguientes requisitos para ser considerado como tierra del equipo:

- Los accesorios deben estar certificados para este uso
- Los conductores dentro del tubo deben de tener una protección de 20 amperios o menos.

- La longitud combinada del conduit metálico flexible, tubo metálico flexible y el conduit flexible metálico a prueba de agua no debe exceder una longitud de 1,8 m ( 6 ').
- Sí se necesita de flexibilidad para minimizar la transmisión de vibración del equipo, es necesario instalar dentro del tubo el conductor de tierra del equipo.

Figura 6. **Conduit metálico flexible**



Fuente: Empresa *Southwire*.

#### **1.4.2.3. Conduit flexible metálico a prueba de agua**

Los requerimientos que deben cumplir son los siguientes:

- Los accesorios deben estar certificados para este tipo de uso
- Para diámetros de 3 / 8 " a 1 / 2 ", los conductores del circuito dentro del tubo deben estar protegidos con una protección de 20 amperios o menos.
- Para diámetros de 3 / 4 " a 1 1 / 4", los conductores del circuito dentro del tubo deben estar protegidos con una protección de no más de 60



amperios y no debe de tener conduit metálico flexible, tubo metálico flexible o conduit flexible metálico a prueba de agua en tamaños de 3/8 " a 1 1/2 ".

- La longitud combinada del conduit metálico flexible, tubo metálico flexible y conduit flexible metálico a prueba de agua no debe exceder de 1,8 m ( 6 ').
- Sí necesita de flexibilidad para minimizar la transmisión de vibración del equipo, es necesario instalar dentro del tubo el conductor de tierra del equipo.

Figura 7. **Conduit flexible metálico a prueba de agua**



Fuente: Empresa *EMT conduit*.

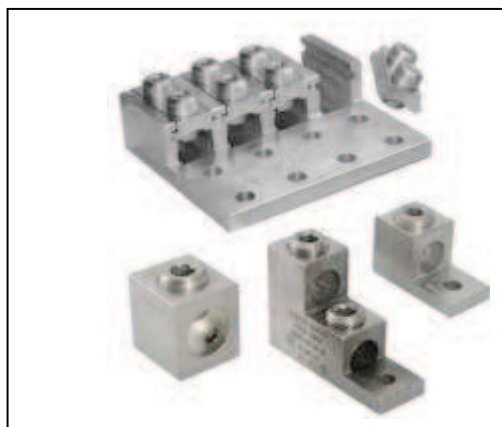
### **1.5. Tipos de fijación para los conductores de tierra del equipo**

Los dispositivos utilizados para la fijación de los diferentes tipos de conductores de tierra del equipo se describen a continuación.

### 1.5.1. Conector de presión

Estos son conectores tipo abrazadera, de presión u otros conectores listados para dicho fin, son diseñados específicamente para conductores de cobre o aluminio. Los conectores deben estar identificados para el conductor de cobre Cu y Al para el de aluminio, la mayoría están marcados como Al / Cu, para evitar la corrosión el conector debe ser bimetálico.

Figura 8. Conector de presión Al / Cu



Fuente: Empresa *llsco*.

### 1.5.2. Conector de compresión

Son diseñados para cobre o aluminio y para calibres específicos de los conductores, otro de los puntos importantes es seleccionar la herramienta adecuada, mejor si son del mismo fabricante, estas pueden ser herramientas mecánicas o hidráulicas, los dispositivos de conexión o accesorios que dependen únicamente sólo de soldadura no son permitidos al igual que tornillos para conectar conductores o dispositivos de conexión a los gabinetes, que no están certificados para ese fin.

Figura 9. **Conector de compresión**

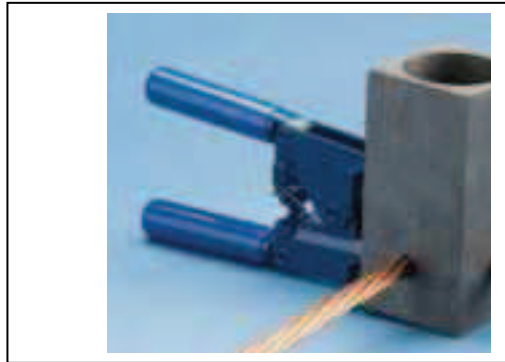


Fuente: Empresa *llsco*.

### 1.5.3. **Soldadura exotérmica**

Para esto se usan moldes que están de acuerdo con la forma y están diseñados para los calibres específicos del conductor o barra a ser soldada, así como el material dónde será hecha la conexión ya sea un electrodo de tierra, un conductor de tierra, acero reforzado o una columna de acero estructural. Es muy importante seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante, para el uso del molde y los materiales a ser soldados deben estar limpios y secos. El material alcanza una temperatura de 2 204 °C, esta temperatura fusiona los materiales que serán unidos, los procedimientos de seguridad para su aplicación como: el uso de lentes de seguridad, guantes, etc, deben utilizarse antes de realizar dicho proceso.

Figura 10. **Soldadura exotérmica**



Fuente: Empresa *ERICO*.

## **1.6. Selección del conductor de tierra del equipo**

A continuación se describe el procedimiento para la selección del conductor de tierra del equipo que dependerá del caso que se trate.

### **1.6.1. Generales**

El conductor debe ser de cobre, aluminio o aluminio con revestimiento de cobre y no se permite que sea menor como lo mostrado en la tabla I.

### **1.6.2. Incremento de calibre**

Cuando los conductores de fase son incrementados en su calibre, el conductor de tierra del equipo también debe incrementarse proporcionalmente acorde con el área de los circular mils de los conductores de fase de la siguiente manera:

- Relación de incremento = incremento conductor de fase/ conductor de fase requerido.
- Dicha relación se multiplica por el área en circular mils del conductor de tierra del equipo actual, lo que dará el conductor de tierra del equipo requerido.
- Para esto utilizar la tabla I (tabla No. 250.122 del estándar *NFPA 70*)

### **1.6.3. Múltiples circuitos**

Quando se trata de sólo un conductor de tierra del equipo extendido con múltiples circuitos en la misma canalización, seleccionarlo de acuerdo al dispositivo de protección de sobrecorriente de mayor capacidad de corriente.

### **1.6.4. Circuito de motores**

Dónde el dispositivo de sobrecorriente consiste de un *circuit breaker* de disparo instantáneo o un protector de corto circuito, el conductor de tierra del equipo se selecciona en función de los dispositivos de sobrecarga, ver tabla I.

### **1.6.5. Conductores en paralelo**

Quando los conductores son extendidos, en paralelo en múltiples canalizaciones, el conductor de tierra del equipo se extenderá en paralelo en cada canalización y se selecciona de acuerdo al rango del valor de la protección de sobrecorriente que protege dichos conductores en cada canalización.

### 1.6.6. Derivaciones de alimentadores

El conductor se extenderá con las derivaciones de los alimentadores y no se permite que sea menor que lo indicado en la tabla I, basado en el rango de la protección de sobrecorriente adelante del alimentador, que no es requerido que sea más grande que los conductores de la derivación.

Tabla I. Selección del conductor de tierra del equipo

Rating or Setting of Automatic Overcurrent Device in Circuit Ahead of Equipment, Conduit, etc., Not Exceeding (Amperes)	Size (AWG or kcmil)	
	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum*
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	750
5000	700	1200
6000	800	1200

Fuente: *National Fire Protection Association 70.p.134.*

## **1.7. Métodos de tierra**

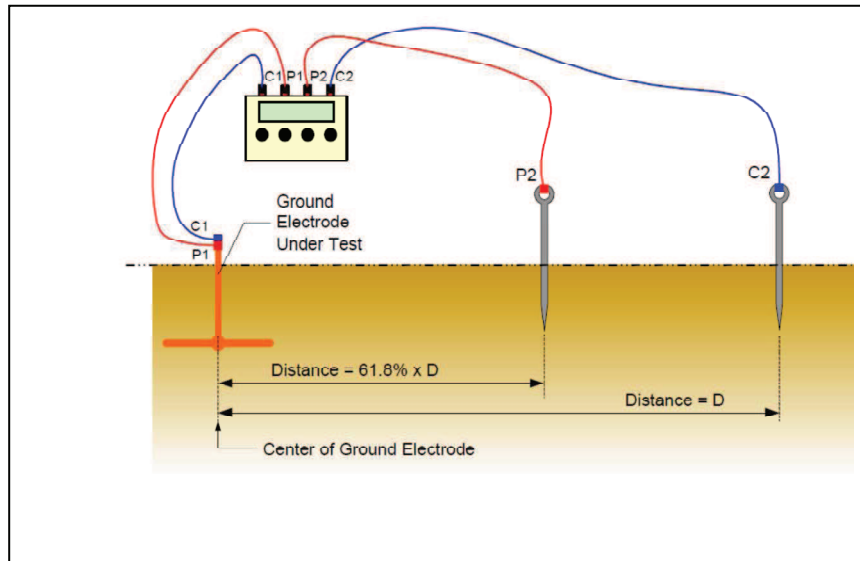
A continuación se describirá los métodos utilizados con frecuencia para medir la resistencia de tierra de una instalación, que dependerá de las dimensiones de la red de tierra.

### **1.7.1. Método del 62%**

Este es el método más usado para la medición de puesta a tierra, para esto hay que hacer lo siguiente:

- Colocar el electrodo de corriente lo más lejos posible, si hay espacio disponible en la instalación, ver figura 11.
- Sacar el 62% de la distancia donde se colocó el electrodo de corriente, el valor resultante es la distancia donde se debe colocar el electrodo de potencial medido desde el electrodo de prueba.
- Los electrodos de corriente y potencial deben estar colocados en línea recta, al electrodo de prueba y se procede a realizar la primera medición de resistencia R1.
- Luego la segunda y tercera medición se realiza a una distancia de + / - 10% a la que se ha colocado el electrodo de potencial.
- Sí entre los valores obtenidos no hay mucha diferencia se ha de validar el resultado.

Figura 11. Método del 62%



Fuente: *Reeve Engineers 2008.p.17.*

### 1.7.2. Método de la pendiente

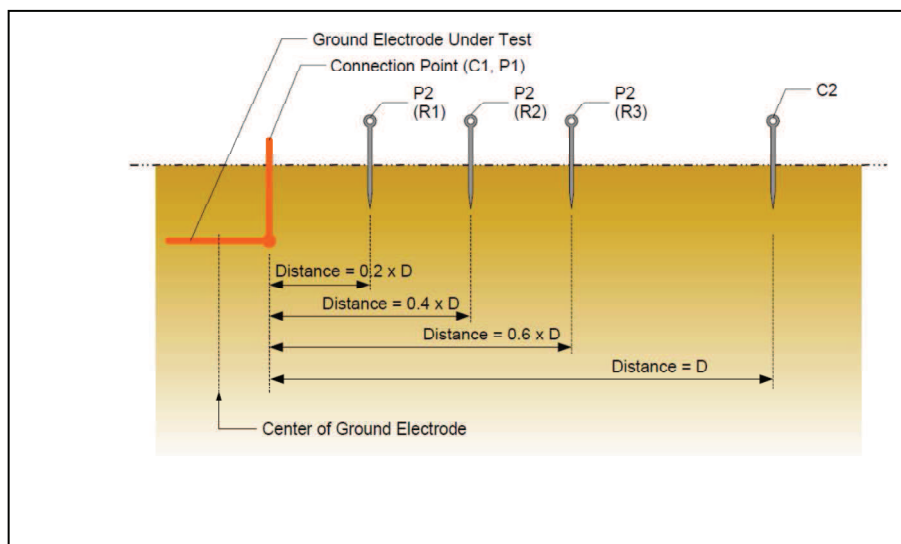
Este método es recomendado para sistemas de tierra que cubren una gran área el procedimiento es el siguiente:

- Conectar el electrodo de corriente y potencial y situar el electrodo de potencial a las distancias del 20%, 40% y 60% desde el electrodo de prueba y se anota las lecturas de las resistencias R1, R2 y R3 respectivamente, ver figura 12.
- Se halla el valor  $\Delta$ , el cálculo es el siguiente:  $\Delta = (R3-R2) / (R2-R1)$ , luego buscar en las tablas II, III y IV dicho valor.



- Se multiplica por la distancia donde está colocado el electrodo de corriente, con la distancia resultante se coloca el electrodo de potencial y se mide el valor que se obtenga es el valor de resistencia de tierra del electrodo bajo prueba.

Figura 12. **Método de la pendiente**



Fuente: *Reeve Engineers 2008.p.17.*

Pasos a seguir para realizar las mediciones:

- Elegir la distancia para el electrodo de corriente igual a 20 m
- Multiplicar la distancia de 20 m por 0,2 = 4 m, colocar el electrodo de potencial a 4 m del electrodo a medir la resistencia de tierra, en línea recta, anotar la lectura de la resistencia  $R1 = 9,90 \Omega$ .

- Se multiplica la distancia de 20 m por 0,4 = 8 m, se coloca el electrodo de potencial a 8 m del electrodo a medir la resistencia de tierra, en línea recta, se anota la lectura de la resistencia  $R_2 = 12,30 \Omega$ .
- Se multiplica la distancia de 20 m por 0,6 = 12 m, se coloca el electrodo de potencial a 12 m del electrodo a medir la resistencia de tierra, en línea recta, se anota la lectura de la resistencia  $R_3 = 15,63 \Omega$ .
- Se halla el coeficiente  $\Delta = (R_3 - R_2) / (R_2 - R_1) = (15,63 - 12,30) / (12,30 - 9,90) = 1,388$ .
- Se busca en la tabla IV, en la fila de 1,38 y columna 8, se obtiene un coeficiente de 0,4350.
- El coeficiente 0,4350 se multiplica por 20 m = 8,70 m, es la distancia a la que se coloca el electrodo de potencial y se anota la lectura de resistencia de tierra del electrodo a medir igual a 15,1  $\Omega$ .
- Luego para la distancia de 30 m, se realiza el mismo procedimiento con lo que se obtiene las siguientes lecturas  $R_1 = 11,10 \Omega$ ,  $R_2 = 14 \Omega$  y  $R_3 = 15,30 \Omega$ .
- El valor obtenido de delta = 0,448, se busca en la tabla II, fila 0,44 y columna 8, se obtiene un coeficiente de 0,6363.
- Se multiplica 0,6363 por 30 m = 19,08 m es la nueva distancia a la que se coloca el electrodo de potencial y se anota la lectura de la resistencia de tierra del electrodo a medir igual a 15,8  $\Omega$ .

- Repetir el mismo proceso para la distancia de 40 m, se obtiene las siguientes lecturas  $R_1 = 12,30 \Omega$ ,  $R_2 = 14 \Omega$  y  $R_3 = 15,40 \Omega$ .
- El valor que se obtiene de  $\Delta = 0,824$ , se busca en la tabla II, fila 0,82 y la columna 5, se obtiene un coeficiente de 0,5769.
- Se multiplica 0,5769 por 40 m = 23, 08 m es la nueva distancia a la que se coloca el electrodo de potencial y se anota la lectura de la resistencia de tierra del electrodo a medir igual a 15, 2  $\Omega$ .
- Al final se saca el promedio de las siguientes resistencias 15, 1  $\Omega$ , 15, 8  $\Omega$  y 15,2  $\Omega$  que es igual a 15,36  $\Omega$ , que es el valor de resistencia del electrodo a medir.

De acuerdo al ejemplo anterior, esto es lo que se ha de realizar para aplicar el método de la pendiente y obtener las lecturas para la resistencia de tierra de la instalación que se ha de medir. Este método es más utilizado para sistemas de tierra de gran extensión o cuando la posición del centro de la puesta a tierra no es conocido y es inaccesible. También puede ser utilizado cuando el área para colocar los electrodos de prueba está restringida o es inaccesible, donde no es posible tener cables de gran longitud para el equipo de medición, de acuerdo a los cálculos realizados. La experiencia dará el criterio, para evaluar los valores de resistencia de tierra a través del método.

Tabla II. Coeficiente Delta

Appendix III – Slope Method Tables

For the calculated value of  $\Delta$  in column 1 and row 1, read the corresponding value of  $P_D/D$  in the table

$\Delta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.40	0.6432	0.6431	0.6429	0.6428	0.6426	0.6425	0.6423	0.6422	0.6420	0.6419
0.41	0.6418	0.6416	0.6415	0.6413	0.6412	0.6410	0.6409	0.6408	0.6406	0.6405
0.42	0.6503	0.6402	0.6400	0.6399	0.6397	0.6396	0.6395	0.6393	0.6392	0.6390
0.43	0.6389	0.6387	0.6386	0.6384	0.6383	0.6382	0.6380	0.6379	0.6377	0.6376
0.44	0.6374	0.6373	0.6372	0.6370	0.6369	0.6367	0.6366	0.6364	0.6363	0.6361
0.45	0.6360	0.6359	0.6357	0.6356	0.6354	0.6353	0.6351	0.6350	0.6348	0.6347
0.46	0.6346	0.6344	0.6343	0.6341	0.6340	0.6338	0.6337	0.6336	0.6334	0.6333
0.47	0.6331	0.6330	0.6328	0.6327	0.6325	0.6324	0.6323	0.6321	0.6320	0.6318
0.48	0.6317	0.6315	0.6314	0.6312	0.6311	0.6310	0.6308	0.6307	0.6305	0.6304
0.49	0.6302	0.6301	0.6300	0.6298	0.6297	0.6295	0.6294	0.6292	0.6291	0.6289
0.50	0.6288	0.6286	0.6285	0.6283	0.6282	0.6280	0.6279	0.6277	0.6276	0.6274
0.51	0.6273	0.6271	0.6270	0.6268	0.6267	0.6265	0.6264	0.6262	0.6261	0.6259
0.52	0.6258	0.6256	0.6255	0.6253	0.6252	0.6252	0.6248	0.6247	0.6245	0.6244
0.53	0.6242	0.6241	0.6239	0.6238	0.6236	0.6235	0.6233	0.6232	0.6230	0.6229
0.54	0.6227	0.6226	0.6224	0.6223	0.6221	0.6220	0.6218	0.6217	0.6215	0.6214
0.55	0.6212	0.6210	0.6209	0.6207	0.6206	0.6204	0.6203	0.6201	0.6200	0.6198
0.56	0.6197	0.6195	0.6194	0.6192	0.6191	0.6189	0.6188	0.6186	0.6185	0.6183
0.57	0.6182	0.6180	0.6179	0.6177	0.6176	0.6174	0.6172	0.6171	0.6169	0.6168
0.58	0.6166	0.6165	0.6163	0.6162	0.6160	0.6159	0.6157	0.6156	0.6154	0.6153
0.59	0.6151	0.6150	0.6148	0.6147	0.6145	0.6144	0.6142	0.6141	0.6139	0.6138
0.60	0.6136	0.6134	0.6133	0.6131	0.6130	0.6128	0.6126	0.6125	0.6123	0.6121
0.61	0.6120	0.6118	0.6117	0.6115	0.6113	0.6112	0.6110	0.6108	0.6107	0.6105
0.62	0.6104	0.6102	0.6100	0.6099	0.6097	0.6096	0.6094	0.6092	0.6091	0.6089
0.63	0.6087	0.6086	0.6084	0.6083	0.6081	0.6079	0.6076	0.6076	0.6074	0.6073
0.64	0.6071	0.6070	0.6068	0.6066	0.6065	0.6063	0.6061	0.6060	0.6058	0.6057
0.65	0.6055	0.6053	0.6052	0.6050	0.6049	0.6047	0.6045	0.6044	0.6042	0.6040
0.66	0.6039	0.6037	0.6036	0.6034	0.6032	0.6031	0.6029	0.6027	0.6026	0.6024
0.67	0.6023	0.6021	0.6019	0.6018	0.6016	0.6015	0.6013	0.6011	0.6010	0.6008
0.68	0.6006	0.6005	0.6003	0.6002	0.6000	0.5998	0.5997	0.5995	0.5993	0.5992
0.69	0.5990	0.5989	0.5987	0.5985	0.5984	0.5982	0.5980	0.5979	0.5977	0.5976
0.70	0.5974	0.5973	0.5971	0.5969	0.5967	0.5965	0.5964	0.5962	0.5960	0.5959
0.71	0.5957	0.5955	0.5953	0.5952	0.5950	0.5948	0.5947	0.5945	0.5943	0.5942
0.72	0.5940	0.5938	0.5936	0.5935	0.5933	0.5931	0.5930	0.5928	0.5926	0.5924
0.73	0.5923	0.5921	0.5920	0.5918	0.5916	0.5914	0.5912	0.5911	0.5909	0.5907
0.74	0.5906	0.5904	0.5902	0.5900	0.5899	0.5897	0.5895	0.5894	0.5892	0.5890
0.75	0.5889	0.5887	0.5885	0.5883	0.5882	0.5880	0.5878	0.5877	0.5875	0.5873
0.76	0.5871	0.5870	0.5868	0.5866	0.5865	0.5863	0.5861	0.5859	0.5858	0.5856
0.77	0.5854	0.5853	0.5851	0.5849	0.5847	0.5846	0.5844	0.5842	0.5841	0.5839
0.78	0.5837	0.5835	0.5834	0.5832	0.5830	0.5829	0.5827	0.5825	0.5824	0.5822
0.79	0.5820	0.5818	0.5817	0.5815	0.5813	0.5812	0.5810	0.5808	0.5806	0.5805
0.80	0.5803	0.5801	0.5799	0.5797	0.5796	0.5794	0.5792	0.5790	0.5788	0.5786
0.81	0.5785	0.5783	0.5781	0.5779	0.5777	0.5775	0.5773	0.5772	0.5770	0.5768
0.82	0.5766	0.5764	0.5762	0.5760	0.5759	0.5757	0.5755	0.5753	0.5751	0.5749
0.83	0.5748	0.5746	0.5744	0.5742	0.5740	0.5738	0.5736	0.5735	0.5733	0.5731
0.84	0.5729	0.5727	0.5725	0.5723	0.5722	0.5720	0.5718	0.5716	0.5714	0.5712

Fuente: *Reeve Engineers 2008.p.34.*

Tabla III. Coeficiente Delta

Appendix III – Slope Method Tables

For the calculated value of  $\Delta$  in column 1 and row 1, read the corresponding value of  $P_b/D$  f the table

$\Delta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.85	0.5711	0.5709	0.5707	0.5705	0.5703	0.5701	0.5699	0.5698	0.5696	0.5694
0.86	0.5692	0.5690	0.5688	0.5686	0.5685	0.5683	0.5681	0.5679	0.5677	0.5675
0.87	0.5674	0.5672	0.5670	0.5668	0.5666	0.5664	0.5662	0.5661	0.5659	0.5657
0.88	0.5655	0.5653	0.5651	0.5650	0.5648	0.5646	0.5644	0.5642	0.5640	0.5638
0.89	0.5637	0.5635	0.5633	0.5631	0.5629	0.5627	0.5625	0.5624	0.5622	0.5620
0.90	0.5618	0.5616	0.5614	0.5612	0.5610	0.5608	0.5606	0.5604	0.5602	0.5600
0.91	0.5598	0.5596	0.5594	0.5592	0.5590	0.5588	0.5586	0.5584	0.5582	0.5580
0.92	0.5578	0.5576	0.5574	0.5572	0.5570	0.5568	0.5566	0.5563	0.5561	0.5559
0.93	0.5557	0.5555	0.5553	0.5551	0.5549	0.5547	0.5545	0.5543	0.5541	0.5539
0.94	0.5537	0.5535	0.5533	0.5531	0.5529	0.5527	0.5525	0.5523	0.5521	0.5519
0.95	0.5517	0.5515	0.5513	0.5511	0.5509	0.5507	0.5505	0.5503	0.5501	0.5499
0.96	0.5497	0.5495	0.5493	0.5491	0.5489	0.5487	0.5485	0.5483	0.5481	0.5479
0.97	0.5477	0.5475	0.5473	0.5471	0.5469	0.5467	0.5464	0.5462	0.5460	0.5458
0.98	0.5456	0.5454	0.5452	0.5450	0.5448	0.5446	0.5444	0.5442	0.5440	0.5438
0.99	0.5436	0.5434	0.5432	0.5430	0.5428	0.5426	0.5424	0.5422	0.5420	0.5418
1.00	0.5416	0.5414	0.5412	0.5409	0.5407	0.5405	0.5403	0.5400	0.5398	0.5396
1.01	0.5394	0.5391	0.5389	0.5387	0.5385	0.5383	0.5380	0.5378	0.5376	0.5374
1.02	0.5371	0.5369	0.5367	0.5365	0.5362	0.5360	0.5358	0.5356	0.5354	0.5351
1.03	0.5349	0.5347	0.5345	0.5344	0.5340	0.5338	0.5336	0.5333	0.5331	0.5329
1.04	0.5327	0.5325	0.5322	0.5320	0.5318	0.5316	0.5313	0.5311	0.5309	0.5307
1.05	0.5305	0.5302	0.5300	0.5298	0.5296	0.5293	0.5291	0.5289	0.5287	0.5284
1.06	0.5282	0.5280	0.5278	0.5276	0.5273	0.5271	0.5269	0.5267	0.5264	0.5262
1.07	0.5260	0.5258	0.5255	0.5253	0.5251	0.5249	0.5247	0.5244	0.5242	0.5240
1.08	0.5238	0.5235	0.5233	0.5231	0.5229	0.5229	0.5224	0.5222	0.5219	0.5217
1.09	0.5215	0.5213	0.5211	0.5209	0.5206	0.5204	0.5202	0.5200	0.5197	0.5195
1.10	0.5193	0.5190	0.5188	0.5185	0.5183	0.5180	0.5178	0.5175	0.5173	0.5170
1.11	0.5168	0.5165	0.5163	0.5160	0.5158	0.5155	0.5153	0.5150	0.5148	0.5145
1.12	0.5143	0.5140	0.5137	0.5135	0.5132	0.5130	0.5129	0.5125	0.5122	0.5120
1.13	0.5118	0.5115	0.5113	0.5110	0.5108	0.5105	0.5103	0.5100	0.5098	0.5095
1.14	0.5093	0.5090	0.5088	0.5085	0.5083	0.5080	0.5078	0.5075	0.5073	0.5070
1.15	0.5068	0.5065	0.5062	0.5060	0.5057	0.5055	0.5052	0.5050	0.5047	0.5045
1.16	0.5042	0.5040	0.5037	0.5035	0.5032	0.5030	0.5027	0.5025	0.5022	0.5020
1.17	0.5017	0.5015	0.5012	0.5010	0.5007	0.5005	0.5002	0.5000	0.4997	0.4995
1.18	0.4992	0.4990	0.4987	0.4985	0.4982	0.4980	0.4977	0.4975	0.4972	0.4970
1.19	0.4967	0.4965	0.4962	0.4960	0.4957	0.4955	0.4952	0.4950	0.4947	0.4945
1.20	0.4942	0.4939	0.4936	0.4933	0.4930	0.4928	0.4925	0.4922	0.4919	0.4916
1.21	0.4913	0.4910	0.4907	0.4904	0.4901	0.4899	0.4896	0.4893	0.4890	0.4887
1.22	0.4884	0.4881	0.4878	0.4875	0.4872	0.4870	0.4867	0.4864	0.4861	0.4858
1.23	0.4855	0.4852	0.4849	0.4846	0.4843	0.4841	0.4838	0.4835	0.4832	0.4829
1.24	0.4826	0.4823	0.4820	0.4817	0.4814	0.4812	0.4809	0.4806	0.4803	0.4800
1.25	0.4797	0.4794	0.4791	0.4788	0.4785	0.4783	0.4780	0.4777	0.4774	0.4771
1.26	0.4768	0.4765	0.4762	0.4759	0.4756	0.4754	0.4751	0.4748	0.4745	0.4742
1.27	0.4739	0.4736	0.4733	0.4730	0.4727	0.4725	0.4722	0.4719	0.4715	0.4713
1.28	0.4710	0.4707	0.4704	0.4701	0.4698	0.4696	0.4693	0.4690	0.4687	0.4684
1.29	0.4681	0.4678	0.4675	0.4672	0.4669	0.4667	0.4664	0.4661	0.4658	0.4655

Fuente: Reeve Engineers 2008.p.35.

Tabla IV. Coeficiente Delta

### Appendix III – Slope Method Tables

For the calculated value of  $\Delta$  in column 1 and row 1, read the corresponding value of  $P_b/D$  the table

$\Delta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.30	0.4652	0.4649	0.4645	0.4642	0.4638	0.4635	0.4631	0.4628	0.4625	0.4621
1.31	0.4618	0.4614	0.4611	0.4607	0.4604	0.4601	0.4597	0.4594	0.4590	0.4586
1.32	0.4583	0.4580	0.4577	0.4573	0.4570	0.4566	0.4563	0.4559	0.4556	0.4553
1.33	0.4549	0.4546	0.4542	0.4539	0.4535	0.4532	0.4529	0.4525	0.4520	0.4518
1.34	0.4515	0.4511	0.4508	0.4505	0.4501	0.4498	0.4494	0.4491	0.4487	0.4484
1.35	0.4481	0.4477	0.4474	0.4470	0.4467	0.4463	0.4460	0.4457	0.4453	0.4450
1.36	0.4446	0.4443	0.4439	0.4436	0.4432	0.4429	0.4426	0.4422	0.4419	0.4415
1.37	0.4412	0.4408	0.4405	0.4402	0.4398	0.4395	0.4391	0.4388	0.4384	0.4381
1.38	0.4378	0.4374	0.4371	0.4367	0.4364	0.4360	0.4357	0.4354	0.4350	0.4347
1.39	0.4343	0.4340	0.4336	0.4333	0.4330	0.4326	0.4323	0.4319	0.4316	0.4312
1.40	0.4309	0.4305	0.4301	0.4296	0.4292	0.4288	0.4284	0.4280	0.4275	0.4271
1.41	0.4267	0.4263	0.4258	0.4254	0.4250	0.4246	0.4242	0.4237	0.4233	0.4229
1.42	0.4225	0.4221	0.4216	0.4212	0.4208	0.4204	0.4200	0.4195	0.4191	0.4187
1.43	0.4183	0.4178	0.4174	0.4170	0.4166	0.4162	0.4157	0.4153	0.4149	0.4145
1.44	0.4141	0.4136	0.4132	0.4128	0.4124	0.4120	0.4115	0.4111	0.4107	0.4103
1.45	0.4099	0.4094	0.4090	0.4086	0.4082	0.4077	0.4073	0.4069	0.4065	0.4061
1.46	0.4056	0.4052	0.4048	0.4044	0.4040	0.4035	0.4031	0.4027	0.4023	0.4018
1.47	0.4014	0.4010	0.4005	0.4001	0.3997	0.3993	0.3989	0.3985	0.3980	0.3976
1.48	0.3972	0.3976	0.3964	0.3959	0.3955	0.3951	0.3947	0.3943	0.3938	0.3934
1.49	0.3930	0.3926	0.3921	0.3917	0.3913	0.3909	0.3905	0.3900	0.3896	0.3892
1.50	0.3888	0.3883	0.3878	0.3874	0.3869	0.3864	0.3859	0.3854	0.3850	0.3845
1.51	0.3840	0.3835	0.3830	0.3825	0.3820	0.3816	0.3811	0.3806	0.3801	0.3796
1.52	0.3971	0.3786	0.3781	0.3776	0.3771	0.3766	0.3760	0.3755	0.3750	0.3745
1.53	0.3740	0.3735	0.3730	0.3724	0.3719	0.3714	0.3709	0.3704	0.3698	0.3693
1.54	0.3688	0.3683	0.3677	0.3672	0.3667	0.3662	0.3656	0.3651	0.3646	0.3640
1.55	0.3635	0.3630	0.3624	0.3619	0.3613	0.3608	0.3602	0.3597	0.3591	0.3586
1.56	0.3580	0.3574	0.3569	0.3563	0.3557	0.3552	0.3546	0.3540	0.3534	0.3528
1.57	0.3523	0.3517	0.3511	0.3506	0.3500	0.3494	0.3488	0.3482	0.3477	0.3471
1.58	0.3465	0.3459	0.3453	0.3447	0.3441	0.3435	0.3429	0.3423	0.3417	0.3411
1.59	0.3405	0.3339	0.3393	0.3386	0.3380	0.3374	0.3368	0.3362	0.3355	0.3349

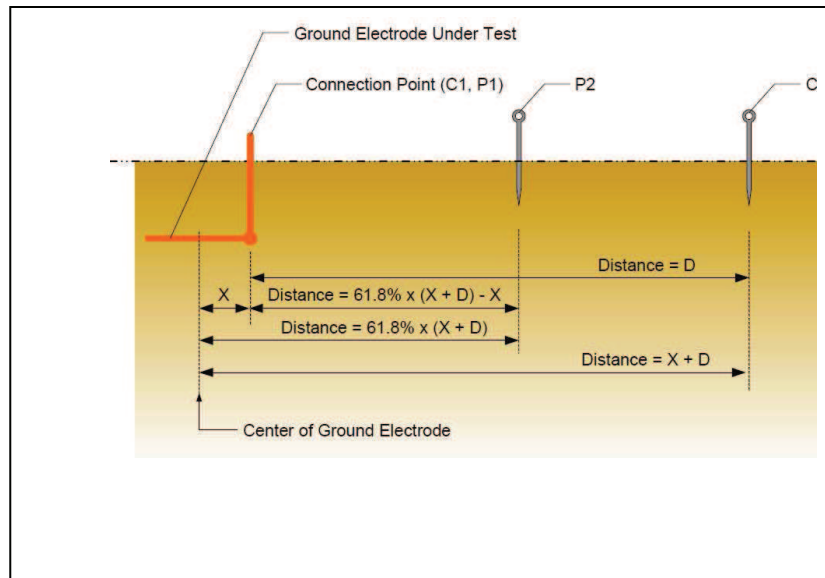
Fuente: *Reeve Engineers* 2008.p.36.

### 1.7.3. Método de intersección de curvas

Este método es útil para redes de tierra de grandes dimensiones, ya que se necesita de grandes longitudes para los cables de medición, para ello se necesita hacer lo siguiente:

- Extender la longitud máxima del electrodo de corriente (C) en línea recta al electrodo bajo prueba, ver figura 13.
- Colocar el electrodo de potencial entre el 20%, 40%, 60%, 80% y 90% de la distancia del electrodo de corriente y anotar las respectivas lecturas de resistencia de tierra.
- Teniendo los valores de X y C se aplica la siguiente fórmula:  $P_i = 0,618 * (C+X) - X$ . Para cada  $P_i$  tomar el valor de resistencia  $R_i$  y graficar  $R_i$  versus  $X_i$ .
- El punto de intersección de las curvas  $X_i$  contra  $R_i$ , se lee el valor de resistencia.

Figura 13. **Método de intersección de curvas**



Fuente: *Reeve Engineers 2008.p.14.*

Aplicando el método expuesto se tomaron las siguientes medidas:

Tabla V. **Distancia a 20 metros**

$X_i$	$P_i$	$R_i$
4,00	10,83	10,56
8,00	9,30	8,84
12,00	7,77	7,58
18,00	5,48	6,55

Fuente: elaboración propia.



Tabla VI. **Distancia a 40 metros**

Xi	Pi	Ri
8,00	21,66	6,39
16,00	18,61	6,23
24,00	15,55	6,08
32,00	12,50	5,83
36,00	10,97	5,52

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Distancia a 60 metros**

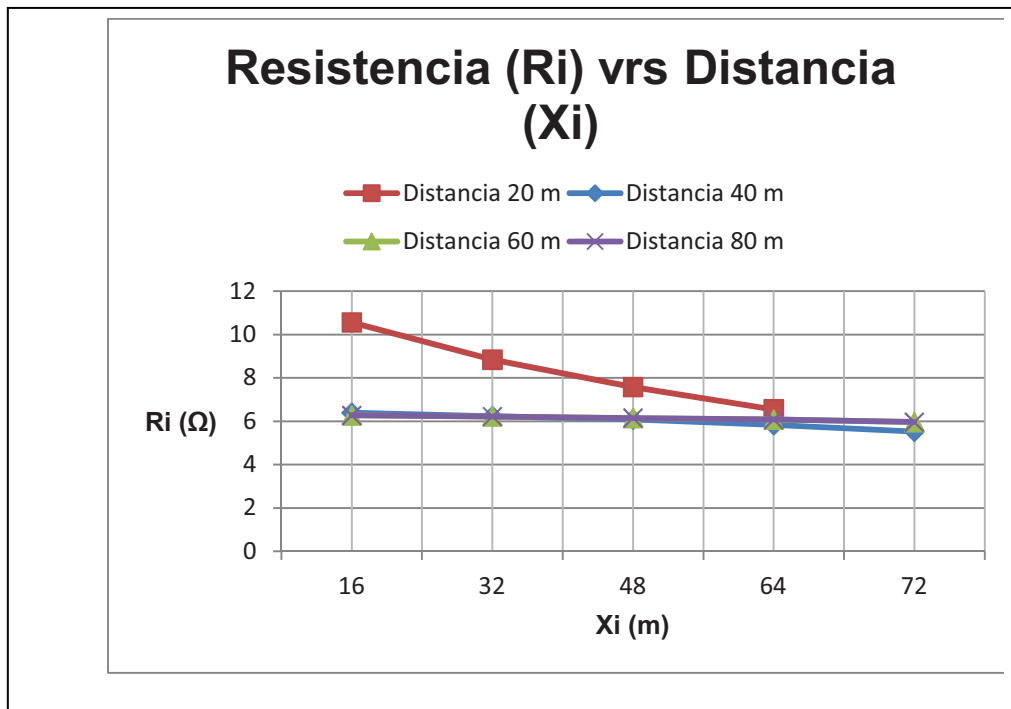
Xi	Pi	Ri
12,00	32,50	6,41
24,00	27,91	6,30
36,00	23,33	6,20
48,00	18,74	6,06
54,00	16,45	5,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Distancia a 80 metros**

Xi	Pi	Ri
16,00	43,33	6,27
32,00	37,22	6,22
48,00	31,10	6,15
64,00	24,99	6,08
72,00	21,94	5,96

Figura 14. Intersección de curvas



Fuente: elaboración propia.

## **2. PROTECCIÓN EXTERNA**

En este capítulo se describe las tecnologías existentes respecto de los pararrayos, la utilización de los niveles cerámicos, la evaluación de riesgo de una estructura o instalación, los parámetros necesarios para definir las características y nivel de protección para las estructuras o edificios, materiales que se utilizan para bajantes y electrodos, el sistema de puesta a tierra para la protección externa y las recomendaciones del estándar *NFPA 780* para la instalación y fijación de la protección externa.

### **2.1. Tipos de tecnologías de pararrayos**

En este capítulo se describirá las tecnologías de los pararrayos.

#### **2.1.1. Puntas Franklin**

Están constituidas por electrodos o puntas, que pueden ser de aluminio, cobre o acero inoxidable, su función es la atracción del rayo, pueden tener punta o no.

#### **2.1.2. Radiactivo**

Se define como isótopo a un átomo que teniendo el mismo número de protones que el elemento padre, tiene diferente número de neutrones; e ionización, al proceso mediante al cual uno o más electrones son liberados de átomos, moléculas o cualquier estado en que se encuentren dando lugar a dos porciones cargadas eléctricamente y radiación ionizante, es la emisión de

fotones o partículas con o sin carga, con suficiente energía como para producir ionización mediante procesos primarios o secundarios.

El pararrayos radiactivo consiste de una barra metálica en cuyo extremo se tiene una caja que contiene una pequeña cantidad de isótopos radiactivos, cuya finalidad es la de ionizar el aire a su alrededor, mediante la liberación de partículas alfa. Este aire ionizado favorece la generación del canal del rayo hasta tierra, obteniendo un área de protección de forma esférico- cilíndrica. Los pararrayos radiactivos incorporaban isótopos como el Americio (Am-241) con un período de semidesintegración de 433 años, el más utilizado. Otros se basaron en el Radio (Ra-226), con período de semidesintegración de 1600 año; el Estroncio (Sr-90), con período de 28,1 años, el Carbono (C-14) con período de 5739 años y el Kriptón(Kr-85) con período de 10,8 años.

Un pararrayos radiactivo o ionizante, está basado en la utilización de una fuente radiactiva para ionizar el espacio a su alrededor y así volverlo un punto atractivo al impacto de un rayo. Las radiaciones ionizantes constituyen un factor de riesgo clasificado como físico al que pueden exponerse las personas por causas naturales o tecnológicas. Por lo cual dicha tecnología está prohibida.

### **2.1.3. Cebado**

El dispositivo de cebado, emite una señal de alta tensión en amplitud y frecuencia determinada y controlada. Asegura su eficacia mediante la rápida formación de un trazador ascendente que se propaga de manera continua hacia el trazador descendente del rayo, consiguiendo elevar el punto de impacto de la descarga por encima de la estructura protegida, con lo que se consigue ampliar el radio de protección frente a un pararrayos convencional.

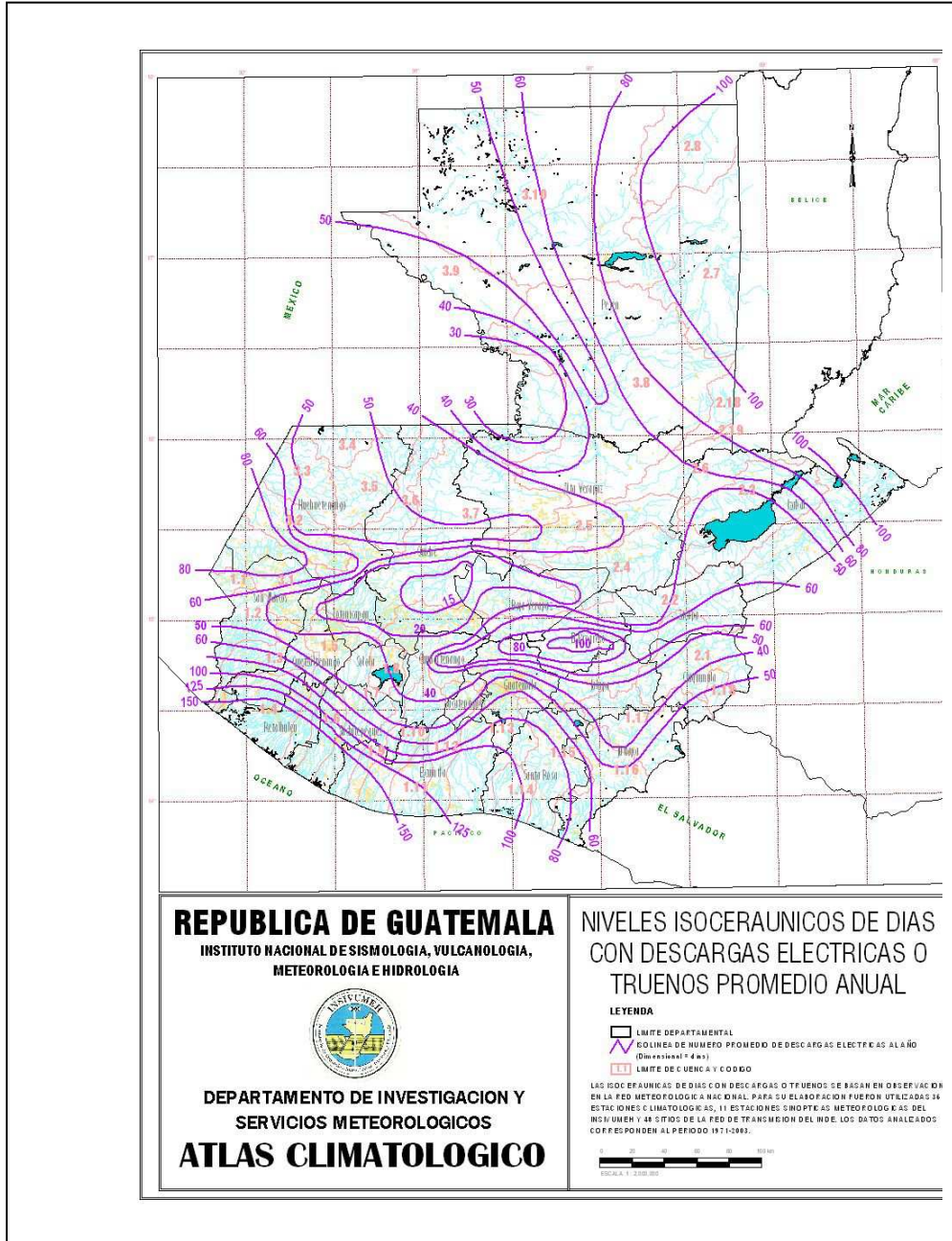
## **2.2. Niveles ceráunicos**

Esta información se utiliza para poder obtener el número de descargas de rayo a tierra por kilómetro cuadrado por año (DRT/ km<sup>2</sup> / año) sino se dispone de la misma, para evaluar el riesgo de la instalación y determinar si se necesita de protección externa e interna o ambas, para la estructura o edificio, ya que como se presenta la información no es de utilidad para su aplicación. El nivel ceráunico se valora por el número de días tormenta con la actividad de al menos un rayo, cuando a este mapa se le tendría que llamar nivel de tormentas.

De acuerdo a la figura 15, las líneas isoceráunicas son indicadores de medición de un área concreta que determinan zonas por dónde aparecen las tormentas eléctricas (ver figura 15), el valor de éstas no se pueden utilizar como valor de cálculo para determinar un nivel de riesgo y determinar si es necesario utilizar un medio u otro de protección para las estructuras o edificios. Para ello se debe tabular esta información, para los propósitos de la protección contra rayos es importante evaluar el nivel de riesgo de la instalación o estructura, si necesita de la protección exterior, interior o de ambas. Para esto se debe disponer de la densidad de rayos a tierra, la que se describe en el inciso 2.3. y su respectiva tabulación de acuerdo al nivel ceráunico respectivo.

Al obtener la densidad de rayos a tierra por kilómetro cuadrado por año, ya se puede evaluar el nivel de riesgo de la instalación.

Figura 15. Mapa de niveles isoceráunicos



Fuente: INSIVUMEH.

### 2.3. Densidad de rayos a tierra

En la tabla IX se observa las descargas de rayo a tierra (*GFD*, *ground flash density* o *DRT*) de acuerdo a los niveles cerámicos de la república de Guatemala. Luego se procede a evaluar el riesgo de la instalación, sacando el área equivalente de la estructura que ese está analizando.

Tabla IX. Descargas de rayo a tierra

Nivel cerámico	$N_g$ (GFD /km <sup>2</sup> / año)
15	1,18
20	1,69
30	2,81
40	4,02
50	5,32
60	6,68
80	9,57
100	12,65
125	16,72
150	21,00

Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Análisis de riesgo

Al evaluar los parámetros necesarios como son: GFD, el área equivalente de captura, el coeficiente  $C_1$ , el resultado será el número de descargas esperado o estimado  $N_d$  y de acuerdo a las tablas XI a XIV, se obtiene el número de descargas permitido  $N_c$ , si se dan las siguientes condiciones que  $N_d \leq N_c$ , entonces no se necesita de una protección externa pero sí de una protección interna, si  $N_d \geq N_c$  es necesaria la protección externa e interna, sólo al evaluar el nivel de riesgo de la estructura se puede definir después las características y ubicación de la protección externa y los materiales a utilizarse. Se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N_c = 1,5 \times 10^{-3} / C$$

De dónde:

$N_c$  = Frecuencia tolerable de rayos

$$C = C_2 C_3 C_4 C_5$$

$N_d$  = Número de descargas permitido

$$N_d = N_g \times A_e \times C_1 \times 10^{-6}$$

$A_e$  = Área colectora equivalente

$C_1$  = Coeficiente del medio circundante



Tabla X. **Determinación del coeficiente del medio circundante**

Ubicación relativa de la estructura	C <sub>1</sub>
estructura ubicada dentro de un espacio que contiene las estructuras o árboles de la misma altura o más alto dentro de una distancia de 3 H	0,25
estructura rodeada por estructuras más pequeñas dentro de una distancia de 3 H	0,50
estructura aislada, ninguna otra estructura situada a una distancia de 3 H	1,00
estructura aislada en una colina	2,00

Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.51.*

Tabla XI. **Determinación del coeficiente estructural C<sub>2</sub>**

Coeficiente estructural C <sub>2</sub>			
Tipo de estructura	Techo metálico	Techo no metálico	Techo ininflamable
Metal	0,50	1,00	2,00
No metálico	1,00	1,00	2,50
Inflamable	2,00	2,50	3,00

Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.51.*

Tabla XII. **Determinación del contenido de la estructura**

Contenido de la estructura	C <sub>3</sub>
Valor bajo y no es inflamable	0,50
Valor estándar y no es inflamable	1,00
Alto valor, inflamabilidad moderada	2,00
Valor excepcional, inflamables, computadoras o electrónica	3,00
Un valor excepcional, insustituible bienes culturales	4,00

Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.51.*

Tabla XIII. **Determinación de la ocupación de las estructuras**

Ocupación de la estructura	C <sub>4</sub>
Desocupado	0,50
Normalmente ocupado	1,00
Difícil de evacuar o riesgo de pánico	3,00

Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.51.*

Las tablas XI, XII, XIII y XIV toman en cuenta: el tipo de estructura, el contenido de la estructura, nivel de ocupación de la estructura y de las consecuencias de que un rayo impacte en la instalación o estructura.

Tabla XIV. **Determinación de consecuencias del rayo**

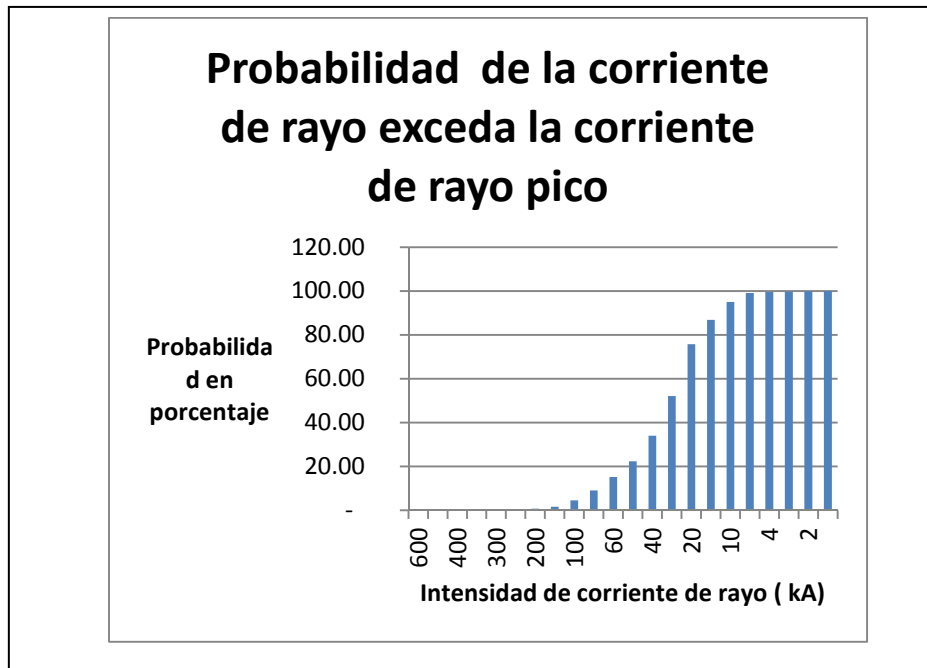
Consecuencias del rayo	C <sub>5</sub>
Continuidad de los servicios de la instalación, no es necesario, sin impacto en el medio circundante	1,00
Continuidad de los servicios de las instalaciones es requerido, sin impacto en el medio circundante	5,00
Consecuencias para el medio circundante	10,00

Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.51.*

## 2.5. Probabilidad de incidencia del rayo

De acuerdo a la figura 16, se observa la probabilidad en porcentaje de la incidencia de un rayo que exceda un valor determinado, lo que indica que para valores de 200 kA, el porcentaje de incidencia es muy pequeño, esto demuestra que se está sobredimensionando la protección o en base a que las personas que nos venden equipo de protección, ya que el modelo demuestra que entre 1 y 15 kA tenemos el 100% y 86 % de probabilidad en porcentaje respectivamente que se dan dichos fenómenos.

Figura 16. Probabilidad de incidencia del rayo



Fuente: elaboración propia.

## 2.6. Área colectora equivalente

Las áreas equivalentes de captura se clasifican y se calculan de la siguiente forma:

- Para terreno y techo plano:  $A_e = ab + 6h(a+b) + 9 \pi h^2$
- Para techo de dos aguas, terreno plano:  $A_e = ab + 6hb + 9 \pi h^2$

De dónde:

$A_e$  = área equivalente de captura, en  $m^2$

a = longitud de uno de los lados de la estructura, en metros

b= longitud del otro lado de la estructura en metros

h= altura de la estructura en metros

## **2.7. Componentes del sistema de protección externa**

Sus componentes son los siguientes:

- Terminales aéreas
- Conductores bajantes
- Sistema de puesta a tierra

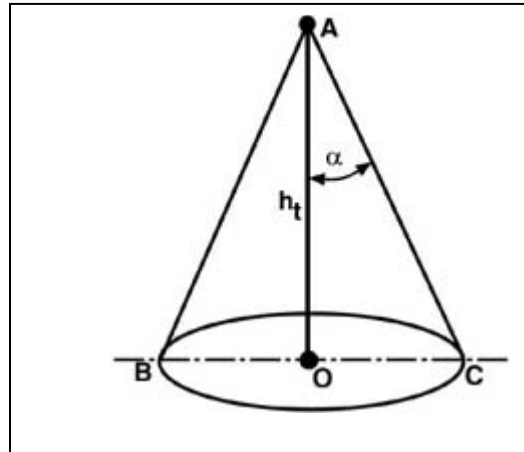
## **2.8. Métodos para ubicación de pararrayos**

A continuación se describen los métodos para ubicar los pararrayos entre lo que tenemos: del ángulo, de la esfera rodante y del mallado.

### **2.8.1. Método del ángulo**

Los terminales deben ubicarse de tal manera que todas las partes de la estructura a proteger se encuentren dentro de la zona de protección generada por la proyección ya sea de rotación o traslación a un ángulo  $\alpha$  respecto de la vertical en todas direcciones, debido a que el ángulo de protección tiene áreas de menor cobertura que la esfera rodante, su aplicación debe limitarse a espacios con el mínimo de objetos a proteger en la zona de cobertura. Estas limitaciones presentadas por el método del ángulo de protección son resueltas aplicando el método de la esfera rodante, ver figura 17.

Figura 17. **Método del ángulo**



Fuente: *Protection against lightning part 3, IEC 62305-3, p.69.*

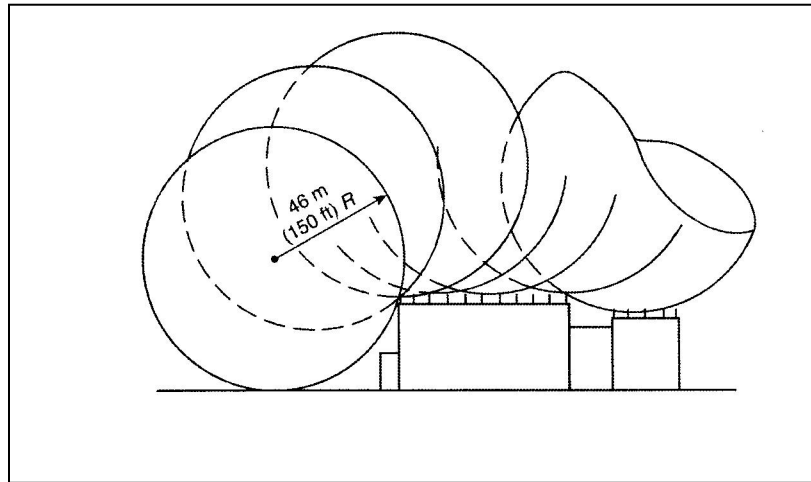
### 2.8.2. **Método de la esfera rodante**

Consiste en rodar una esfera imaginaria sobre la tierra, alrededor y por encima de la instalación a proteger o cualquier objeto en contacto con la tierra, capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo. La esfera imaginaria debe rodarse (desde el nivel de tierra) hacia la estructura a proteger e instalar una terminal aérea en el primer punto de contacto con la estructura, ver figura 18. Esta primera terminal se conoce como pivote, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando esta se apoye sobre la tierra y sobre la punta de la terminal aérea pivote.

Una vez especificado el primer punto de sacrificio para la corriente de rayo, debe rotarse la esfera por encima de la terminal aérea pivote y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea de intercepción en todos aquellos puntos dónde la esfera imaginaria toque la estructura o edificio a protegerse. Este proceso debe mantenerse hasta cubrir la totalidad del edificio

o estructura a proteger. El espacio comprendido bajo el rodamiento de la esfera representa el volumen protegido.

Figura 18. **Método de la esfera rodante**



Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.12.*

El método de la esfera rodante puede aplicarse sobre cualquier estructura. El radio de la esfera rodante  $r_s$  se indica en la tabla XV, éste se selecciona de acuerdo al nivel de protección.

Tabla XV. **Nivel de protección**

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante $r_s$ y su correspondiente valor de la corriente de rayo I		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger H
	$R_s$ (m)	I (kA)	Metros
I	20	3	$\leq 20$
II	30	6	$\leq 30$
III	45	10	$\leq 45$
IV	60	16	$\leq 60$

Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.70.*

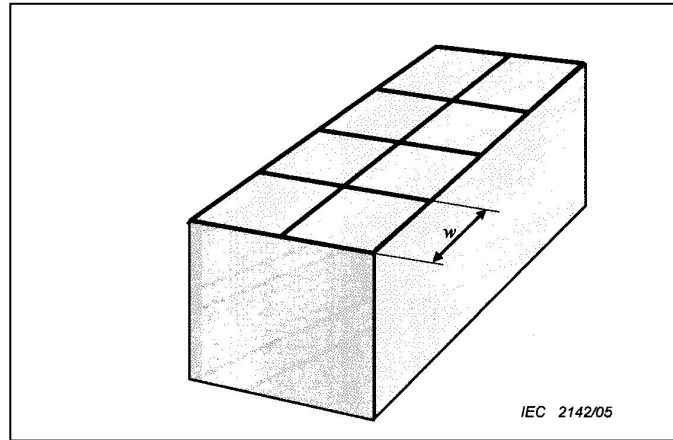
En la tabla XV, la corriente representa el valor mínimo al cual el nivel de protección ofrece una protección eficiente.

### 2.8.3. Método del mallado o jaula de Faraday

Este método básicamente, aplicado a techos o superficies planas, para el cual se colocan los conductores horizontales y verticales sobre el techo de acuerdo a la tabla XVI, ver figura 19.



Figura 19. **Método del mallado**



Fuente: *Protection against lightning part 3, IEC 62305-3.p.187.*

Tabla XVI. **Dimensiones del mallado**

Nivel de protección	Malla (m)
Nivel I	5 X 5
Nivel II	10 X 10
Nivel III	15 x 15
Nivel IV	20 x 20

Fuente: *Protection against lightning part 3, IEC 62305-3.p.31.*

## 2.9. Tipos de materiales para la protección externa

El utilizar el tipo de material para la instalación de la protección externa depende de la altura de la estructura.

### 2.9.1. Terminales aéreas

Son de cobre o aluminio de dimensiones de 25 " o 36 " y pueden tener o no punta en sus extremos y depende de la altura de la estructura dónde se instalarán, sí la estructura tiene una altura menor a 23 m, se utilizan los materiales de clase I, sí la estructura tiene una altura mayor a 23 m , se utilizan los materiales de clase II, ver tablas XVII y XVIII respectivamente.

Tabla XVII. **Materiales de clase I**

Clase I					
Tipo de Conductor	Material Parámetro	Cobre		Aluminio	
		SI	US	SI	US
Terminal aéreo sólido	diámetro	9,5 mm	3/8 pulgada	12,7 mm	1/2 pulgada
Terminal aéreo tubular	diámetro	15,9 mm	5/8 pulgada	15,9 mm	5/8 pulgada
Cable conductor principal	calibre por cada hilo		17 AWG		14 AWG
	área de sección transversal	29 mm <sup>2</sup>	57 400 circular mils	50 mm <sup>2</sup>	98 600 circular mils
Cable para conexión ( sólido o trenzado)	calibre por cada hilo		17 AWG		14 AWG
	área de sección transversal		26 240 circular mils		41 100 circular mils
Cable plano para conexión	espesor	1,30 mm	0,051 pulgada	1,63 mm	0,064 pulgada
Conductor principal, plano	área de sección transversal	29 mm <sup>2</sup>	57 400 circular mils	50 mm <sup>2</sup>	98 600 circular mils

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Materiales de clase II**

Clase II					
Tipo de conductor	Material Párametro	Cobre		Aluminio	
		SI	US	SI	US
Terminal aéreo sólido	diámetro	12,7 mm	1/2 pulgada	15,9 mm	5/8 pulgada
Cable conductor principal	calibre por cada hilo		15 AWG		13 AWG
	área de sección transversal	58 mm <sup>2</sup>	115 000 circular mils	97 mm <sup>2</sup>	192 000 circular mils
Cable para conexión (sólido o trenzado)	calibre por cada hilo		17 AWG		14 AWG
	área de sección transversal		26 240 circular mils		41 100 circular mils
Cable Plano para conexión	ancho	12,7 mm	1/2 pulgada	12,7 mm	1/2 pulgada
Conductor principal, cable plano	espesor	1,63 mm	0,064 pulgada	2,61 mm	0,1026 pulgada
	área de sección transversal	58 mm <sup>2</sup>	115 000 circular mils	97 mm <sup>2</sup>	192 000 circular mils

Fuente: elaboración propia.

### 2.10. Conductores bajantes

Son de cobre o aluminio al igual que las terminales aéreas, depende de la altura de la estructura si se usan, clase I o II, ver tablas XVII y XVIII respectivamente.

### 2.11. Sistemas de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra utiliza conductores de cobre desnudo u otros materiales resistentes a la corrosión, generalmente se utilizan electrodos de la siguiente dimensión comercial 5 / 8 " x 8 ', como mínimo. Además de utilizar cable de forma plana de las siguientes dimensiones comerciales de 1,30 mm y 12,7 mm.

## **2.12. Configuraciones típicas de la red de tierra**

A continuación se describen los tipos de red de tierra típicos para la protección externa, estos pueden ser del tipo A o B.

### **2.12.1. Tipo A**

Para este tipo de configuración se tienen conductores horizontales y electrodos verticales, los cuales formarán una línea recta con 2 electrodos equidistantes o bien formando un triángulo equilátero, por cada bajante, cuando estos no se interconectan entre sí, y debe conectarse al sistema de puesta a tierra de la instalación, a nivel de suelo, esto para evitar las diferencias de potencial.

### **2.12.2. Tipo B**

Cuando los electrodos de puesta a tierra de los conductores bajantes se interconectan entre sí, mediante un conductor enterrado, formando un anillo alrededor de la estructura a proteger, se debe utilizar un arreglo de uno o más electrodos, siempre se conectará al sistema de puesta a tierra de la instalación para evitar la diferencia de potencial, en ambos casos el sistema de tierra del pararrayos no sustituye al sistema de tierras del sistema de la instalación o viceversa.

## **2.13. Estándar *NFPA 780* para la instalación de pararrayos**

A continuación se describe todo lo que hay que tener en cuenta para la instalación y fijación de un pararrayos y sus accesorios.

### **2.13.1. Generales**

Aquí se define lo que son estructuras ordinarias, las cuales son utilizadas para propósitos ordinarios, si son: residenciales, comerciales, industriales, granjas y gubernamentales. Están clasificadas por:

- Clase I: son las que no exceden una altura de 23 m sobre el nivel del suelo.
- Clase II: son las que exceden 23 m de altura

Para esto se utilizan las tablas XVII y XVIII, en cuanto al uso de los materiales para ser instalados. Los materiales a usarse son: cobre, aluminio u otro material resistente a la corrosión o protegido contra la corrosión.

La combinación de los materiales que forman un par electrolítico en presencia de la humedad, el proceso de corrosión es más rápido y no deben ser usados. El cobre no debe ser instalado o en contacto con techos de aluminio o viceversa. Si se va a utilizar los tipos de conductores descritos anteriormente, se deben utilizar conectores o accesorios bimetálicos.

### **2.13.2. Daños mecánicos o desplazamientos**

Cualquier parte del sistema de protección, está sujeto a daños mecánicos o desplazamientos, y debe estar protegido con molduras de protección o cubierto, donde el conductor se protege con tubos metálicos, el conductor debe conectarse a ambos extremos de la tubería.

En el caso que se use aluminio este:

- No debe estar instalado en contacto directo con la superficie de cobre, el aluminio no debe estar a menos de 460 mm ( 18 ") en contacto con la tierra.
- Al mismo tiempo el conductor no debe estar en contacto con superficies revestidas de pintura de base alcalina.
- No debe estar en contacto directo en mampostería, incrustado en concreto o instalado en lugares sujetos a excesiva humedad.

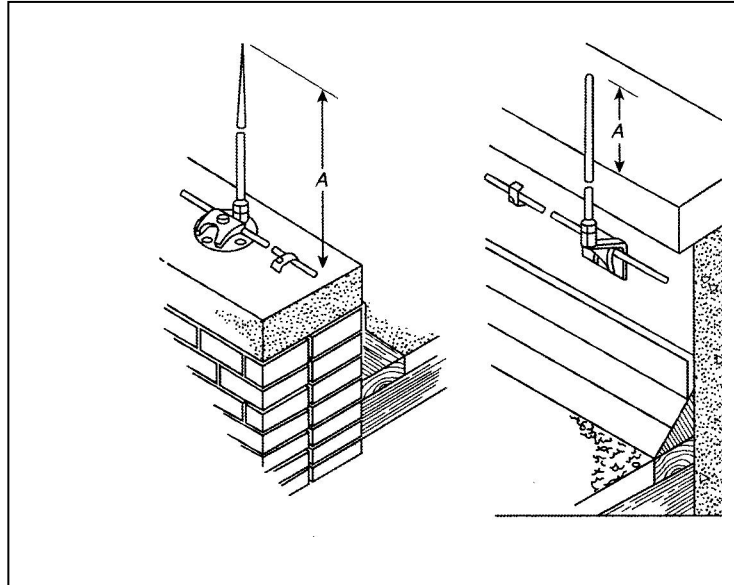
### **2.13.3. Terminales aéreos**

Estos incluyen los mástiles, partes metálicas permanentes de las estructuras, cables aéreos y terminales aéreos o combinaciones de estos.

#### **2.13.3.1. Altura del terminal aéreo**

La punta del terminal aéreo no debe ser menor a 254 mm ( 10 ") arriba del objeto o área a proteger, ver figura 20.

Figura 20. **Ubicación de terminales aéreos**



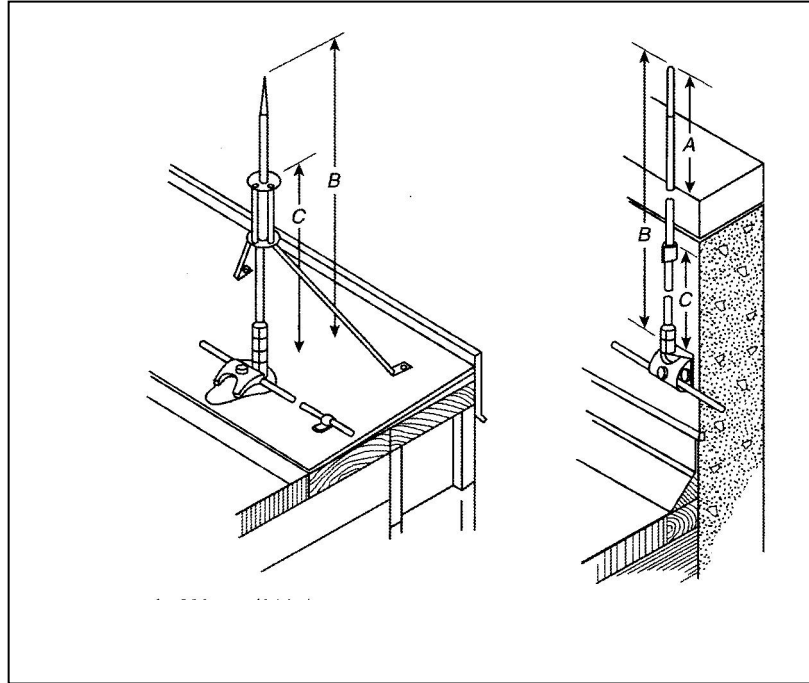
Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.11.*

### **2.13.3.2. Soporte del terminal aéreo**

Los terminales aéreos deben ser asegurados contra vuelcos o desplazamientos por una de las siguientes formas:

- Unido al objeto a ser protegido
- Apoyado permanentemente y rígidamente a la estructura. Los terminales aéreos que excedan de 600 mm ( 24 ") en altura arriba del área u objeto a ser protegido debe estar apoyado en un punto a no menos de la mitad de su altura, ver figura 21.

Figura 21. **Soporte de terminal aéreo**



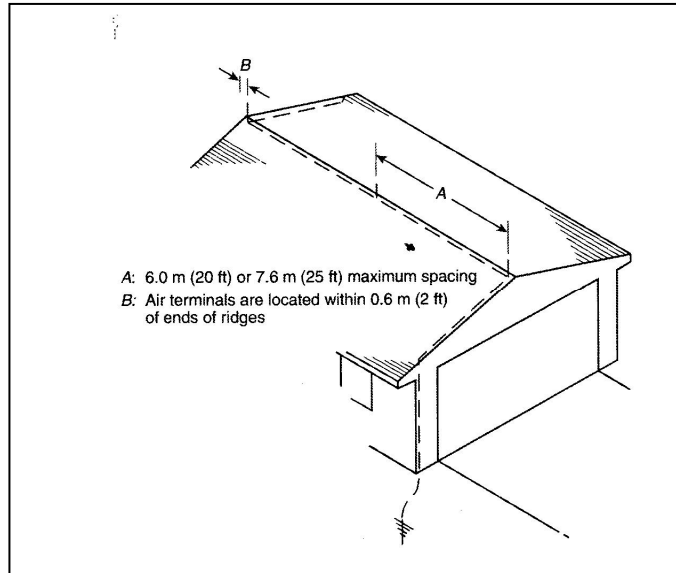
Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.11.*

### 2.13.3.3. **Localización de los terminales aéreos**

En la figura 22, la distancia entre los terminales aéreos y los bordes, esquinas exteriores de los techos planos no debe exceder de 0,6 m ( 2 '). Los terminales aéreos deben estar colocados en los bordes de la estructura alrededor del perímetro del techo plano a intervalos que no excedan los 6 m ( 20 '). Terminales aéreos mayores a 0,6 m o más, arriba del objeto o zona a proteger se permite que se coloque a intervalos no superiores a 7,6 m.



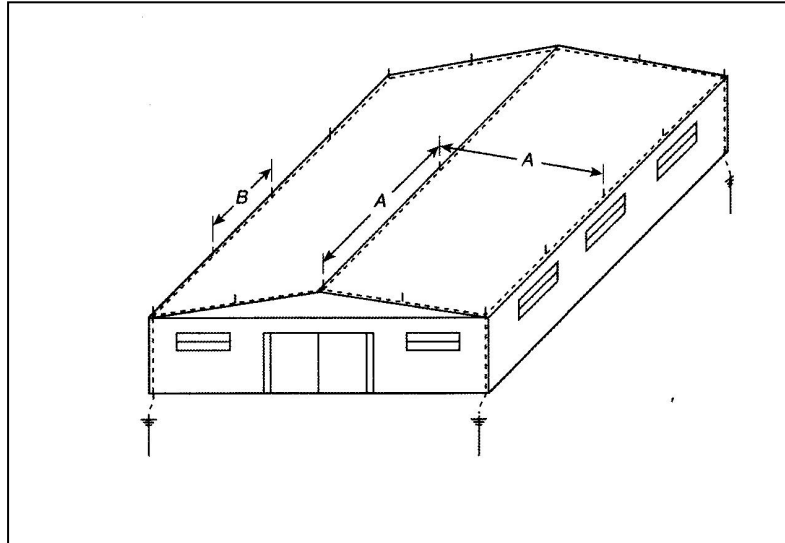
Figura 22. **Localización de terminales**



Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.13.*

Para techos planos en la estructura que exceden los 15 m, en ancho o longitud, se debe colocar terminales adicionales, localizados a intervalos que no excedan los 15 m, o bien el área puede ser protegida al colocar terminales con una mayor altura, por medio de los cuales crean las zonas de protección al usar el método de la esfera rodante y así la esfera no está en contacto con la superficie o área del techo plano, ver figura 23.

Figura 23. **Ubicación de terminales**



Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.14.*

## 2.14. **Conductores bajantes**

Estos se deben ser ampliamente separados como sea posible y depende de lo siguiente:

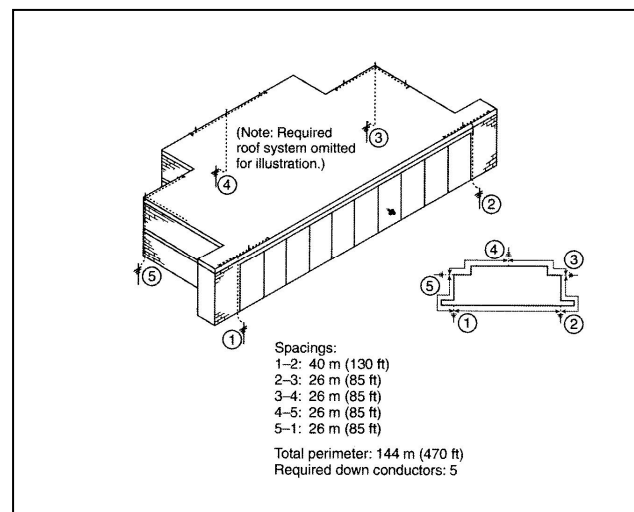
- Ubicación de los terminales aéreos
- Camino directo de los conductores
- Condiciones de tierra
- Fijación contra desplazamientos
- Localización de objetos metálicos
- Localización de sistemas de tubería metálica subterránea

## 2.15. Número de conductores bajantes

Al menos dos conductores bajantes, para cualquier tipo de estructura, incluyendo torres. Las estructuras que exceden de 76 m en perímetro, debe tener un conductor bajante por cada 30 m de perímetro o fracción de esta, el total de conductores bajantes sobre las estructuras teniendo un techo plano o pendiente suave será tal que la distancia media entre todos los conductores de bajada no supera los 30 m. Para estructuras de forma irregular tendrá más conductores de bajada como sea necesario para proporcionar una trayectoria de dos caminos de cada terminal aérea, ver figura 24.

Para una estructura de techo plano o pendiente suave, sólo el perímetro de las áreas que requieren protección del techo, se medirá.

Figura 24. Ubicación de bajantes



Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.17.*

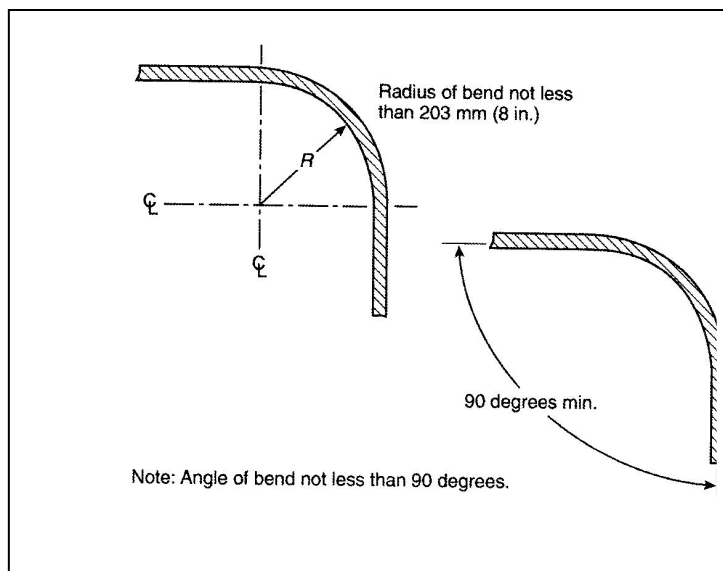
## 2.16. Protección de conductores bajantes

Situados en las pistas, caminos, patios de escuelas, patios de ganado, paseos públicos o de otro centro, sujeto a daño físico o desplazamiento será protegido. La protección metálica debe ser conectada a ambos extremos, del conductor bajante. El mismo debe estar protegido para una longitud mínima de 1,80 m sobre el nivel del suelo.

## 2.17. Curvas de conductores

Las curvas de los conductores no deben ser menores a  $90^\circ$  ni tampoco radios menores a 203 mm ( 8 ") como se muestra en la figura 25.

Figura 25. Radio y curva de conductores



Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.15.*

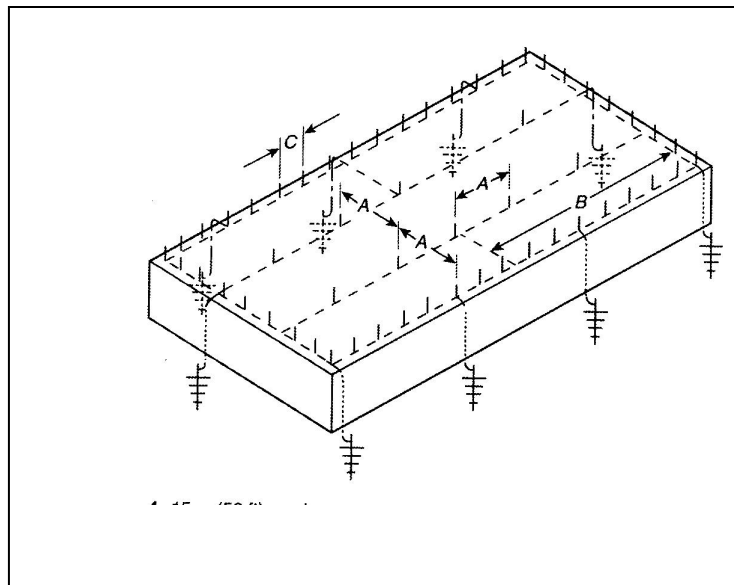
## 2.18. Fijación de conductores

Los conductores se permitirán que sean cursados a través del aire sin soporte para una distancia menor a 0,9 m ( 3 '). Para conductores con distancias mayores a 0,9 m se debe fijar para prevenir daños o desplazamientos de los conductores.

## 2.19. Conductores en techo

Los conductores deben ser llevados a lo largo de los bordes de las estructuras, a lo largo del perímetro del techo plano, abajo o sobre la parte alta de los parapetos, a través del área del techo plano o pendiente suave como lo requerido para interconectar los terminales aéreos, ver figura 26.

Figura 26. Fijación de conductores en techo



Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.14.*

## **2.20. Conductores en cruz**

Es necesario que sea interconectado a los terminales aéreos en los techos planos o de pendiente suave que no exceda de 15 m en ancho. Por ejemplo para techos de 15 a 30 m en ancho se necesita de un conductor en cruz, para techos de 30 a 46 m en ancho se requiere de dos conductores en cruz y así sucesivamente.

## **2.21. Electrodo de puesta a tierra**

Cada conductor bajante debe terminar en un electrodo de puesta a tierra dedicado para el sistema de protección. El diseño, tamaño, profundidad y cantidad debe cumplir con los siguientes requisitos: los conductores bajantes deben estar unidos permanentemente al sistema de puesta a tierra para el sistema de protección, por medio de conectores, soldadura exotérmica, conectores de compresión, especificados para dichos propósitos de conexión. Los electrodos o varillas pueden ser: de cobre, de acero con revestimiento de cobre (*cooper clad steel*) o acero inoxidable.

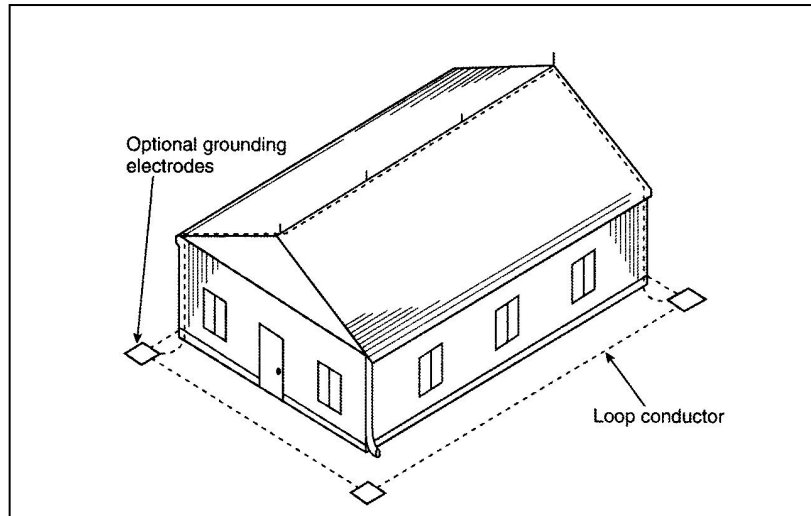
Los electrodos no deben ser menores a un diámetro de 1/ 2 " y una longitud de 2,44 m, la profundidad a la que deben estar colocados no debe ser menor a 3 m dentro de la tierra, cuando se conectan múltiples electrodos la separación entre los electrodos debe ser al menos la suma de sus profundidades a la que fueron colocados. El electrodo revestido en concreto debe encontrarse cerca de la parte inferior de una base de hormigón o en una fundición que está en contacto directo con la tierra y debe estar revestido por no menos de 50 mm de concreto.

El proceso de revestimiento consiste en una de las siguientes formas:

- No debe ser menor a 6 m (20 ') del conductor principal de cobre desnudo
- Al menos 6 m de uno o más barras de acero reforzado o electrodos de un diámetro no menor a 1/ 2 ", que ha sido conectado efectivamente juntos, por medio de soldadura superpuesta una longitud de 20 veces el diámetro de los cimientos amarrados con alambre.

El electrodo en forma de anillo, debe encerrar la estructura a proteger ver figura 27, en contacto directo con la tierra a una profundidad no menor a 460 mm ( 18 "). El anillo debe ser del mismo calibre que el conductor principal usado para el sistema de protección. El sistema radial consiste de uno o más conductores, cada uno en zanjas separadas extendidas hacia el exterior de cada uno de los conductores bajantes, cada electrodo radial no debe ser menor a una longitud de 3,6 m y a una profundidad no menor a 460 mm debajo de la tierra y en un ángulo no menor a 90 ° .

Figura 27. Anillo de tierra



Fuente: *National Fire Protection Association 780.p.18.*

Los electrodos tipo placa, debe tener un espesor mínimo de 0,8 mm y un área mínima de superficie de  $0,18 \text{ m}^2$ , debe estar enterrado a no menos de 460 mm debajo de la tierra, Si el terreno es rocoso y los electrodos anteriores no se pueden instalar, se utiliza el anillo de tierra a una distancia de 0,6 m de la fundición o fundición exterior o los electrodos tipo placa, pero si es imposible instalarlos se recurre al sistema radial, a una distancia mínima de 3,6 m de longitud a partir de la fundición exterior o el anillo a una distancia de la fundición de 0,6 m.

En estos casos el conductor es colocado sobre las rocas y debe estar fijado a cada 0,9 m por medio de clavos, cemento conductor, conductor adhesivo, para asegurar el contacto eléctrico y protegerlo de movimientos. Respecto a la tubería metálica enterrada, el sistema eléctrico de la instalación y las telecomunicaciones con sus respectivos sistemas de tierra no deben ser usados en lugar del sistema de puesta a tierra para el sistema de protección



externa, esta disposición no impedirá que sean conectados al sistema de puesta a tierra del sistema de protección externo.



### 3. PROTECCIÓN INTERNA

Generalmente para dimensionar la protección interna, muchas personas recurren al vendedor o distribuidor de dichos productos y es común escuchar de valores muy altos en cuanto a la capacidad en kiloamperes para protección. A veces se pregunta uno, será que esto realmente me funcionará, porque también es un asunto de tipo económico, ya que a mayor capacidad, mayor es el costo. En la especificación de la protección interna se ha de tener mucho cuidado en cuanto a su selección y características que se debe exigir al vendedor de dichos productos, además de las normativas existentes para su correcta aplicación, no es sólo asignar un valor a la protección.

Dentro de los parámetros que se deben saber para su correcta selección, están la incidencia de rayos, es decir, la densidad de rayos a tierra o DRT /GFD (DRT/ km<sup>2</sup> / año), voltaje de operación del sistema dónde se va a instalar, los modos de protección, rango de protección también llamado voltaje de corte o fijación (*clamping voltage*) o voltaje remante, tipo de conexión, número de fases, tipo de tecnología (gas, MOV's, SAD's) y sobre todo la instalación del dispositivo, ya que como anteriormente se describe, el tener la mejor protección no garantiza, que la protección funcionará de manera correcta, sí su instalación no es la adecuada.

#### 3.1. Dispositivos de protección

Dentro de los sistemas de protección interna, la mayoría de los estándares dependiendo del que se trate, *NEMA*, *IEC* e *IEEE* los describen como *SPD* ( dispositivo de protección de picos) y el estándar *UL 1449* le llama *TVSS*

(*transient voltage surge supresor*), que su función es proteger a los equipos sensibles de los transientes que pueden causar fallas en los sistemas o daños. Lo que hace efectivamente es reducir o atenuar la magnitud del transiente y de filtrar el ruido, no se puede eliminar a un valor de cero.

### **3.2. Tipos de tecnologías**

A continuación se describirán las tecnologías de los dispositivos de protección interna.

#### **3.2.1. Gas**

Un descargador de gas, por su parte, está formado por un tubo de cerámica o de cristal en el que se encuentran dos electrodos. La cámara del tubo está llena de gas noble (generalmente argón o neón) y se encuentra a una determinada presión. La composición del gas noble permite un mecanismo de encendido, se inicia un proceso de ionización por el cual la resistencia de la descarga de gas pasa de alta a baja. Después del encendido, cuando se tiene energía suficiente en el impulso de encendido, tiene lugar la descarga total.

La posibilidad de que el gas permanezca ionizado depende de la tensión de servicio del sistema y de la corriente de seguimiento. La corriente de seguimiento en los descargadores de gas es la intensidad que circula a través de tubo mientras está descargando y ésta se origina cuando la distancia de descarga en el descargador de gas es de baja resistencia y la corriente de la red normal pasa a través del descargador de gas, o bien, aumenta su valor, debido a que el descargador de gas ha pasado a tener una resistencia más baja que la impedancia de carga.

Si el descargador de gas no puede interrumpir independientemente la corriente de la red, debe insertarse un fusible entre el descargador de gas y la red o bien un varistor en serie.

#### Ventajas

- Alto poder de disipación térmica
- Buena resistencia al calentamiento
- Baja capacidad
- Amplio margen de tensiones limitadoras
- Baja resistencia en conducción

#### Desventajas

- Lentitud en el tiempo de respuesta
- Alto costo
- Pueden dañarse con una tensión excesiva
- Sí tiene fugas puede aumentar su tensión
- No son autoextinguibles

### **3.2.2. Varistor óxido metálico**

Los varistores son resistencias no lineales cuya resistencia óhmica disminuye cuando el voltaje aumenta tiene un tiempo de respuesta rápido y son utilizados como limitadores de picos de voltaje, el varistor protege el circuito de variaciones y picos bruscos de voltaje. Se coloca en paralelo al circuito a proteger y absorbe todos los picos mayores a su tensión nominal, el varistor sólo suprime picos transitorios, si los sometemos a una tensión elevada

constante se quema. Son limitadores bipolares y existen dos tipos: los de carburo de silicio y los de óxido de zinc.

### **3.2.2.1. Varistor de carburo de silicio**

#### Ventajas

- Rapidez en el tiempo de respuesta
- Alta capacidad

#### Desventajas

- Alta intensidad de fuga
- Alta tensión de limitación

### **3.2.2.2. Varistor de óxido de zinc**

Estos tienen mejores características de intensidad – tensión que los varistores de carburo de silicio. Un varistor de óxido de zinc se compone de granos de ZnO cementados en otros granos de óxidos metálicos. El óxido de zinc es un semiconductor de tipo N, que limita con los demás óxidos metálicos de tipo P. El comportamiento eléctrico del varistor de óxido de zinc queda, pues, limitado por el número de contactos PN, dispuestos en paralelo y en serie. Al sobrepasar las tensiones de conducción en los límites de los granos individuales, el varistor pasa a ser conductor. Su tiempo de respuesta es más rápido que el de un descargador de gas, pero más lento que el de un diodo supresor de silicio.

## Ventajas

- Rapidez en el tiempo de respuesta
- Bajo costo
- Buena disponibilidad de tensiones de limitación
- Baja intensidad de fuga
- Adecuado para bajas tensiones

## Desventajas

- Mala disipación de energía
- Mala resistencia al calentamiento
- Envejecimiento

### **3.2.3. Diodo zener**

El diodo zener fue concebido como componente regulador de tensión. Pero aunque tiene ciertas aptitudes como supresor de transitorios, no es conveniente usarlo como tal, aunque en algunas aplicaciones no críticas pueda suplir según sea la circunstancia a algún limitador, pero siempre con la seguridad de que su respuesta será bastante peor.

Ya que el diodo supresor tiene mucha mayor capacidad para absorber las sobretensiones que un diodo zener, por lo que será preferible el diodo supresor que el zener, si bien aumentando la potencia del zener obtenemos mayor capacidad de supresión aunque no llegue a las características del diodo supresor.

## Ventajas

- Baja intensidad de fuga
- Baja capacidad
- Tiempo de respuesta medio
- Tensiones de limitación precisa
- Larga vida

## Desventajas

- No es un limitador de picos de sobretensión
- Baja tensión de limitación
- Baja capacidad de disipación energética

Tabla XIX. **Cuadro comparativo de tecnologías**

Tecnologías	Descripción	Características		
		Tensiones de ruptura	Corriente de descarga	Tiempo de disparo
Gas	Tubos de vidrio o cerámica, llenos de gas inerte y sellados con uno o más electrodos metálicos	70 V hasta 1 kV	hasta 60 kA	Desde 60 $\mu$ s hasta 500 $\mu$ s
	Resistencias no lineales (óxidos no metálicos)			
MOV 's	Diodos Zener especiales llamados diodos de avalancha o SAD's	10 V hasta 1 kV	Del orden de kA	Desde 35 a 50 ns
SAD's		5 V hasta 600 V	Del orden de varios cientos de amperes	Del orden de 5 ns

Fuente: elaboración propia.



### **3.3. Ubicación de protección interna por categorías**

De acuerdo al estándar *IEEE C 62.41.1*, indica que la protección interna debe de ubicarse de acuerdo a categorías las cuales a continuación se describen.

#### **3.3.1. Categoría C**

Localizado en el lado de la línea del servicio de desconexión, entrada del edificio y el servicio exterior, servicio del poste al edificio, entre el medidor y el panel, la línea aérea al edificio, línea subterránea a la bomba del pozo.

#### **3.3.2. Categoría B**

Localizado inmediatamente del lado de la carga del servicio de desconexión, se caracteriza por tener circuitos derivados cortos y líneas alimentadoras, paneles de distribución, alimentadores y barras de plantas industriales, salidas de equipos pesados con conexiones cortas al servicio de entrada.

#### **3.3.3. Categoría A**

Se caracteriza por tener circuitos derivados largos y salidas o tomacorrientes localizados a más de 10 m de la categoría B y 20 m o más de la categoría C.

### **3.4. Parámetros para su selección**

A continuación se describen los principales parámetros para su selección como lo son: modo por fase, modo de protección, voltaje máximo de operación continuo, voltaje nominal, corriente nominal de descarga, corriente máxima de descarga, rango de voltaje de protección y niveles de exposición.

#### **3.4.1. Modo por fase**

A veces sólo se menciona los kA / fase, el significado de esto es el siguiente la línea y neutro hay un valor de kA y entre la línea y tierra hay otro valor en kA, el total será la suma de los dos modos para obtener el valor por fase, esto es porque la corriente fluye en cualquiera de las trayectorias paralelas. Entre el neutro y tierra (N-G) no se incluye para el cálculo de la corriente por fase.

Por ejemplo: si en un supresor de transientes nos dice 60 kA / fase, significa que tenemos 30 kA entre línea y neutro y 30 kA entre línea y tierra.

#### **3.4.2. Modo de protección**

Bajo el estándar *NEMA LS-1-1992*, es requerido a los fabricantes que publiquen los modos de protección por cada modo y para cada sistema por ejemplo para un sistema delta los dos modos: línea a línea ( L-L) y línea a tierra(L-G) y para los sistemas en estrella de: línea a neutro ( L-N), línea a tierra( L-G) y neutro a tierra ( N-G) en sus dispositivos de protección, el argumento de esto, es que no sabemos por dónde ocurrirá el transiente, teniendo asegurado todos los modos de protección, así aseguramos que no hayan daños. Sin embargo algunos equipos son más sensibles que otros. El

modo de protección de línea a neutro (L-N) y neutro a tierra (N-G), es aceptable como mínimo.

### **3.4.3. Voltaje máximo de operación continuo ( MCOV)**

Esta especificación relaciona el máximo voltaje que el *SPD* puede resistir sin provocar un riesgo de fuego o explosión. Generalmente se selecciona un 20% arriba del voltaje normal para cubrir la expectativa.

### **3.4.4. Voltaje nominal**

Es el voltaje de operación al cual se va a conectar el *TVSS*.

### **3.4.5. Corriente nominal de descarga**

Es el valor pico de corriente, seleccionada por los fabricantes, utilizando la onda de corriente de 8 / 20  $\mu$ s, a través del dispositivo de protección, donde este permanece funcionando luego de soportar 15 picos de corriente como mínimo.

### **3.4.6. Corriente máxima de descarga**

Es el valor máximo de corriente que soporta un dispositivo, por una vez sin sufrir daño, utilizando la onda de corriente de 8 / 20  $\mu$ s.

### **3.4.7. Rango de voltaje de protección ( VPR)**

De acuerdo al estándar *UL 1949*, 3 era. Edición, significa el valor redondeado promedio de tensión que limita el dispositivo de protección medida

en terminales, cuando el SPD se somete al impulso de combinación de formas de onda producido por un generador de 6 kV, 3 kA, 8 / 20  $\mu$ s.

El *VPR* es una medición de tensión de sujeción que se redondea a un valor de tablas estandarizadas.

### **3.4.8. Niveles de exposición**

Se refiere al nivel de exposición al cual va a ser, sometido el dispositivo de acuerdo al lugar dónde se instalará.

#### **3.4.8.1. Alto**

Aquellas instalaciones con un mayor aumento de la exposición de los definidos por una baja y mediana exposición. El resultado más grave de las condiciones de una amplia exposición a los rayos o el cambio inusualmente de severas sobrecargas.

#### **3.4.8.2. Medio**

Sistemas en áreas geográficas conocidas por actividad de rayos de media a alta o con importantes transitorios de conmutación. Ambas o sólo una de estas causas pueden estar presentes, ya que es difícil separarlas e ir a revisar los resultados del monitoreo de los disturbios.

#### **3.4.8.3. Bajo**

Sistemas en áreas geográficas conocidas por la actividad baja de rayos, con poca carga o la conexión de capacitores.

### **3.5. Coordinación de protección**

Está se realiza tomando en cuenta la resistencia al impulso que tienen cada uno de los equipos, es decir, tomando en cuenta la sobretensión que puede soportar el equipo antes que este pueda sufrir daño, a continuación se dan valores de referencia para la coordinación de los supresores.

- Máquinas herramientas, motores y bombas de 2,5 kV
- Máquinas con electrónica, variadores de frecuencia de 1,5 kV
- Ordenadores personales, módem, domótica, máquinas con PLC de 1 kV
- Informática profesional, equipos médicos, instrumentación, equipos de precisión, centrales de alarma de 0,5 kV.



## 4. READECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Se aplicará todo lo anteriormente descrito en los capítulos anteriores a una instalación existente y que ha tenido problemas por una mala instalación y selección de las protecciones.

### 4.1. Datos de la instalación

De acuerdo a la readecuación de los sistemas de protección en la instalación se tiene la siguiente información:

- Capacidad del banco de transformadores 3 x 75 kVA
- Tipo de conexión 120 / 240 V, delta *high leg* ( tap central), trifásica
- 4 conductores 2/ 0 para el conductor neutro en tablero principal
- Altura de la estructura 6 m, sobre el nivel del suelo
- 4 conductores por fase calibre 2 /0 de aluminio, en tablero principal
- Distancia del árbol a la estructura 22 m
- Dimensiones de la estructura 50 x 20 m
- Altura del árbol 35 m
- Diámetro del tronco del árbol 3,80 m
- Pararrayos marca *Schirtec* modelo AS
- Altura de montaje del pararrayos 9,2 m
- TVSS marca *Dehn* modelos Guard 275 y 150
- Puesta a tierra de TVSS, una varilla de 5/8 " x 8 '
- Conductor de puesta a tierra del electrodo calibre 12 AWG

## 4.2. Historial

De acuerdo a la visita realizada a la Finca San Sebastián, se encontró las siguientes evidencias:

- Falta de conexión del neutro a tierra en el tablero principal de acuerdo a la sección 250.20 B (3) del *NFPA 70*.
- Interconexión de neutros y tierra en todos los subtableros de la instalación.
- Falta de conocimiento en el uso de los colores de los cables en la instalación, de acuerdo a las secciones 200.6 y 250.119 del *NFPA 70*.
- Utilización de empalmes en el conductor de tierra
- Ausencia del conductor de tierra del equipo, sección 250.118 del *NFPA 70*.
- Conexión del supresor de sobretensión en el tablero principal con una tierra independiente, a la del sistema.
- Aplicación incorrecta del supresor, para el tipo de sistema de conexión
- Instalación de pararrayos inadecuada de acuerdo a *NFPA 780*
- Red de tierras del pararrayos independiente a la del sistema, con lo cual se evidencia grandes diferencias de potencial, *NFPA 780* y *NFPA 70* sección 250.60.
- Cajas de registro del bajante del pararrayos, se está utilizando una barra de aluminio, que no cumple con la sección 250.64 A del *NFPA 70*.



- Existencia de tomacorrientes polarizados, pero sin el conductor de tierra del equipo, sección 250.118 y 250.122 del *NFPA 70*.
- No existe coordinación de protección interna

### **4.3. Solución al problema**

De acuerdo a las premisas del problema primero se debe analizar el sistema de puesta a tierra de la instalación, el sistema de protección externa y por último el sistema de protección interna. Ver figuras 1 y 2 del apéndice.

#### **4.3.1. Sistema de puesta a tierra**

De acuerdo a los calibres de los conductores de alimentación se procede a seleccionar el conductor de puesta a tierra del electrodo y para el conductor de tierra del equipo en función de la protección de los tableros y subtableros.

- Cálculo del conductor de puesta a tierra del electrodo como son 4 conductores por fase, calibre 2/0 de aluminio, el área del conductor es de  $133\ 100\ \text{CM} \times 4 = 532\ 400\ \text{CM} / 1\ 000$  es igual a 532, 4 KCM, ver tabla XX, se elige el conductor calibre 1/0 de cobre desnudo, para el tablero principal ver tabla XXI.
- Para los conductores de tierra del equipo se tiene la siguiente información: de los subtableros subt 1 y subt 2, con un *CB* de 3 x 225 A a cada tablero hay que conectar un electrodo de 5/8 " x 8 ' a la barra de neutro y el conductor del electrodo de puesta a tierra a instalar es calibre 4 AWG con aislamiento de color verde.

- De cada subt 1 y subt 2 con un *CB* de 3 x 225 A a las transferencias manuales, se instala un cable de calibre 4 AWG con aislamiento de color verde o puede ser de color negro, pero se debe pintar en los extremos del mismo o puntos visibles de color verde y dónde este expuesto dentro de la canalización.
- Del subt 1 con un *CB* de 3 x 225 A al subt 3, se instalar un cable calibre 4 AWG con aislamiento de color verde.
- Del subt 3 al subt 6, capacidad del *CB* 3 x 100 A, se instala un cable calibre 8 AWG con aislamiento de color verde.
- Del subt 3 al subt 4, capacidad de *CB* 3 x 100 A, se instala un cable calibre 8 AWG con aislamiento de color verde.
- Del subt 4 al subt 5, capacidad del *CB* 3 x 20 A, se instala un cable calibre 10 AWG con aislamiento de color verde.
- Del subt 5 a máquina 3, capacidad del *CB* 3 x 15 A, se instala un cable calibre 14 AWG con aislamiento de color verde.
- Del subt 4 a máquina 4, capacidad del *CB* 3 x 15 A, se instala un cable calibre 14 AWG con aislamiento de color verde.
- Del subt 6 a la máquina 1, capacidad del *CB* de 3 x 20 A, se instala un cable calibre 12 AWG con aislamiento de color verde.
- Del subt 6 a la máquina 2, capacidad del *CB* de 3 x 20 A, se instala un cable calibre 12 AWG con aislamiento de color verde.

#### 4.3.2. Protección externa

- Calcular el  $A_e = ab + 6hb + 9 \pi h^2 = (50) \times (20) + 6(6)(20) + 9 \pi (6)^2 = 2737,87 \text{ m}^2$ .
- Calcular  $N_d = N_g \times A_e \times C_1 \times 10^{-6}$ , sí  $N_g = 6,68$  de tabla IX, nivel cerámico 60,  $C_1 = 0,25$  de tabla X, para obtener el resultado siguiente:  $N_d = (6,68) \times (2737,87) \times (0,25) \times 10^{-6} = 4,57 \times 10^{-3}$ .
- Calcular  $N_c = 1,5 \times 10^{-3} / C$ , para esto seleccionar de las tablas XI a XIV los coeficientes  $C_2, C_3, C_4$  y  $C_5$  respectivamente 1, 3, 1 y 5 para obtener el resultado siguiente:  $N_c = 1,5 \times 10^{-3} / (1)(3)(1)(5) = 1 \times 10^{-4}$ .
- Bajo las condiciones anteriores  $N_d > N_c$  hay que instalar la protección externa.
- Se tiene que instalar un pararrayos en el árbol de 35 m de altura, como está excede de 23 m de altura de acuerdo a la tabla XVIII, utilizar materiales de clase II, el cable a seleccionar debe tener una sección transversal mínima de 115 000 CM, lo que equivale a un cable 2/0 de cobre desnudo.
- El sistema de puesta a tierra para el pararrayos es una configuración delta con 3 electrodos de 5/8 " x 8 '.
- La distancia del bajante al árbol tiene que ser como mínimo de 1 m

- El tronco tiene un diámetro de 3,80 m entonces tiene que utilizar 2 bajantes por la condición, sí el tronco tiene un diámetro  $> 0,9$  m de acuerdo a *NFPA 780*.
- El radio de protección de acuerdo al catálogo del pararrayos *Schirtec* modelo AS, tiene un nuevo radio de protección de 50 m.
- Se tiene que interconectar los dos sistemas de puesta a tierra del pararrayos y de la instalación para evitar diferencias de potencial de acuerdo a *NFPA 780* y *NFPA 70* sección 250.60.

#### **4.3.3. Sistema de protección interna**

La probabilidad de incidencia de un rayo , con una intensidad mayor a 100 kA es menor al 1% , por lo que haremos lo siguiente  $200 \text{ kA} / 2 = 100 \text{ kA}$ , sí el pararrayos de la línea de distribución en 13, 8 o 13, 2 kV, drena 40 kA a tierra, tenemos 60 kA que puede tomar el cable neutro 30 kA y otros 30 kA para la instalación en el peor de los casos 60 kA, para esto seleccionar el modelo 52412-DS3, ver tabla XXII, protegido con un *CB* de 3 x 30 A como lo recomienda el fabricante. Para el subtablero 3 el modelo 32412-DS3 y para el subtablero 4 que conecta a la máquina 4 una regleta modelo 5100-S15, ver tablas XXIII y XXIV respectivamente, ver figura 3 del apéndice para su ubicación.

Tabla XX. Propiedades de los conductores

Table 8 Conductor Properties

Size (AWG or kcmil)	Conductors										Direct-Current Resistance at 75°C (167°F)					
	Area		Stranding			Overall			Copper							
	mm <sup>2</sup>	Circular mils	Quantity	Diameter		Diameter		Area		Uncoated		Coated		Aluminum		
				mm	in.	mm	in.	mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT	ohm/ km	ohm/ kFT	
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8	
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1	
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05	
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21	
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06	
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17	
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.34	1.93	6.57	2.01	10.45	3.18	
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.69	3.25	
10	5.261	10380	1	—	—	2.588	0.102	5.26	0.008	3.984	1.21	4.148	1.26	6.561	2.00	
10	5.261	10380	7	0.98	0.038	2.95	0.116	6.76	0.011	4.070	1.24	4.226	1.29	6.679	2.04	
8	8.367	16510	1	—	—	3.264	0.128	8.37	0.013	2.506	0.764	2.579	0.786	4.125	1.26	
8	8.367	16510	7	1.23	0.049	3.71	0.146	10.76	0.017	2.551	0.778	2.653	0.809	4.204	1.28	
6	13.30	26240	7	1.56	0.061	4.67	0.184	17.09	0.027	1.608	0.491	1.671	0.510	2.652	0.808	
4	21.15	41740	7	1.96	0.077	5.89	0.232	27.19	0.042	1.010	0.308	1.053	0.321	1.666	0.508	
3	26.67	52620	7	2.20	0.087	6.60	0.260	34.28	0.053	0.802	0.245	0.833	0.254	1.320	0.403	
2	33.62	66360	7	2.47	0.097	7.42	0.292	43.23	0.067	0.634	0.194	0.661	0.201	1.045	0.319	
1	42.41	83690	19	1.69	0.066	8.43	0.332	55.80	0.087	0.505	0.154	0.524	0.160	0.829	0.253	
1/0	53.49	105600	19	1.89	0.074	9.45	0.372	70.41	0.109	0.399	0.122	0.415	0.127	0.660	0.201	
2/0	67.43	133100	19	2.13	0.084	10.62	0.418	88.74	0.137	0.3170	0.0967	0.329	0.101	0.523	0.159	
3/0	85.01	167800	19	2.39	0.094	11.94	0.470	111.9	0.173	0.2512	0.0766	0.2610	0.0797	0.413	0.126	
4/0	107.2	211600	19	2.68	0.106	13.41	0.528	141.1	0.219	0.1996	0.0608	0.2050	0.0626	0.328	0.100	
250	127	—	37	2.09	0.082	14.61	0.575	168	0.260	0.1687	0.0515	0.1753	0.0535	0.2778	0.0847	
300	152	—	37	2.29	0.090	16.00	0.630	201	0.312	0.1409	0.0429	0.1463	0.0446	0.2318	0.0707	
350	177	—	37	2.47	0.097	17.30	0.681	235	0.364	0.1205	0.0367	0.1252	0.0382	0.1984	0.0605	
400	203	—	37	2.64	0.104	18.49	0.728	268	0.416	0.1053	0.0321	0.1084	0.0331	0.1737	0.0529	
500	253	—	37	2.95	0.116	20.65	0.813	336	0.519	0.0845	0.0258	0.0869	0.0265	0.1391	0.0424	
600	304	—	61	2.52	0.099	22.68	0.893	404	0.626	0.0704	0.0214	0.0732	0.0223	0.1159	0.0353	
700	355	—	61	2.72	0.107	24.49	0.964	471	0.730	0.0603	0.0184	0.0622	0.0189	0.0994	0.0303	
750	380	—	61	2.82	0.111	25.35	0.998	505	0.782	0.0563	0.0171	0.0579	0.0176	0.0927	0.0282	
800	405	—	61	2.91	0.114	26.16	1.030	538	0.834	0.0528	0.0161	0.0544	0.0166	0.0868	0.0265	
900	456	—	61	3.09	0.122	27.79	1.094	606	0.940	0.0470	0.0143	0.0481	0.0147	0.0770	0.0235	
1000	507	—	61	3.25	0.128	29.26	1.152	673	1.042	0.0423	0.0129	0.0434	0.0132	0.0695	0.0212	
1250	633	—	91	2.98	0.117	32.74	1.289	842	1.305	0.0338	0.0103	0.0347	0.0106	0.0554	0.0169	
1500	760	—	91	3.26	0.128	35.86	1.412	1011	1.566	0.02814	0.00858	0.02814	0.00883	0.0464	0.0141	
1750	887	—	127	2.98	0.117	38.76	1.526	1180	1.829	0.02410	0.00735	0.02410	0.00756	0.0397	0.0121	
2000	1013	—	127	3.19	0.126	41.45	1.632	1349	2.092	0.02109	0.00643	0.02109	0.00662	0.0348	0.0106	

Notes:

- These resistance values are valid **only** for the parameters as given. Using conductors having coated strands, different stranding type, and, especially, other temperatures changes the resistance.
- Equation for temperature change:  $R_2 = R_1 [1 + \alpha (T_2 - 75)]$  where  $\alpha_w = 0.00323$ ,  $\alpha_{AL} = 0.00330$  at 75°C.
- Conductors with compact and compressed stranding have about 9 percent and 3 percent, respectively, smaller bare conductor diameters than those shown. See Table 5A for actual compact cable dimensions.
- The IACS conductivities used: bare copper = 100%, aluminum = 61%.
- Class B stranding is listed as well as solid for some sizes. Its overall diameter and area is that of its circumscribing circle.

Informational Note: The construction information is in accordance with NEMA WC/70-2009 or ANSI/UL 1581-2001. The resistance is calculated in accordance with National Bureau of Standards Handbook 100, dated 1966, and Handbook 109, dated 1972.

Fuente: National Fire Protection Association 70.p.721.

Tabla XXI. Conductor de puesta a tierra para sistemas AC

**Table 250.66 Grounding Electrode Conductor for Alternating-Current Systems**

Size of Largest Ungrounded Service-Entrance Conductor or Equivalent Area for Parallel Conductors <sup>a</sup> (AWG/kcmil)		Size of Grounding Electrode Conductor (AWG/kcmil)	
		Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum <sup>b</sup>
2 or smaller	1/0 or smaller	8	6
1 or 1/0	2/0 or 3/0	6	4
2/0 or 3/0	4/0 or 250	4	2
Over 3/0 through 350	Over 250 through 500	2	1/0
Over 350 through 600	Over 500 through 900	1/0	3/0
Over 600 through 1100	Over 900 through 1750	2/0	4/0
Over 1100	Over 1750	3/0	250

Notes:

- Where multiple sets of service-entrance conductors are used as permitted in 230.40, Exception No. 2, the equivalent size of the largest service-entrance conductor shall be determined by the largest sum of the areas of the corresponding conductors of each set.
- Where there are no service-entrance conductors, the grounding electrode conductor size shall be determined by the equivalent size of the largest service-entrance conductor required for the load to be served.

<sup>a</sup>This table also applies to the derived conductors of separately derived ac systems.

<sup>b</sup>See installation restrictions in 250.64(A).

Fuente: National Fire Protection Association 70.p.115.

Tabla XXII. Supresor para tablero principal

Specifications for: 52000 Series

Catalog Number	52120-M1	52120-M2 52120-CM2	52120-M2H	52120-M3 52120-CM3	52120-7M3 52120-7C3	52240-DM3	52277-M3 52277-CM3	52277-7M3 52277-7C3	52480-DM3	52412-DS3	
<b>Electrical Specifications</b>											
Voltage	120VAC	120/ 240VAC	120/ 240VAC	120/ 208VAC 3-phase WYE	120/ 208VAC 3-phase WYE	240VAC 3-phase Delta	277/ 480VAC 3-phase WYE	277/ 480VAC 3-phase WYE	480VAC 3-phase Delta	120/240/ 120VAC 3-phase Delta Hi-Leg Delta	
Frequency	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	
Surge Technology	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	40mm MOV	
Recommended Circuit Breaker Rating	30A, 120V	30A, 120/240V	30A, 120/240V	30A, 120/208V	30A, 120/208V	30A, 240V	30A, 277/480V	30A, 277/480V	30A, 480V	30A, 120/240V	
<b>Performance Data</b>											
Maximum Continuous Operating Voltage (MCOV)	L-N	150V	150V	150V	150V	150V	—	320V	320V	—	L-N:150V H-N:320V
	L-G	300V	300V	300V	300V	150V	—	640V	320V	—	L-G:300V H-G:470V
	N-G	150V	150V	150V	150V	150V	—	320V	320V	—	150V
	L-L	—	300V	300V	300V	300V	320V	640V	640V	550V	L-L:300V H-L:470V
Voltage Protection Rating (VPR)	L-N	1000V	1000V	1000V	1000V	1000V	—	1500V	1500V	—	L-N:1000V H-N:1500V
	L-G	1500V	1500V	900V	1500V	1200V	—	2500V	1500V	—	L-G:1500V H-G:2000V
	N-G	700V	700V	700V	700V	700V	—	1200V	1200V	—	700V
	L-L	—	1500V	1500V	1500V	1500V	1500V	2500V	2500V	2000V	L-L:1500V H-L:2500V
Protection Mode	2 Mode	3 Mode	3 Mode	4 Mode	7 Mode	3 Mode	4 Mode	7 Mode	3 Mode	4 Mode	
Maximum Surge Current, Per Mode (Per Phase)	100kA (100kA)	100kA (100kA)	100kA (100kA)	100kA (100kA)	100kA (200kA)	100kA (100kA)	100kA (100kA)	100kA (200kA)	100kA (100kA)	100kA (100kA)	
Short Circuit Current Rating (SCCR)	100kA	100kA	100kA	100kA	100kA	100kA	100kA	100kA	100kA	100kA	
Nominal Discharge Rating (I <sub>n</sub> )	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	10kA/20kA <sup>1</sup>	
EMI/RFI Noise Rejection	-20dB to -40dB (50KHz-10MHz)										
Diagnostics	Real Time Protection status LEDs & Audible Alarm										
Remote Monitoring	Dry Contacts-N.O./N.C. Form C Rated at 7Amps @ 240VAC or 30VDC										
<b>Mechanical Specifications</b>											
Connection Type	Parallel-hardwired, feed-through dual wire terminal block; Accepts up to #3 AWG wire										
<b>Environmental Specifications</b>											
Enclosure Type	NEMA 12 Enclosure										
Operating Temperature	-20°C to 60°C										
Storage Temperature	-20°C to 85°C										
Flammability	Rated V-2 per UL 94										
Relative Humidity	5% to 95% non-condensing										
<b>Standards &amp; Certifications</b>											
Agency Rating	UL 1449 3rd Edition Listed and CSA C22.2 Certified Type 2										
ANSI/IEEE Category A, B & C	C-62.41 & C-62.45										
<b>Warranty</b>											
Product Warranty	Limited Lifetime										
Replacement Module Warranty	Limited Lifetime*										

<sup>1</sup>I<sub>n</sub> = 10 kA when protected by a circuit breaker rated 30 A, min. (b) Volts, minimum 10 kA AIC. I<sub>n</sub> = 20 kA when protected by a Square D Circuit Breaker Cat. No. Q0B330A rated 30 A, min. 120/240 Volts, minimum 10 kA AIC or any Circuit Breaker rated 30A, (b) volts, minimum AIC 14kA. (b) Nominal System Voltage, where (b) = nominal system voltage.  
\*Certain restrictions apply

Fuente: Catálogo Leviton.p.1.

Tabla XXIII. Supresor para subtablero 3

PANEL MOUNTED DEVICES

General Data For Cat. Nos. 32000

Cat. No.	Rated Line Voltage (VRMS)
32120-001	120/240V AC, single-phase
32120-DY3	120/208V AC, 3-phase WYE, 220V AC, 3-phase DELTA
32277-DY3	277/480V AC, 3-phase WYE, 220/380V AC, 3-phase WYE, 240V AC, 3-phase DELTA, 480V AC, 3-phase DELTA
32347-DY3	347/600V AC, 3-phase WYE
32412-DS3	120/240V AC, Hi-Leg split-phase DELTA

Performance Specifications

Specification	32120-001	32120-DY3	32277-DY3	32347-DY3	32412-DS3
Modes protected	L-N/L-N-G	L-N/L-N-G	L-N/L-N-G	L-N/L-N-G	L-L/HIL-G L-N(CT)/HIL-N
Operating frequency Range	50, 60Hz	50, 60Hz	50, 60Hz	50, 60Hz	50, 60Hz
Rated L-N voltage	120V	120V	277V	347V	120V
Max. Cont. L-N voltage	150V	150V	320V	420V	150V
Max. Cont. L-L voltage	270V	270V	540V	660V	250V
Max. transient current (8x20µs single pulse) NM/CM per phase	80kA	80kA	80kA	80kA	80kA
Max. transient energy (8x20µs waveform) per phase	950 Joules	950 Joules	3450 Joules	4100 Joules	2030 Joules
SPD circuit connection	high-energy parallel	high-energy parallel	high-energy parallel	high-energy parallel	high-energy parallel
Connection means	hard wired w/leads	hard wired w/leads	hard wired w/leads	hard wired w/leads	hard wired w/leads
Fusing	internal	internal	internal	internal	internal
Phases protected	one	three	three	three	three

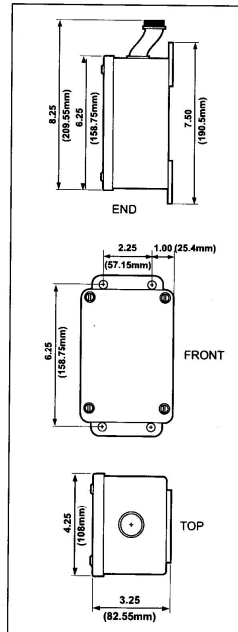
Physical Specifications

Operating Temperature Range:	-10°C to 60°C
Storage Temperature Range:	-20°C to 85°C
Temperature Gradient:	15°C per hour
Relative Humidity:	5% to 95% non-condensing
Altitude:	Up to 3600m (11800 ft.)
Dimensions:	6.25" (158.75mm) x 4.25" (108mm) x 3.25" (82.55mm)

Agency Approvals

UL listed 1449 Standard, CSA Certified
--

Dimensional Drawings



Clamping Performance

Specification	32120-001	32120-DY3	32277-DY3	32347-DY3	32412-DS3
Cat B3 combination wave (8x20µs) peak clamping voltage	L-N: 532V L-L: 832V N-G: 514V	L-N: 532V L-L: 832V N-G: 514V	L-N: 996V L-L: 1570V N-G: 920V	L-N: 1100V L-L: 2200V N-G: 1100V	L-L: 925V HIL-G: 1250V L-N(CT): 520V HIL-N: 725V
UL 1449 ratings @ 500A with 6" lead length	L-N: 500V L-L: 700V N-G: 500V	L-N: 500V L-L: 700V N-G: 500V	L-N: 900V L-L: 1500V N-G: 800V	L-N: 1200V L-L: 2000V N-G: 1000V	L-L: 800V HIL-G: 1000V L-N(CT): 400V HIL-N: 700V

EMI/RFI Noise Rejection

Specification	Data for Normal Mode and (Common Mode)				
	32120-001	32120-DY3	32277-DY3	32347-DY3	32412-DS3
Evaluation bandwidth	100Hz-10MHz (100Hz-10MHz)	100Hz-10MHz (100Hz-10MHz)	100Hz-10MHz (100Hz-10MHz)	10KHz-10MHz (10KHz-10MHz)	10KHz-10MHz (10KHz-10MHz)
Noise rejection at 50 Ohms	20-30dB (20-30dB)	20-30dB (20-30dB)	20-30dB (20-30dB)	20-30dB (20-30dB)	20-30dB (20-30dB)

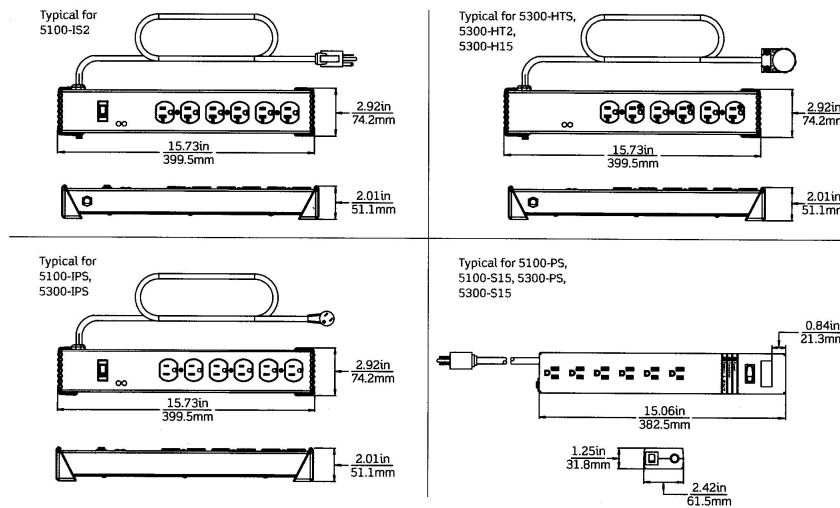
Fuente: Catálogo Leviton.p.20.



Tabla XXIV. Supresor para máquina 4

Specifications and Dimensions for: 5100 & 5300 Series Surge Strips

Catalog Number	5100-IPS	5100-IS2	5300-IPS	5300-H15	5300-HTS	5300-HT2	5100-PS 5100-S15	5300-PS 5300-S15
Series	Industrial/Hospital						Commercial	
<b>Electrical Specifications</b>								
Current	15A	20A	15A	15A	15A	20A	15A	15A
Voltage	125VAC	125VAC	125VAC	125VAC	125VAC	125VAC	125VAC	125VAC
Frequency	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Surge Technology	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV	MOV
<b>Performance Data</b>								
Maximum Continuous Operating Voltage (MCOV)	150V	150V	130V	150V	150V	150V	150V	130V
Joules	1330J	900J	1330J	952J	952J	952J	720J	1520J
Maximum Surge Current, Per Mode (L-N)	84kA	45kA	84kA	51kA	51kA	51kA	36kA	96kA
Noise Filtering	-5 to -25dB (@500K-100MHz)	-6 to -40dB (@50K-100MHz)	-6 to -40dB (@50K-100MHz)	-6 to -40dB (@50K-100MHz)	-6 to -40dB (@50K-100MHz)	-6 to -40dB (@50K-100MHz)	-5 to -25dB (@500K-100MHz)	-6 to -40dB (@50K-100MHz)
Voltage Protection Rating (VPR)	L-N	600V	600V	500V	500V	500V	500V	500V
	L-G	600V	700V	600V	700V	700V	600V	600V
	N-G	600V	700V	600V	700V	700V	600V	500V
<b>Material Specifications</b>								
Enclosure	Powder Coated Steel						ABS	
<b>Standards &amp; Certifications</b>								
Agency Certification	cULus 1449 3rd Edition Listed Type 3							
ANSI/IEEE Category A,B & C	C62.41.1, C62.41.2 & C62.45							
<b>Warranty</b>								
Product Warranty	Lifetime Limited							



Fuente: Catálogo Leviton.p.30.



## CONCLUSIONES

1. La medición de la resistencia de tierra de la instalación, se hace para verificar los valores de la red de tierra, esto de acuerdo a los siguientes métodos: del 62%, de la pendiente o intersección de curvas, la aplicación de cada uno dependerá del espacio físico de la instalación y de la configuración del sistema de tierra que se está midiendo.
2. El equipo con el que se va a realizar la medición de resistencia de tierra tiene que estar calibrado.
3. Las instalaciones aterrizadas tienen menores costos de operación y mantenimiento, facilidad para la detección de fallas ya sea de origen externo o interno, lo cual brinda mayor seguridad a las personas y los equipos.
4. Los conductores son puestos a tierra sólidamente en las instalaciones de baja tensión, para facilitar la operación de los dispositivos de protección.
5. El conductor de tierra del equipo en las instalaciones de baja tensión, debe seleccionarse de acuerdo a la normativa *NFPA 70* sección 250-122.
6. Usar los diferentes tipos de conductor de tierra del equipo de acuerdo a la sección 250-118 del *NFPA 70*.

7. Los niveles cerámicos de la ubicación de la instalación es una información importante para calcular las descargas de rayo a tierra y no sólo colocar el pararrayos ya que con esto aumentará la probabilidad de atracción de rayos a la instalación.
8. El análisis del nivel de riesgo de la instalación se utiliza para evaluar el tipo de protección que necesita la instalación ya sea está externa, interna o de ambas y hay que tomar en cuenta los siguientes factores: coeficiente del medio circundante, coeficiente estructural, contenido de la estructura, ocupación de la estructura y las consecuencias del rayo.
9. Los métodos para la ubicación de los pararrayos en la instalación son: del ángulo, de la esfera rodante y del mallado; para los terminales aéreos o puntas Franklin, para los de cebado tomar en cuenta las instrucciones de instalación del fabricante y cálculo de la altura a la cual debe ubicarse.
10. El sistema de puesta a tierra de la instalación siempre se conecta al sistema de puesta a tierra del pararrayos, para evitar diferencias de potencial que pueden ocasionar explosiones o incendios en las instalaciones.
11. La protección interna de la instalación se especifica de acuerdo al valor de sobretensión que pueda soportar el equipo antes que este pueda sufrir daño y al nivel de exposición de descargas a tierra, donde se ubica la instalación a proteger, según la normativa *IEEE 62.41.1*.
12. La actuación de las protecciones internas se coordina, ya que sólo un protector en el tablero principal no detendrá el transitorio, recordar

siempre que las protecciones internas se instalan lo más cerca del equipo a proteger y que los transitorios internos los producirán la conexión y desconexión de grandes cargas como lo son compresores, elevadores, bancos de capacitores, etc.



## RECOMENDACIONES

1. No mezclar las normas Americanas con las Europeas, ya que son distintos los parámetros exigidos de cada dispositivo de protección y la forma de conexionado del sistema de puesta a tierra.
2. Analizar la instalación eléctrica en forma integral cuando se va a colocar las protecciones externas esto de acuerdo al nivel cerámico de la localidad y para las protecciones internas se debe tener en cuenta las categorías de su ubicación y nivel de exposición, así como la sobretensión que los equipos soportan antes que se dañen y la coordinación dentro de la instalación, ya que sólo un supresor no protegerá a la instalación eléctrica de los fenómenos transitorios externos o internos.
3. Solicitar la información sobre el sistema de puesta a tierra de la instalación, valor de la resistencia de puesta tierra medida.
4. Verificar si existe la conexión neutro – tierra en el tablero principal y sí el calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra es el adecuado.
5. Inspeccionar si existe conexiones entre el neutro y tierra en los subtableros o secundarios y de ser así hay que independizarlos.
6. Verificar si existe el conductor de tierra del equipo y sí el calibre es el correcto. Utilizar también las normativas *NFPA 70* y *780* para la

selección del conductor de tierra del equipo y para la ubicación, instalación y fijación de la protección externa respectivamente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *IEC. Protection against lightning part 1: General principles. IEC 62305-1.* Switzerland : IEC, 2006. 135 p.
2. \_\_\_\_\_. *Protection against lightning part 2: Risk management. IEC 62305-2.* Switzerland : IEC, 2006. 218 p.
3. \_\_\_\_\_. *Protection against lightning part 3: Physical damage to structures and life hazard. IEC 62305-3.* Switzerland: IEC, 2006. 307 p.
4. *IEEE. Guide for direct lightning stroke shielding of substations. Annex G direct lightning stroke protection (informative), chapter 2 lightning stroke phenomena, chapter empirical design methods. IEEE Std 998-1986.* USA: IEEE, 1996. 167 p.
5. \_\_\_\_\_. *Guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution. IEEE Std 1410-2004.* USA: IEEE, 2004. 43 p.
6. \_\_\_\_\_. *Recommended practice for electric power distribution for industrial plants, chapter 6, surge voltage protection: IEEE Red book Std. 141-1993.* USA: IEEE, 1993. 728 p.

7. \_\_\_\_\_. *Recommended practice for grounding of industrial and commercial power system: IEEE Green book Std. 142-2007*. USA: IEEE, 2007. 74 p.
8. \_\_\_\_\_. *Recommended practice on characterization of surge in low voltage (1000 V and less) AC power circuits: IEEE Std. C62.41.2-2002*. USA: IEEE, 2002. 44 p.
9. NFPA. *National electric code. NFPA 70. Section 250 Grounding and bonding, equipment grounding and equipment grounding conductor, section 285 TVSS*. USA: NFPA, 2011. 870 p.
10. \_\_\_\_\_. *Standard for installation of lightning protection system: NFPA 780*. USA: NFPA, 2008. 58 p.

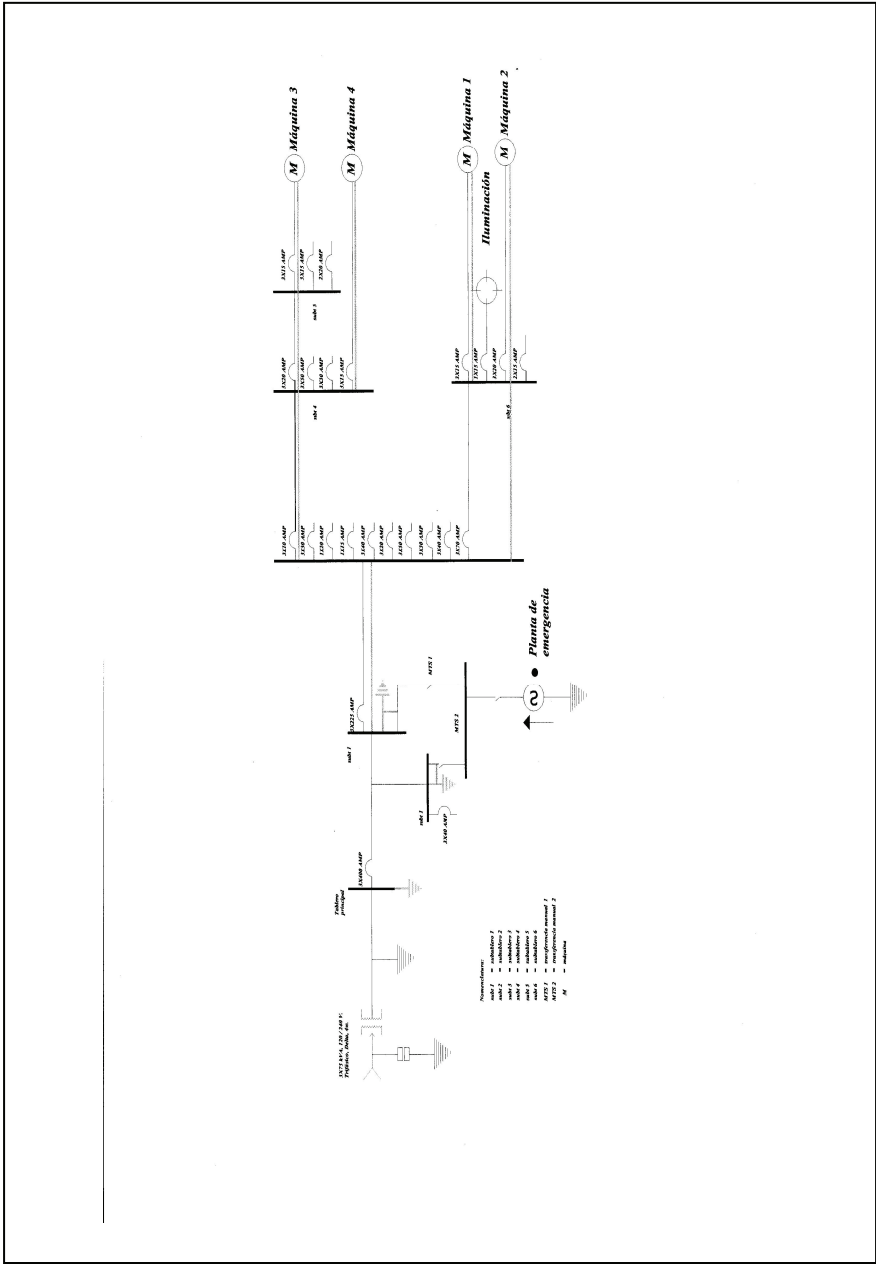
## APÉNDICES

En esta sección están los diagramas unifilares de la instalación eléctrica que se analizó en el capítulo de Readequación de los sistemas de protección, donde se representa como está actualmente la instalación de la finca, desde su punto de conexión de la compañía distribuidora de energía eléctrica, tablero principal, subtableros hasta llegar a las máquinas, ver figura 1. El diagrama unifilar del conexionado del conductor de puesta a tierra del equipo que se propone para el tablero principal y para cada uno de los subtableros que alimentan las máquinas evitando diferencias de potencial que puedan existir en la instalación eléctrica y que se tenga una trayectoria segura, que soporte la corriente de falla de acuerdo a la normativa *NFPA 70*, ver figura 2.

Por último el diagrama unifilar de ubicación de los supresores de transientes que se propone de acuerdo al análisis que se hizo en el tablero principal, subtableros y para la máquina 4 lo que hará un funcionamiento correcto de las protecciones internas y coordinación de las mismas, ver figura 3.

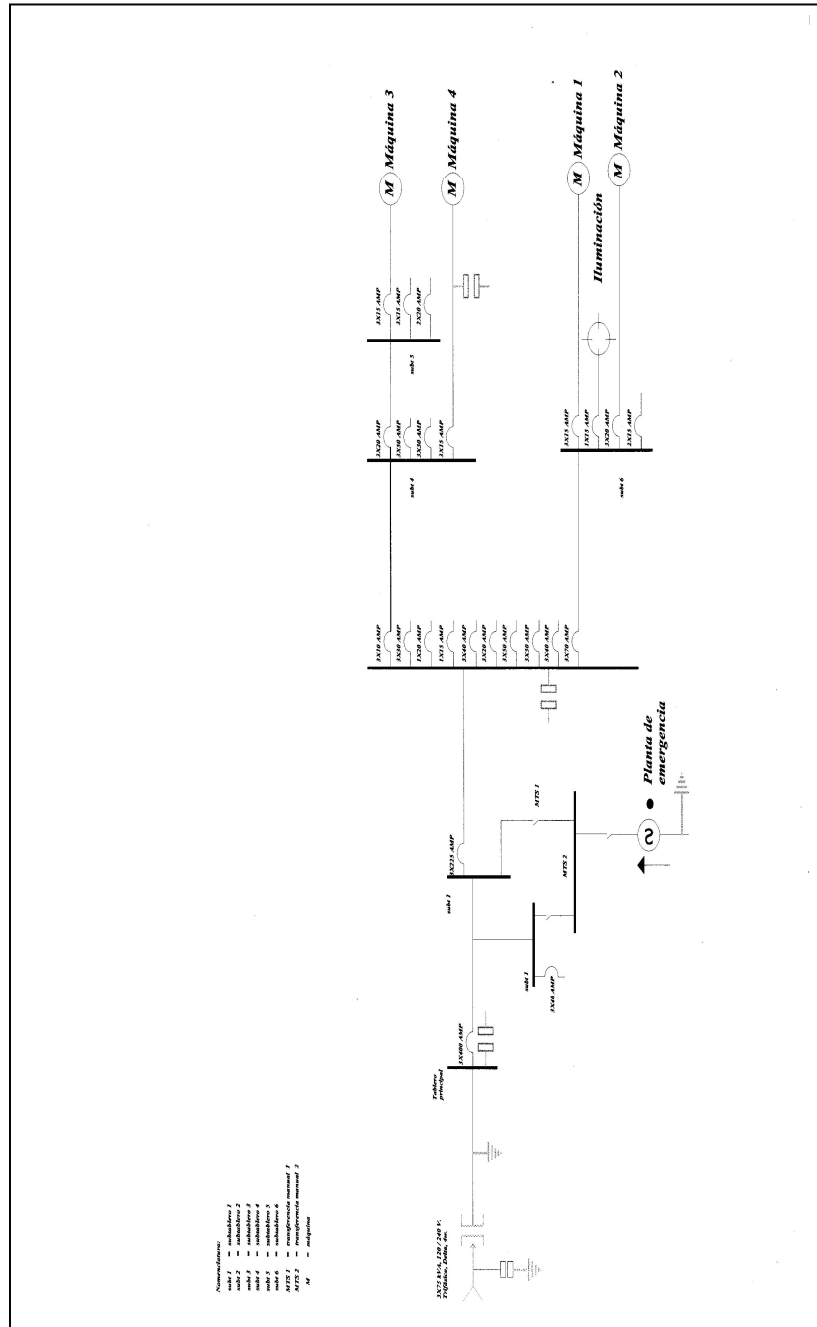


Figura 2. Unifilar de conexionado de puesta a tierra del equipo



Fuente: elaboración propia

Figura 3. Ubicación de supresores de transientes



Fuente: elaboración propia