





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE TIERRAS  
BASADO EN ANÁLISIS DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA  
DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL UBICADO EN  
ZONA 16 DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. JOSÉ PABLO MARROQUÍN VILLATORO**  
ASESORADO POR EL MTRO. ING. MÁYNOR GODOY ARIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, ENERO DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **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:

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE TIERRAS  
BASADO EN ANÁLISIS DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA  
DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL UBICADO EN  
ZONA 16 DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 30 de julio de 2020.

**Ing. José Pablo Marroquín Villatoro**



Facultad de Ingeniería

Decanato  
24189101-  
24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.023.2022

La Decana 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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE TIERRAS BASADO EN ANÁLISIS DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL UBICADO EN ZONA 16 DE GUATEMALA**, presentado por: **José Pablo Marroquín Villatoro**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaoc





**Guatemala, enero de 2022**

LNG.EEP.OI.023.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE TIERRAS BASADO EN ANÁLISIS DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL UBICADO EN ZONA 16 DE GUATEMALA”**

presentado por **José Pablo Marroquín Villatoro** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**







Guatemala 26 de agosto 2021.

**M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Presente**

**M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** titulado: **“PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE TIERRAS BASADO EN ANÁLISIS DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL UBICADO EN ZONA 16 DE GUATEMALA”** del estudiante **Ing. José Pablo Marroquín Villatoro** quien se identifica con número de carné **9712155** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo**  
**Coordinadora**  
**Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**



Guatemala, 26 octubre 2020

Ingeniero Mtro.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12

**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante José Pablo Marroquín Villatoro, carné número 9712155, cuyo título es '**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE TIERRAS BASADO EN ANÁLISIS DE MEDICIONES DE RESISTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL UBICADO EN ZONA 16 DE GUATEMALA**', para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Marroquín Villatoro, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

  
**Máynor Godoy Arias**  
**Ingeniero Electricista**  
**Col. 12,717**  
MSc en Negocios Energéticos  
Asesor



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Fuente de vida y sabiduría.
<b>Mis padres</b>	César Augusto Marroquín Figueroa y Lilian Gracelene Villatoro Morales, por su apoyo incondicional en todo momento.
<b>Mi novia</b>	Sucely Avidail Chacón Arana, por creer en mí.
<b>Mis hermanos</b>	Brenda Marroquín, Mildred Tol, Evelin Chacón, Cesar Marroquín, Daniel Marroquín, Anthony Montufar e Israel Abaj; porque al final sí se pudo.
<b>Mis sobrinos</b>	Pamela Hernández, Flavio Tol, Cristian Abaj y Augusto Hernández; porque ustedes vienen detrás y también lo lograrán.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi <i>alma mater</i>
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Porque sobre ella fomenté mi formación académica
<b>Mi asesor</b>	Mtro. Ing. Máynor Godoy Arias, por su amistad y colaboración en este trabajo.
<b>Revisor</b>	Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez, por su apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo
<b>Compañeros</b>	Rigoberto Sandoval, Luis Águeda y Leonardo Recinos por su apoyo y solidaridad.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XVII
OBJETIVOS.....	XXI
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO .....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Centro comercial .....	1
1.1.1. Descripción del centro comercial .....	2
1.1.2. Evaluación del nivel de riesgo .....	2
1.2. Descargas eléctricas.....	5
1.2.1. Formación del rayo.....	5
1.2.2. Sistema de protección de tierras .....	6
1.2.2.1. Resistividad del suelo.....	6
1.2.2.2. Parámetros del suelo.....	7
1.2.2.3. Medición de la resistividad del suelo .....	9
1.2.2.4. Apantallamiento eléctrico .....	13
1.2.2.4.1. Esfera rodante .....	14
1.2.2.5. Elementos que conforman un sistema de apantallamiento .....	16

1.2.2.5.1.	Elemento protector o captación pararrayo .....	17
1.2.2.5.2.	Conductores o conexiones entre los elementos de captación y las tierras ....	22
1.2.2.5.2.1.	Elección del conductor .....	24
1.2.2.5.2.2.	Conexiones.....	27
1.2.2.6.	Elementos que conforman un sistema de tierras físicas .....	31
1.2.2.6.1.	Electrodos .....	31
1.2.2.6.1.1.	Varilla simple .....	31
1.2.2.6.1.2.	Varillas múltiples.....	33
1.2.2.7.	Determinación del voltaje de toque y de paso .....	37
1.3.	Plan de Mantenimiento del Sistema de protección de Tierras y apantallamiento eléctrico .....	39
1.3.1.	Tipos de mantenimiento.....	39
1.3.1.1.	Mantenimiento correctivo .....	39
1.3.1.1.1.	Reporte.....	40
1.3.1.2.	Mantenimiento predictivo .....	41
1.3.1.3.	Mantenimiento preventivo .....	41
1.3.2.	Necesidad de un plan de mantenimiento.....	42
1.3.2.1.	Beneficios del mantenimiento .....	43
1.3.2.2.	Base de datos en el mantenimiento .....	43
1.3.3.	Mantenimiento al SPT.....	44
1.3.3.1.	Mantenimiento a las características conductivas del suelo.....	44
1.3.3.2.	Buenas prácticas para el mantenimiento de la tierra física.....	45
1.3.4.	Evaluación de gestión y socialización.....	46

2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
2.1.	Información general del comercial.....	51
2.2.	Reconocimiento del área.....	52
2.3.	Adquisición de datos y muestra.....	53
2.4.	Ensayos.....	55
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	59
3.1.	Resultado del análisis de riesgo.....	59
3.2.	Análisis de resistividad del suelo.....	66
3.3.	Zona de protección de pararrayos.....	71
3.4.	Sistema de tierras.....	77
3.5.	Sistema de control de inventario.....	79
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	83
4.1.	Fase de reconocimiento.....	83
4.2.	Análisis de riesgo.....	84
4.3.	Medición de resistividad.....	84
4.4.	Cobertura del pararrayo.....	85
4.5.	Análisis externo.....	86
4.6.	Análisis interno.....	87
4.7.	Socialización.....	88
4.8.	Divulgación.....	88
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES.....	91
	REFERENCIAS.....	93
	APÉNDICES.....	99
	ANEXOS.....	129



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Edificio centro comercial .....	1
2.	Software utilizado para el nivel de riesgo .....	3
3.	Método de Wenner .....	11
4.	Kit de medición de tierras física Fluke .....	12
5.	Método de esferas rodantes .....	15
6.	Apantallamiento con pararrayo .....	16
7.	A. Punta captadora simple; b. Características .....	19
8.	A. Punta captadora múltiple, b. Características .....	19
9.	Pararrayo pdc o dispositivo de cebado y características .....	21
10.	Pararrayo PDCEs .....	22
11.	Abrazadera de fijación .....	23
12.	Tubo de protección de conductores .....	24
13.	Elementos de conexión .....	24
14.	Tipos de abrazaderas .....	28
15.	Elementos para soldadura exotérmica .....	29
16.	Mando a distancia .....	30
17.	Varilla simple .....	32
18.	Constante k1 .....	34
19.	Constante k2 .....	34
20.	Valores de la constante k .....	35
21.	Varillas conectadas en delta .....	36
22.	Distancia media geométrica .....	37
23.	Mapa del comercial .....	52
24.	Calculus, software gratuito para el análisis de riesgo .....	55
25.	Telurómetro utilizado para medición .....	56

26.	Diagrama unifilar del edificio B07 .....	57
27.	Tester de medición de un pararrayo .....	58
28.	Indicador de riesgo para pérdidas humanas .....	64
29.	Indicador de riesgo para pérdidas del servicio público.....	65
30.	Indicador de riesgo para la pérdida del patrimonio cultural .....	65
31.	Indicador de riesgo para pérdidas de valor económico.....	66
32.	Datos de resistividad tomados con el teluometro a un edificio .....	67
33.	Grafica de tendencia de la resistividad del suelo .....	71
34.	Ficha técnica de pararrayo pdc 4.3 de la empresa Ingesco.....	72
35.	Área de protección cubierta por los pararrayos.....	73
36.	Pozo a tierra sin mantenimiento.....	78
37.	Tendencia de la resistividad según la red de tierras .....	79
38.	Formato de código sku para inventario .....	80
39.	Comparativa de acuerdo con el tipo de red de tierra .....	85
40.	Área cubierta por el spcr en porcentaje .....	86

## **TABLAS**

I.	Características y eficiencia del NPR de acuerdo al tipo de estructura y las pérdidas en SPT.....	4
II.	Valores de resistividad del suelo .....	7
III.	Distancia entre conductores bajantes .....	23
IV.	Constantes para materiales conductivos .....	26
V.	Características físicas de los conductores THWN/THHN .....	27
VI.	Corriente eléctrica soportada por el cuerpo humano .....	38
VII.	Fallas adjudicadas a las descargas de un rayo en el periodo de 2,019..	54
VIII.	Análisis de riesgo aplicado a cada construcción.....	61

IX.	Resultados del análisis de riesgo utilizando Calculus (software libre) ...	63
X.	Resistividad del suelo medido a seis edificios elegidos aleatoriamente.	70
XI.	Distribución de pararrayos dentro del comercial .....	74
XII.	Datos de los radios de protección .....	77
XIII.	Resumen del tipo de red de tierras instalada .....	78
XIV.	Control de inventario .....	81
XV.	Tolerancias de riesgo según norma IEC 62305 .....	84
XVI.	Área cubierta por el spcr .....	86



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Ampere
<b><math>\sigma</math></b>	Conductividad
<b>I</b>	Corriente
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>°K</b>	Grado kelvin
<b><math>\Omega</math></b>	Ohm
<b>%</b>	Porcentaje
<b>R</b>	Resistencia eléctrica
<b><math>\rho</math></b>	Resistividad eléctrica
<b>S</b>	Siemens
<b>SPT</b>	Sistema de puesta a tierra
<b>tc</b>	Tiempo crítico
<b>W</b>	Vatio
<b>V</b>	Voltio



## GLOSARIO

<b>Alta tensión</b>	Nivel de tensión superior a sesenta mil (60 000) voltios.
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional de Estándares Americanos.
<b>ASTM</b>	Estándares Americanos de Modelos y Pruebas.
<b>Atenuación</b>	Es la pérdida de la potencia de una señal. La atenuación se incrementa con la frecuencia, la temperatura y el tiempo.
<b>Aterrizamiento</b>	Conector a tierra de sistemas, circuitos o aparatos con el propósito de establecer un circuito de retorno por el suelo y para mantener su potencial al potencial del suelo.
<b>AWG</b>	Estándar Americano de Cables y Alambres.
<b>Baja tensión</b>	Nivel de tensión igual o inferior a mil (1 000) voltios.
<b>Capas concéntricas</b>	Capas que parten o inician del mismo centro.
<b>CFE</b>	La Comisión Federal de Electricidad es una empresa paraestatal, encargada de controlar,

generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en todo el territorio de México.

<b>Conector</b>	Dispositivo que une dos o más conductores con el objeto de suministrar una trayectoria eléctrica continua.
<b>Conexión</b>	Conexión eléctrica entre dos o más puntos, de tal equipotencial forma, que ante el paso de una corriente quedan esencialmente al mismo potencial.
<b>Corriente a tierra</b>	Corriente que fluye hacia o fuera de la tierra o sus equivalentes que sirven como tierra.
<b>Corrientes espurias</b>	También llamadas parásitas y se pueden presentar por diversas causas.
<b>Electrodo artificial</b>	Cuerpo metálico de fabricación especial que puede contener componentes químicos.
<b>Electrolito</b>	Es cualquier sustancia compuesta por iones libre que se comporta como un conductor eléctrico.
<b>Higroscópico</b>	Sustancia capaz de absorber humedad del medio.
<b>Media tensión</b>	Nivel de tensión superior a mil (1,000) voltios, y menor o igual a sesenta mil (60 000) voltios.

<b>CEN</b>	Código que establece las reglas de observancia mínima para la instalación segura de conductores y equipos (Código eléctrico nacional).
<b>Nivel isoceraunico</b>	Se le llama al grado de actividad de las tormentas eléctricas en una región geográfica determinada.
<b>Paramétrico</b>	Perteneciente al parámetro como cualquier dato necesario para hacer su análisis y verificar su situación.
<b>Pararrayos</b>	Dispositivo protector diseñado principalmente para la conexión entre un conductor de una red eléctrica y tierra, a fin de limitar la magnitud de las sobretensiones transitorias en el equipo.
<b>Punto neutro</b>	Nodo o punto común de un sistema trifásico o el punto medio para un sistema monofásico. Puede o no estar conectado a tierra.
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo. Es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloro eteno. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.
<b>Rayo</b>	Es un fenómeno físico que caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes,

en el interior de una nube o de la nube hacia la ionosfera.

**Resistividad**

La resistencia eléctrica (R) es la oposición que presentan los materiales para que fluya la corriente eléctrica a través de ellos.

**Soldadura exotérmica**

es un proceso que consigue la unión molecular de dos o más conductores metálicos mediante una reacción química.

## RESUMEN

La investigación desea cubrir objetivos importantes; como analizar el nivel de riesgo que posee una edificación al estar expuesta a descargas eléctricas producidas por la naturaleza que son muy difíciles de prever, describir el estado actual de variables eléctricas que son indicios de un bueno o mal sistema de protección y establecer el funcionamiento de un sistema de gestión de mantenimiento de la protección contra rayos.

El problema que motivó la realización de la investigación radica en la cantidad de fallas reportadas a mantenimiento, las fallas ameritan un análisis por causar daño a equipos un alto grado de sensibilidad como tarjetas electrónicas. Además, verificar su procedencia y el sistema destinado a su protección como la protección ante descargas eléctricas.

Efectuar el análisis del estado actual de los aspectos físicos que interactúan para canalizar una descarga al momento del choque eléctrico producido durante una tormenta permitirá el tipo de respuesta ante un evento el cual resultará como satisfactorio o como fallo.

Los comerciales están en el nivel tres dentro del rango de protecciones, con apoyo de herramientas se analizará la importancia que poseen los edificios para una posible implementación de un sistema de protección. Para la realización del estudio se aplicarán ensayos no destructivos; se medirá la resistividad del suelo para establecer si su valor es el óptimo, se observará el estado actual de los pararrayos y electrodos para verificar la capacidad de drenar las corrientes de fallas, se inspeccionará el estado actual de los conductores y por último se

recolectarán datos que permitan mejorar la gestión y control de prácticas de mantenimiento.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS**

Un mal mantenimiento del sistema de protección de tierras degrada la calidad de respuesta ante un evento de fallo eléctrico por descarga atmosférica o de maniobra exponiendo el patrimonio activo del comercial.

### Descripción del problema

El problema es un sistema de protección de un sistema de tierras mal diseñadas, provocando diferencias de tensión en fases, neutros y tierras; mala configuración del cero lógico; se puede evidenciar en la existencia de tensión en las estructuras metálicas que soportan a los equipos, provocando que los sistemas de control (PLC, procesadores, tarjetas inteligentes) fallen afectando los procesos que deben efectuar. El mal diseño también produce disparos producidos por las protecciones eléctricas de motores que controlan servomecanismos. Se puede mencionar el deterioro de la instalación física producida por la corrosión en cables, malos ajustes en los contactos e instalaciones mal ubicadas; son algunas de las irregularidades que se han manifestado en el departamento en un periodo de tiempo muy corto.

## Delimitación del problema

Las anomalías en la instalación provocadas por las condiciones medio ambientales son aleatorias (probabilísticas), se intensifican según la región; las inspecciones deben realizarse según ese margen probabilístico o en lapsos de seis meses a un año. El problema inicia con la falta de información de un plan de mantenimiento preventivo del sistema de tierras basado en el análisis de mediciones de resistividad y apantallamiento eléctrico y la realidad es que a pesar del desconocimiento y la falta de un proceso de supervisión del sistema de puesta a tierra debería existir en los procedimientos un manual, normas, políticas o plan de mantenimiento que determine el seguimiento a las áreas que pudiese ocasionar estos fallos, como lo es el sistema de tierras físicas.

## Formulación de preguntas orientadoras

Las siguientes preguntas orientarán sobre el camino racional y ordenado a seguir en el proceso de la investigación.

## Pregunta central

¿Cómo el mantenimiento preventivo del sistema de tierras basado en análisis de mediciones de resistividad y protección contra descargas eléctricas atmosféricas mejorará la protección ante un evento de falla en un centro comercial?

## Preguntas auxiliares

- ¿Qué valores de resistividad y dimensionamiento eléctrico posee el sistema de tierra física utilizado como de protección de descarga instalada en el centro comercial?
- ¿Cuáles son las deficiencias que presenta el sistema de protección de tierras y descargas atmosféricas hasta la fecha en que se realizó la investigación?
- ¿Cómo poder corregir el deterioro en el sistema de tierras físicas y descargas atmosféricas causados por aspectos climáticos?
- ¿Cómo apoyar para agilizar la gestión de las tareas de mantenimiento que ayuden a reducir la cantidad de fallas reportadas al departamento?



## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer un plan de mantenimiento preventivo del sistema de tierras basado en análisis de mediciones de resistividad y protección contra descargas eléctricas atmosféricas en un centro comercial ubicado en zona 16 de Guatemala.

### **Específicos**

- Identificar los valores de resistividad y dimensionamiento eléctrico que posee el sistema de tierra física utilizado como protección de descarga, instalada en el centro comercial.
- Encontrar las deficiencias que presenta el sistema de protección de tierras y descargas atmosféricas hasta la fecha en que se realizó la investigación.
- Incorporar a las tareas de mantenimiento actividades que permitan corregir el deterioro en el sistema de tierras físicas y descargas atmosféricas causadas por factores climáticos.
- Desarrollar actividades que promulguen la importancia de los sistema de tierras y pararrayos entre departamentos para agilizar la gestión de las tareas de mantenimiento y así reducir las fallas presentadas.



## RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

Dado el objetivo del estudio, la investigación es considerada de tipo descriptivo; para representar un panorama actual se muestrearán ciertos parámetros eléctricos como la resistividad del suelo, elementos utilizados para la captación de descargas atmosféricas, tierras físicas instaladas e información de gestión; efectuando mediciones de resistividad y funcionalidad para ser comparadas con valores normalizados y publicados en diversas normas para evaluar la funcionalidad de respuesta eléctrica y su condición física ante un eventual suceso.

La investigación está enfocada en el sistema de protección que protege los activos contra rayos o descargas atmosféricas que afectan a un centro comercial, las protecciones se consideran sistemas aislados porque no existe interconexión entre cada edificio y aunque el área de estudio cubre todo el comercial, no todas las construcciones cuentan con la protección contra rayos; los edificios aledaños al punto donde está ubicado un pararrayos son beneficiados con la protección. El centro comercial está ubicado en zona 16 del departamento de Guatemala. El centro comercial inició su construcción en el año 2010, aun se sigue expandiendo con más comercio.

Evaluar los parámetros eléctricos del terreno, continuidad de los conductores y las condiciones de las puntas captadoras es importante para definir la funcionalidad de todo el sistema que protege contra el fenómeno de descargas eléctricas. Respaldándonos en el estudio realizado a través de las mediciones efectuadas en diferentes puntos nos permiten modelar las características de interés. Las mediciones se realizaron utilizando el equipo

especial y específico de terceros que colaboraron con el proyecto y validado por un encargado asignado con amplio conocimiento del área.

Por ser un comercial de dimensiones muy amplias se delimitó el estudio específicamente a los puntos de interés, tomando muestras y generalizando para toda el área, descartando un estudio profundo de suelos y guiándonos por manuales del fabricante ya que existen pruebas aplicados a los pararrayos que son de alta tensión y el comercial no cuenta con el equipo necesario para realizarlo. El muestreo fue realizado por el investigador, así como la tabulación y ordenamiento de datos para efectuar un análisis estadístico y representarlo a través de gráficos.

Se tomaron muestras en edificios seleccionados aleatoriamente y que tuvieran fácil acceso a la capa del suelo para no agujerear el concreto, se realizaron seis mediciones de resistividad a seis edificios; cuatro de ellos no contaban con tierra física, uno de ellos poseía varilla de tres metros y uno de ellos un arreglo en delta de tres electrodos. Además, de los siete pararrayos instalados se realizó la medición a dos de ellos para comprobar su funcionalidad, se evidenció corrosión de bajo nivel, pero existente (se realizó ensayo no destructivo de observación directa a las piezas); los conductores de bajada se encuentran dentro de las edificaciones de no fácil acceso para su observación.

La información recolectada por medio de las mediciones realizadas por un telurómetro para la resistividad del suelo, un *tester* especial para comprobar la funcionalidad de los pararrayos y un medidor de continuidad generaron el historial de información.

Se diseñaron gráficos para presentar los resultados del estudio, gráfico de barras, gráficos circulares, gráficos de sucesión estableciendo un *set point*

basado en valores de normas que aplican al estudio de los sistemas de protección contra rayos como la IEC 62305-2, NFC 17103, IEEE std 81 entre otras y que permitieron obtener algunas conclusiones. Para obtener los datos que nos permitirá efectuar un análisis se utilizará el método de Wenner

La metodología utilizada para la investigación se estableció en las fases siguientes: inspección del área del comercial; análisis del nivel de riesgo que determinen la importancia del estudio; análisis de ensayos no destructivos como inspección visual y mediciones de suelo y dispositivos captadores.

De la fase inicial se establecieron las delimitaciones del proyecto, se intercambió información y se proporcionaron las normas, se establecieron los edificios que poseían pararrayos y red de tierras y se mencionaron las fallas que se adjudicaron a descargas atmosféricas.

En la segunda fase se realizó un estudio utilizando un software (gratis) que evalúa todos los parámetros de obra civil para considerar el nivel de riesgo contra descargas de rayo y se evidencio la importancia y necesidad que poseen algunas edificaciones para implementar un sistema que los proteja ante estos sucesos naturales.

La última fase evidenció el estado actual de las protecciones y permitió establecer las mejoras que se le pueden adjudicar para mejoramiento a la red de protecciones con las que cuenta el comercial.



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación es una innovación para el diseño de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a un sistema de tierras físicas y apantallamiento de un centro comercial.

Las empresas se equiparán con personal y tecnología específica aplicada a cada giro del negocio; cada elemento con diferentes características y sensibilidades eléctricas, y cada uno también posee un valor tanto económico como funcional. Los métodos y dispositivos que los protegen también se actualizan. Ambas áreas son parte del patrimonio de una empresa, es allí donde radica la importancia de poseer prácticas, mentalidad y políticas para protegerlo; las descargas eléctricas por fallos, por maniobra o por fenómenos atmosféricos están latentes y son aleatorios. El mantenimiento y la funcionalidad de un sistema de protección de tierras y apantallamiento eléctrico son importante porque ayuda a mitigar o erradicar daños provocados por estos eventos, cuando acontecieren.

Las descargas atmosféricas (fenómeno natural), fallos por mal manejo de los equipos o dispositivos, los errores humanos no son eventos predecibles; suceden cuando menos se contemplan. La falta de una cultura de buenas prácticas de mantenimiento al sistema de tierras físicas, por la creencia que son invulnerables por estar diseñados para permanecer enterrados o asumir que la probabilidad de fallo es casi nula; es un calificativo totalmente erróneo. La falla en su momento provocara paros innecesarios, tiempos muertos en la generación de ingresos a cada local, costos de reparación.

El sistema de protección no evita que se produzcan descargas eléctricas, pero brindan un medio de rápida fluidez ante la ocurrencia de una de ellas. Por lo tanto, enfocados en la importancia que ellos poseen en la industria, es una buena práctica diseñar un programa de mantenimiento, debido a que todos los dispositivos que conforman el sistema de tierras están expuestos a condiciones atmosféricas extremas (agua, sol, viento) que producen tensiones y golpes mecánicos, corrosión, descargas eléctricas, fallas eléctricas, entre otros; eventos que ocasionan la mala operatividad del sistema (de resistividad principalmente).

El aporte de del presente trabajo de investigación consiste en definir procedimientos adecuados para realizar cambios en las políticas de mantenimiento, con el fin de minimizar actividades innecesarias que consuman recursos y reducir la probabilidad de daños al momento de acontecer un evento de fallo, y con la implementación de un plan de mantenimiento mejorar la respuesta del sistema de protección.

El esquema de solución de desarrollar identificando las actividades necesarias que permiten mantener el sistema de protección de tierras físicas y apantallamiento en condiciones de responder con rapidez ante una falla; ordenando las actividades, creando una visión unificada de la importancia de protección.

En el capítulo I se presenta el marco teórico. Se hará la descripción de los conceptos involucrados en el proceso de un proyecto de sistema de tierras; los conceptos de la formación natural de un rayo (descarga atmosférica), el elemento de captación del rayo (elección del mejor método), su trayecto por los conductores bajantes (elección del tipo de conductor), configuración del circuito

de tierra ( $\Delta$ ), elementos naturales como la resistividad del suelo (como mejorar sus características eléctricas), aspectos importantes de gestión como el mantenimiento físico y administrativo.

En el capítulo II se describe el proceso del desarrollo de la investigación, exponiendo las normas que regirán en el transcurso del recorrido como se llevara a cabo la investigación e informando los detalles que se abordarán como datos y mediciones.

En el capítulo III se presentarán los resultados obtenidos por medio del trabajo de investigación. Se presentarán los datos obtenidos de las mediciones, ordenadas y tabuladas para su fácil comprensión y análisis que permitan mejorar los datos que le preceden.

En el capítulo IV se hará la discusión de resultados, se hará mención si la investigación amerita otros temas de investigación y si los datos se pueden generalizar a otros ambientes.



# 1. MARCO TEÓRICO

Se realizará un análisis del nivel de riesgo para determinar si los parámetros eléctricos se encuentran dentro del renglón de lo permisible.

## 1.1. Centro comercial

Se seleccionaron edificios de un centro comercial zona 16 para implementar el plan de mantenimiento al sistema de protección, estos edificios cuentan con oficinas y locales comerciales que cuentan equipo sensible ante descargas, sistemas de aires condicionados, equipos de telecomunicación y equipo médico, por lo que el sistema de protección además de proteger a los usuarios también lo hará a la infraestructura.

Figura 1. **Edificio centro comercial**



Fuente: Darién (2018). *Ciudad de Cayalá*. Consultado el 22 de julio de 2020. Recuperado de <https://arquitectopana.com/2014/08/11/bienvenidos-a-ciudad-cayala7>

### **1.1.1. Descripción del centro comercial**

El centro comercial es un complejo que se encuentra formado por varios inmuebles de gran envergadura, en su interior se encuentran instaladas oficinas de comercio, tiendas de conveniencia, restaurantes, laboratorios industriales; cuentan con servicio de suministro eléctrico, aire acondicionado, telecomunicaciones, servicios de gas, generadores propios y todo debidamente intercomunicado.

### **1.1.2. Evaluación del nivel de riesgo**

Apolo (2008), en su tesis de grado *Aplicación de métodos de control para evitar contactos eléctricos directos e indirectos en tableros de distribución de baja tensión* redacta sobre la importancia de una herramienta de análisis que nos permite estimar el nivel de riesgo latente en el comercial; determinando los riesgos que se pueden evitar y los que no. Esta herramienta de análisis nos permite determinar de manera apropiada las medidas a tomar.

Si al momento de una falla eléctrica se pudiera calcular los costos de manera determinista y que el monto fuese constante, los resultados del análisis se incorporarían al presupuesto y sería parte del tratamiento económico.

La definición de riesgo la determina el daño ocasionado por el porcentaje de probabilidad de que ocurriese (fórmula 1).

$$\text{Riesgo} = \text{Daño} * \text{Probabilidad} \quad [1]$$

Apolo (2008) en su tesis cita que la fórmula se puede extraer un dato no real, pero permite tener un enfoque en cuanto al comportamiento o a la necesidad del nivel de protección que se necesita. Siempre el primer objetivo de toda protección es resguardar la integridad física de los usuarios en un centro comercial, habrá otros aspectos no menos importantes que definan el costo-beneficio de la inversión o los bienes involucrados al momento de hacer un análisis de riesgo eléctrico.

Para realizar un análisis de riesgo eléctrico se necesitan resultados con la mayor exactitud posible por el argumento citado en el párrafo anterior, para los fines de este documento se utilizará un software Calculus (software online gratuito propietario Ingesco, protección contra rayos y las sobre tensiones). El software que empleado (figura 2) como herramienta indicara los niveles de protección utilizando varios parámetros de las instalaciones.

Figura 2. **Software utilizado para el nivel de riesgo**



Este software de INGESCO es una herramienta para realizar el cálculo del nivel de protección contra el rayo según las normativas IEC 62.305-2, UNE 26.186:2011, NFC 17.102:2011.

Calculus es una herramienta gratuita que permite la generación de un informe PDF descargable con el sistema.  
Si quieres modificar o recuperar un proyecto realizado, inicie sesión.

Fuente: Ingesco (2002). *Análisis de Riesgo*. Consultado el 23 de julio de 2020. Recuperado de <http://www.ingesco.com/software/>

El análisis donde se evaluará el nivel de riesgo está conformado por las siguientes etapas:

Valor del tipo de riesgo: después de realizar el análisis y compararlo con el nivel de riesgo permisible, si no es tolerable se tomará la acción pertinente.

Nivel de riesgo: su análisis se efectúa con todos los parámetros que involucran a las corrientes del rayo, con la ubicación geográfica se determina el nivel cerámico y la probabilidad de descargas atmosféricas. Para el proyecto en el comercial se utilizará el nivel IV según se define en la tabla I.

**Tabla I. Características y eficiencia del NPR de acuerdo con el tipo de estructura y las pérdidas en SPT**

<b>NPR</b>	<b>ESTRUCTURA</b>	<b>TIPO DE PERDIDA</b>	<b>PRIORIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>(E)<sup>10</sup> EN UN SPT</b>
<b>I</b>	Hospitales, clínicas de reposo, escuelas	Humanas	Alto	Nivel cerámico elevado. Gran concentración de personas.	0.95<E<0.98
		Servicios esenciales	Alto		
		Culturales	Bajo		
		Económicas	Alto		
	Plantas de servicios públicos.	Humanas	Bajo	Riesgo elevado de pérdidas humanas.	
		Servicios esenciales	Alto	No admite fallas en los servicios esenciales.	
		Culturales	Bajo		
		Económicas	Alto		
<b>II</b>	Hogares	Humanas	Alto		Nivel cerámico medio. Riesgo Elevado de pérdidas humanas.
		Servicios esenciales	Medio		
		Culturales	Bajo		
		Económicas	Medio		
	Teatros, hoteles, almacenes grandes, áreas deportivas, prisiones.	Humanas	Alto	Admite fallas en los servicios esenciales.	
		Servicios esenciales	Medio		
		Culturales	Bajo		
		Económicas	Medio		

Continuación de la tabla I.

III	Bancos, compañías de seguros, centros comerciales.	Humanas	Alto	Nivel cerámico bajo o tolerable.	0.8<E<0.9
		Servicios esenciales	Medio		
		Culturales	Bajo		
		Económicas	Medio		
IV	Museos y sitios arqueológicos, patrimonios históricos, iglesias.	Humanas	Alto	Riesgo medio o bajo de pérdidas humanas.	0<E<0.8
		Servicios esenciales	Bajo	Admite fallas en los servicios esenciales.	
		Culturales	Alto		
		Económicas	Alto		

Fuente: Pulido (2011). *Proyecto de grado protección contra rayos*. Consultado el 27 de julio de 2020. Recuperado de <http://bibliotecadigital.udea.co/handle/10495/1724>

Estudio del peligro: Es el estudio de los posibles tipos de fallos que se puede suscitar y el análisis sobre las condiciones de riesgo en las que se encuentran tanto las personas como los equipos.

## 1.2. Descargas eléctricas

Una descarga eléctrica es cuando un objeto o cuerpo interviene en la circulación de la corriente cerrando el circuito.

### 1.2.1. Formación del rayo

Torres-Sánchez (2010), indica en sus notas que los líquidos que se encuentran sobre la superficie terrestre se evaporan debido al calentamiento del suelo, esto produce que partículas de agua se eleven. A un intervalo de altura entre 2.6 y 3 kilómetros sobre el suelo donde se alcanza un intervalo de temperatura entre 10 °C y 20 °C y se produce un congelamiento de las moléculas de agua dentro de la nube, estas comenzaran a descender creando una colisión

con las moléculas de agua (vapor) que van en ascenso produciendo una disociación de cargas eléctricas. Dentro de la nube hay una aglomeración de cargas positivas en la parte superior de la nube y otra de cargas negativas en la parte inferior, las cargas negativas aglomeradas en la parte inferior interaccionan con las cargas positivas de la superficie terrestre creando un campo eléctrico capaz de romper la rigidez dieléctrica; a este fenómeno denominamos rayo.

Los rayos más comunes producidos en la atmósfera son de nube a nube, entre nubes, de nube a tierra, de tierra a nube y de nube a la ionosfera.

El más conocido es el producido de nube a tierra y el que puede producir más daño a las instalaciones; la tierra en su superficie se carga con partículas negativas; cuando las cargas son elevadas producen un campo eléctrico capaz de ionizar el aire o espacio entre la nube y la tierra, al llegar a nivel capaz de romper la rigidez dieléctrica del aire se produce un haz de electrones con la capacidad de emitir un destello de luz llamado *relámpago* y el estruendo de una onda viajera de audio llamado *trueno*.

## **1.2.2. Sistema de protección de tierras**

La tierra física es un sistema directamente relacionado a la instalación eléctrica, que protege o proporciona seguridad ante una descarga eléctrica. El sistema de tierra física está constituido por:

### **1.2.2.1. Resistividad del suelo**

Villegas (1991), expresa que “la resistividad es la oposición de los materiales al flujo de corriente eléctrica” (p.554). Monroy (2012), expone “Al

realzar mediciones de resistividad en el suelo y de resistencia en la malla de tierra, es necesario tomar en cuenta las condiciones climatológicas” (p. 87). La resistividad deberá ser de un valor bajo (menor a  $25\Omega$ ) y varía geológicamente según su ubicación geográfica.

Para Ruelsa (2001), esta variación está determinada por:

- Composición del terreno
- Compactación
- Granulometría del suelo
- Humedad
- Estratigrafía
- Sales soluble
- Temperatura

#### 1.2.2.2. Parámetros del suelo

Composición del suelo: la resistividad del terreno varía según la naturaleza de su composición. Se podrá observar algunos valores en la tabla I.

Tabla II. Valores de resistividad del suelo

Material	Resistividad (kilo ohm*m)
Arena	0.5 – 1.5
Arcilla, limo saturado	0 – 0.1
Arena arcillosa	0.2 – 0.5
Grava	1.5 - 4

Continuación de la tabla II.

Roca intemperada	1.5 – 2.5
Roca sana	5 o mayor
permafrost	3.5 - 4
Asfalto Seco	2000 - 30000
Asfalto Mojado	10 – 6000
Concreto Seco	1.2 – 28
Concreto Mojado	0.021 – 0.1
Compuesto GAP Seco	0.000032
Compuesto GAP con 30% de agua en masa	0.000015

Fuente: Hood (2016). *Blog del Ingeniero Civil*. Consultado el 29 de julio de 2020. Recuperado de <http://ingenieriaciviltips.blogspot.com/search/label/suelos/>

**Compactación:** es aconsejable colocar los electrodos en áreas don existe una mayor compactación del terreno, porque la resistividad disminuyo conforme se eleva la compactación de la tierra.

**Granulometría del suelo:** para Ruelsa (2001), es el análisis del tamaño de los elementos que conforman un material, permite el cálculo de porosidad y absorción de humedad; estos parámetros determinan el valor resistivo de la capa del terreno al contacto con los electrodos.

**Humedad:** para Ruelsa (2001), es la relación que posee la humedad con la cantidad de agua contenida, dada en porcentaje (%). Esta relación varía con la época del año, el clima, el nivel freático y la profundidad. La humedad ayuda a la conductividad eléctrica disminuyendo la resistividad, pero existe un valor donde la resistividad ya no puede descender y mantiene su valor. Para valores

donde el índice de humedad en el suelo es cero, se dice que el diseño no es viable porque el valor de resistividad es muy elevado y no hay manera de conducción de la descarga.

Estratigrafía: para Ruelsa (2001), es el estudio de la superposición de capas o estratos de la tierra, cada capa posee características distintas que pueden ser alteradas con la ayuda de electrodos.

Sales Solubles: para Ruelsa (2001), la resistividad de los suelos se puede medir de acuerdo con las sustancias con ion es libres en su estructura (electrolítico), causados por los minerales, las sales y la humedad. Entre mayor sea la solución (mayor de 1 % por peso) la resistividad permanece constante, pero, para valores menores la resistividad aumenta.

Temperatura: la temperatura provoca una reacción eléctrica a la resistividad del suelo debido a los compuestos químicos con los que se compone.

### **1.2.2.3. Medición de la resistividad del suelo**

Villegas (1991), indica que para modelar matemáticamente las características eléctricas del suelo se empleara el método más utilizado, método de Wenner, pero no el único (p. 556).

El método de Wenner consiste en clavar cuatro varillas (electrodos) de manera equidistante espaciadas a una distancia  $a$  y una profundidad  $b$ , como se indica en la figura 3. Los electrodos externos  $c_1$  y  $c_2$  son conectados a una fuente de corriente  $I$ . En los electrodos internos  $b_1$  y  $b_2$  es medida la diferencia de potencial  $V$  provocada por la corriente  $I$ . La resistencia es el cociente de  $V$  e  $I$ . La resistividad es calculada con la siguiente fórmula 2:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad [2]$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad del suelo, en  $\Omega \cdot m$

$a$  = Distancia entre electrodos, en m

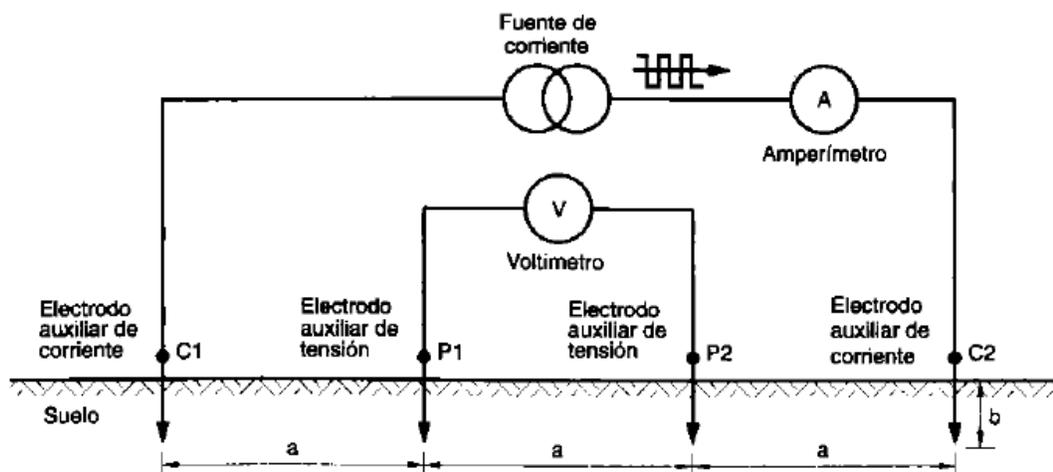
$R$  = Resistencia obtenida en la medición, en  $\Omega$

$b$  = Profundidad a la que es enterrada, en m

Si  $b$  es menor que  $a/20$ , la fórmula 2 se convierte en la fórmula 3.

$$\rho = 2\pi a R \quad [3]$$

Figura 3. Método de Wenner



Fuente: Villegas (1991). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*. Consultado el 30 de julio de 2020. Recuperado de [https://www.academia.edu/34461032/Subestalta\\_ext\\_alta\\_tension\\_carlos\\_f\\_elipe\\_ramirez\\_mejia\\_villegas](https://www.academia.edu/34461032/Subestalta_ext_alta_tension_carlos_f_elipe_ramirez_mejia_villegas).

Villegas (1991), indica que:

Cuando se aplica este método se recomienda realizar varias mediciones por el inconveniente que presenta la heterogeneidad de la tierra; comenzando con valores donde la profundidad  $b$  es igual al distanciamiento  $a$ , modificando el valor de  $a$  a: 2m, 4m, 8m y 16m, además de 24m y 32m para diseños de mayor envergadura. De esta manera se podrá construir curvas de resistividad  $\rho$  en función de  $a$  (p. 557).

Inga (2010), expresa que “la necesidad de modificar la resistividad si los parámetros obtenidos fuesen mayores a los requeridos; se lograría utilizando electrodos electrolíticos o preparando la tierra con una composición de sales minerales que canalizan mejor la descarga eléctrica a través del medio físico”

(p. 38). A continuación, se muestra un kit básico de medición de tierras física de cuatro polos figura 4.

Figura 4. **Kit de medición de tierras física Fluke**



Fuente: Fluitronic (2010). *Instrumentos de medición*. Consultado el 3 de agosto de 2020.  
Recuperado de <https://www.futronic-tech.com/equipmment/>

Villegas (1991) indica en su investigación que “un sistema de tierras deberá ser diseñado de tal manera que no ponga en riesgo la integridad de la instalación, las personas y de los equipos bajo condiciones normales y de falla y para asegurar la continuidad del servicio” (p. 549). Para un diseño que satisfaga estas condiciones es necesario el uso de ciertos modelos matemáticos como la fórmula del cálculo de resistencia de Sverak (fórmula 4), siendo la más sencilla y con una gran precisión.

$$R_G = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad [4]$$

Donde:

- $\rho$ : Constante de resistividad suelo.
- L: longitud de conductor.
- A: área cubierta por la malla de tierra.
- h: profundidad de la malla de tierra.

Vignolo (2011) indica que la resistencia de la malla de tierra está definida por la fórmula de Sverak, “si la analizamos notaremos que para valores muy grandes de profundidad h la resistencia permanece constante” (p. 22). En cambio, la resistencia de la malla es directamente proporcional al área.

#### 1.2.2.4. Apantallamiento eléctrico

Suntasig (2002), cita en la investigación “Los sistemas eléctricos, maquinarias, herramientas y personal que se encuentran a la intemperie y están permanentemente expuestos a la acción de las descargas atmosféricas” (p. 23); la descarga más común es conocida como rayo, el apantallamiento eléctrico es un sistema de protección clásico, se deberá realizar con mástil, hilo de guarda o con dispositivos electrónicos como se realiza en la actualidad y no es más que colocar estratégicamente ciertos dispositivos en posiciones geográficos donde sean capaces de proteger ante una descarga atmosférica.

Como una buena práctica para el análisis de respuesta de un sistema de tierras y apantallamiento eléctrico es prescindible conocer aspectos sobre la formación probabilística de un rayo en la atmósfera y como conducir su descarga, el método de apantallamiento a utilizar en respuesta a este fenómeno y su impacto en la infraestructura, elegir el diseño que más se adecue al índice de formaciones de rayo según el mapa isocerámico (ver anexo 1).

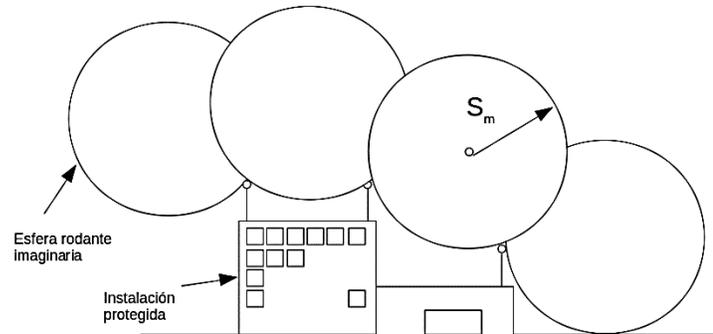
Monroy (2012), aconseja “dedicarle tiempo y recursos para elegir el método de apantallamiento que satisfaga la necesidad de proteger la inversión y a los usuarios finales” (p.67).

#### **1.2.2.4.1. Esfera rodante**

Es un método diseñado para proteger equipo e instalaciones, colocando en puntos claves ciertas terminales para que sean más atractivas al rayo. Esto se logra calculando la llamada zona de descarga de un rayo.

La zona de descarga es el volumen de una esfera de radio  $S_m$  que no es más que la longitud entre la terminal de apantallamiento o dispositivo de captación con el rayo. La esfera simboliza la cobertura de protección que proporciona un sistema de apantallamiento a una instalación al momento de producirse una descarga de rayo como lo muestra la figura 5, los objetos a proteger serán tangentes al contorno de la esfera; lo que se encuentre únicamente por debajo del área será protegido.

Figura 5. Método de esferas rodantes



Fuente: elaboración propia.

Un alto porcentaje de industrias eligen este método para implementar dentro de sus instalaciones, el método de esferas rodante o electro geométrico.

Distancia de descarga crítica: la distancia crítica de descarga está relacionada de manera geométrica con un punto equidistante a la zona de impacto de un rayo y los elementos de protección (puntas de franklin o pararrayos PDC), esta distancia representa el radio de una circunferencia imaginaria entre la zona de descarga y las protecciones.

La distancia crítica está dada por:

$$S_m = 8K I_c^{0.65} b, \text{ m} \quad [5]$$

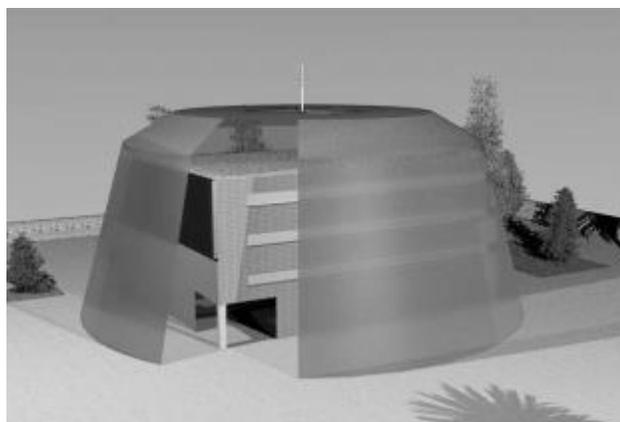
Donde:

$I_c$ : corriente crítica de flameo, kA

$K$ : coeficiente de distancia (1.2 para punta de franklin y pararrayos)

El dispositivo que tiene la responsabilidad de proteger el área es el mástil, hilo de guarda o el pararrayo y el área que cubre es proporcional a su altura; la captura de un rayo por el pararrayo depende de su altura y esta a su vez se relaciona con la probabilidad de ocurrencia de este, pero también se corre la suerte de que por estar muy alto no se pueda interceptar el rayo, este margen probabilístico se denomina *falla de apantallamiento*. Además, un diseño real de apantallamiento no puede ser muy elevado porque resultan no viable y de costos muy elevados (ver figura 6).

Figura 6. **Apantallamiento con pararrayo**



Fuente: Ingesco (1991). *Pararrayo PDC*. Consultado el 5 de agosto de 2020. Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/producto/proteccion-externa-pararrayos/>

#### **1.2.2.5. Elementos que conforman un sistema de apantallamiento**

Suntasig (2002) indica “Los elementos instalados a la intemperie, junto con el personal y los equipos, localizados en los predios son los elementos más expuestos a un ataque directo del rayo” (p. 25), es allí donde radica la importancia

de una buena elección del método de apantallamiento para conducir correctamente la descarga a tierra.

En la instalación del edificio el sistema de protección de rayo consta de tres elementos:

- Elemento protector ante descargas atmosféricas.
- Conductores, conexiones entre los elementos de captación y las tierras.
- Tierras físicas.

Estos elementos son básicos.

#### **1.2.2.5.1. Elemento protector o captación pararrayo**

El elemento de captación de canalizar la descarga de los rayos hacia tierra y proteger las áreas más vulnerables de la instalación.

Villegas (1991) define a los elementos protectores o pararrayos como los dispositivos encargados de proteger ante una descarga atmosférica. “Anteriormente eran fabricados con descargadores y resistencias no lineales de carburo de silicio (SiC), posteriormente se fabricaron sin descargadores y resistencias no lineales de óxido de zinc (ZnO)” (p. 310).

Las normas técnicas que aplican a un pararrayo son:

- IEC 60099-4
- IEC 60099-5
- IEEE Std C62.1

- IEEE Std C62.2
- IEEE Std C62.11
- IEEE Std C62.22

Los elementos de captación pueden ser:

- Punta tipo franklin
- Pararrayos PDC
- Pararrayos PDCE
- Cables colgantes

Punta tipo franklin:

Los pararrayos Franklin, en honor al norteamericano que lo descubriera y que lleva el mismo nombre Benjamín Franklin en 1753; de forma cónica, tienen una terminal puntiaguda bien definida verticalmente. Existen en versión cobre niquelado cromado y en acero inoxidable; su longitud estándar es de 2,40 m y puede ser extendida adhiriendo elementos en acero tratado o acero inoxidable. Estos conjuntos no necesitan estar tensionados por cables y pueden alcanzar alturas de hasta 7 a 8 metros. La extremidad de los pararrayos Franklin tiene una punta llena en bronce marino o inoxidable (Pérez, 2016, p. 13).

Estas terminales de captación funcionan bajo el principio, todo material conductor con una terminal puntiaguda tiende a almacenar grandes cantidades de carga en la punta creando un campo que ioniza el aire proporcional a la cantidad de carga almacenada. El aire al estar ionizado presenta una mejor conductividad provocando que el rayo encuentre menor oposición por esa área.

Las puntas de franklin son de fabricación simple (figura 7) como podemos observar en las siguientes figuras.

Figura 7. **Punta captadora simple y características**



#### Características

- Protección externa de SPCR (Sistemas de protección contra el rayo).
- Forma parte del sistema de protección pasiva, puntas y mallas conductoras.
- Simplicidad
- Bajo coste.
- Fácil instalación.
- Unidas mediante conductores forman las mallas conductoras o "jaulas de Faraday".

Fuente: Ingesco (1991). *Punta de captación simple*. Consultado el 5 de agosto de 2020.  
Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/productos/Punta-captadora/>

Son considerados elementos simples de captación de un rayo, de acuerdo con el diseño pueden trabajar muy bien como el único elemento de captación o formar parte de un circuito más complejo de elementos de captación. Existen otro tipo de puntas de franklin, como las puntas captadoras múltiples (figura 8) utilizadas como complementos para generar un campo más ionizante.

Figura 8. **Punta captadora múltiple y características**



#### Características

- Simplicidad
- Bajo coste.
- Fácil instalación.
- Unidas mediante conductores forman las mallas conductoras o "jaulas de Faraday".

Fuente: Ingesco (1991). *Punta de captación múltiple*. Consultado el 5 de agosto de 2020.  
Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/productos/Punta-captadora/>

### Protección pararrayos PDC:

Los pararrayos con dispositivo de cebado conocidos como PDC, emiten un haz ionizante como guía hacia las nubes, este haz se conoce como trazador. La carga eléctrica positiva de estos iones atrae los rayos (carga negativa), lo que aumenta la probabilidad de que la descarga se produzca sobre el captador (Pérez, 2016, p. 13).

Tecnológicas (2018) cita en la publicación “Un Pararrayos con Dispositivo de Cebado PDC o por el nombre de pararrayos ionizante, es un sistema de protección externa contra el rayo de alta tecnología. Este tipo de pararrayos se conocen como pararrayos activos” (p. 2). La descarga de un rayo, su trayectoria es aleatoria o puede establecerse de manera probabilística. Los pararrayos PDC funcionan muy distinto a las puntas captadoras de franklin, ellas crean un campo que ioniza el aire siendo esto un trazador para el rayo o la descarga, con la tecnología del dispositivo de cebado se emite un trazado vertical para captar el rayo a una altura mayor y de esta manera evitar que produjese mayor daño de área.

Tecnológicas (2018) indica “los PDCs de Aplicaciones Tecnológicas contienen en su interior un generador electro pulsante” (p. 5). Estos dispositivos se mantienen en standby y se activan con la actividad eléctrica producida por una tormenta; al descender una descarga este se activa y emite un pulso eléctrico atrayendo para sí la descarga y canalizándola hacia la tierra por medio de conductores y de esta manera proteger.

Podemos observar los pararrayos PDC en la figura 9.

Figura 9. **Pararrayo PDC o dispositivo de cebado y características**



**Características**

El terminal aéreo de captación INGESCO® PDC, es un pararrayos activo que cumple las siguientes especificaciones técnicas:

Dispone de un dispositivo de cebado:

Un dispositivo de anticipación del trazador ascendente

Un condensador electro atmosférico

Un acelerador atmosférico

Fuente: Ingesco (1991). *Pararrayo PDC*. Consultado el 5 de agosto de 2020. Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/productos/pararrayos-ingesco-pdc/>

Ingesco (1991) describe en su sitio web la diferencia de potencial existente entre la atmosfera y la tierra; si analizamos los potenciales electricos que se forman entre el punto excitador que sería el aire ionizado y la punta que esta al mismo nivel que la tierra, esta “diferencia de potencial eléctrico es proporcional a las diferencias de tensión existentes en la atmósfera” (p. 3).

Pararrayos PDCE: Tecno-Ferran (2016) indica que la principal diferencia que existe entre los pararrayos PDCs y PDCEs es que los PDCEs (figura 10) elimina el impacto de rayo y por lo tanto el riesgo eléctrico, efectos directos o indirectos producidas por fenómenos atmosféricos y las descargas eléctricas. “Es un dispositivo equilibrador y compensador del ambiente eléctrico producido en un campo atmosférico” (p. 3). Cuando se produce una tormenta se producen rayos producidos por el campo eléctrico formado entre la distancia de la tierra y el punto donde fue formado el rayo, el dispositivo PDCE protege la zona eliminando la diferencia de potencial a través de la corriente de fuga.

El pararrayo PDCE tiene el aspecto siguiente.

Figura 10. **Pararrayo PDCE**



Fuente: Ingesco (1991). *Pararrayo PDC*. Consultado el 5 de agosto de 2020. Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/productos/pararrayos-ingesco-pdc/>

Protección con Cables colgantes: Sánchez (2010) indica “Este sistema consiste en la protección formada por uno o múltiples conductores aéreos situados sobre la estructura a proteger. Los conductores se deben unir a tierra mediante aterrizadores en cada uno de sus extremos” (p. 183).

#### **1.2.2.5.2. Conductores o conexiones entre los elementos de captación y las tierras**

Ingesco (2013) indica que el “pararrayos estará unido al sistema de puesta a tierra SPT por medio de conductores bajantes para conectarse al nivel de referencia cero de la instalación y deben ubicarse en extremos opuestos del edificio siempre que sea posible” (p. 3). Los conductores que conectan los elementos de captación con la malla de tierra servirán de conducción de la descarga y serán instalados en la periferia del edificio, estos cables no serán colocados en la cercanía de los ductos de gas o de la propia instalación eléctrica

del edificio. Estos circuitos no deben poseer remates suaves, cortos y directos a la malla de tierra.

Ingesco (2013), Cuando exista un arreglo de pararrayos PDC u otra índole podrán compartir el circuito de conducción dentro del edificio. Se recomienda que por cada metro de conductor se instale 3 abrazaderas de fijación (figura 11) para asegurar la tensión del conductor. Los conductores en la parte inferior de la instalación serán protegidos por un tubo ver figura 12 y elementos de conexión entre conductores, ver figura 13.

Es recomendable se instale por encima del tubo un contador de rayo que sirva como indicador del mantenimiento.

Tabla III. **Distancia entre conductores bajantes**

<b>Nivel de protección</b>	<b>Distancia entre bajantes</b>
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Fuente: elaboración propia

Figura 11. **Abrazadera de fijación**



Fuente: Ingesco (1991). *Protecciones externas*. Consultado el 7 de agosto de 2020.

Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/productos/accesorios/>

Figura 12. **Tubo de protección de conductores**



Fuente: Ingesco (1991). *Protecciones externas*. Consultado el 7 de agosto de 2020.  
Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/productos/accesorios/>

Figura 13. **Elementos de conexión**



Fuente: Ingesco (1991). *Protecciones externas*. Consultado el 7 de agosto de 2020.  
Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/productos/accesorios/>

#### **1.2.2.5.2.1. Elección del conductor**

Villegas (1991) indica en su investigación que “cada elemento del sistema de tierras, incluyendo conductores, conexiones, uniones, varilla, entre otros. debe ser diseñado bajo ciertas condiciones” (p. 551).

- Conductividad, necesaria para satisfacer la descarga y no crear diferencias de tensión.
- Resistencia mecánica bajo las condiciones más severas.
- Confiabilidad mecánica y dureza.

Siendo el cobre el material más utilizada por sus propiedades eléctricas y su alta conductividad. El conductor es seleccionado de acuerdo con su capacidad de conducción y la corriente permitida se calcula con la fórmula de Sverak 6.

$$I=A_c * \sqrt{\left[\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c * \alpha_r * \rho_r}\right] * \ln \left[\frac{k_0 + T_m}{k_0 + T_a}\right]} \quad [6]$$

Donde:

I	corriente rms, kA
Ac	sección transversal del conductor, mm <sup>2</sup>
Tm	temperatura máxima permitida, °C
Ta	temperatura ambiente. °C
α0	coeficiente térmico a 0 °C. 1/°C
αr	coeficiente térmico Tr, 1/°C
ρr	resistividad a la temperatura de referencia Tr, μΩcm
Ko	1/αo o (1/αr)-Tr, °C
tc	tiempo que fluye la corriente, s
TCAP	índice térmico, J/(cm <sup>3</sup> °C).

Tabla IV. **Constantes para materiales conductivos**

Descripción	Conductividad [%]	Ko a ar a 20°C [1/°C]	Ko a 0°C [°C]	Temperatura de Fusión, Tm [°C]	$\rho_r$ 20°C [ $\mu\Omega\text{cm}$ ]	factor TCAP [J/(cm <sup>3</sup> °C)]
Cobre recocido	100,0	0,00393	234	1083	1,72	3,42
Cobre estirado en frío	97,0	0,00381	242	1084	1,78	3,42
Acero cobrizado	40,0	0,00378	245	1084	4,40	3,85
Acero cobrizado	30,0	0,00378	245	1084	5,86	3,85
Aluminio comercial EC	61,0	0,00403	228	657	2,86	2,56
Aleación de Aluminio 5005	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,60
Aleación de Aluminio 6201	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,60
Acero Aluminizado	20,3	0,00360	258	657	8,48	3,58
Acero galvanizado	8,6	0,00320	293	419	20,1	3,93
Acero inoxidable	2,4	0,00130	749	1400	72,0	4,03

Fuente: Villegas (1991). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*. Consultado el 30 de julio de 2020. Recuperado de [https://www.academia.edu/34461032/Subestalta\\_ext\\_alta\\_tension\\_carlos\\_f\\_elipe\\_ramirez\\_mejia\\_villegas](https://www.academia.edu/34461032/Subestalta_ext_alta_tension_carlos_f_elipe_ramirez_mejia_villegas).

Otras consideraciones para tomar en cuenta son las características físicas de los conductores. Villegas (1991) expone que en las primeras revisiones de la norma IEEE Std 80 “se recomendaba utilizar cable calibre 1/0 (54 mm<sup>2</sup>) y 2/0 (67 mm<sup>2</sup>)” (p. 553), pero en las últimas versiones “se recomienda utilizar 4/0 (107 mm<sup>2</sup>)” (p. 553). En la tabla V se pueden observar las características físicas de una mayor cantidad de cables.

Tabla V. **Características físicas de los conductores THWN/THHN**

CABLE VIAKON THWN/THHN 600V									
calibre	Área nominal de la sección transversal	Numero de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal del nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente en		
AWG/Kcmil	mm <sup>2</sup>		Mm	Mm	mm	Kg/100m	60°C	75°C	90°C
14	2.082	19	0.38	0.1	2.9	3	20	20	25
12	3.307	19	0.38	0.1	3.4	4	25	25	30
10	5.26	19	0.51	0.1	4.3	6	30	35	40
8	8.367	19	0.76	0.13	5.7	10	40	50	55
6	13.3	19	0.76	0.13	6.7	15	55	65	75
4	21.15	19	1.02	0.15	8.5	24	70	85	95
2	33.62	19	1.02	0.15	10.1	36	95	115	130
1	42.41	19	1.27	0.18	11.6	46	110	130	150
1/0	53.48	19	1.27	0.18	12.7	56	125	150	170
2/0	67.43	19	1.27	0.18	13.9	70	145	175	195
3/0	85.01	19	1.27	0.18	15.2	87	165	200	225
4/0	107.2	19	1.27	0.18	16.7	108	195	230	260
250	126.7	37	1.52	0.2	18.5	128	215	255	290
300	152	37	1.52	0.2	19.9	152	240	285	320
350	177.3	37	1.52	0.2	21.3	177	260	310	350
400	202.7	37	1.52	0.2	22.5	201	280	335	380
500	253.4	37	1.52	0.2	24.7	249	320	380	430
600	304	61	1.78	0.23	27.3	298	355	420	475
750	380	61	1.78	0.23	30	369	400	475	535
1000	506.7	61	1.78	0.23	34	488	455	545	615

Fuente: Viakon (2003). *Conductores THWN/THHN*. Consultado el 13 de agosto de 2020.  
 Recuperado de <https://viakon.com/old/pdf/categorias/>

### 1.2.2.5.2.2. Conexiones

Manuel (2008), menciona en su documento que “la conexión entre electrodos se realiza por medio de cobre desnudo, ayudando esto a reducir la impedancia global” (p. 31). Estas deben ser resistentes a las tensiones mecánicas, resistente a la corrosión producida por la intemperie y deben poseer baja resistividad. Estos factores son importantes a la hora de definir el diseño a

emplear; el método utilizado puede ser método mecánico soldadura exotérmicas, por soldadura autógena y bronceada.

Conexiones mecánicas: Manuel (2008), describe en la tesis de protección a equipos de telecomunicaciones; “Comúnmente se utiliza para la conexión utilizando pernos (mecánica), deben cumplir las normas pues serán sometidos a impactos mecánicos, eléctricos y térmicos” (p. 31). Los conductores se deben encontrar en buenas condiciones y no ser dañados por tensiones extremas. Se debe limpiar y proteger con inhibidor de óxido. Las más utilizadas son mostradas en la figura 14.

Figura 14. Tipos de abrazaderas



Abrazadera para varillas  
De conexión a tierra



abrazadera de conexión  
a tierra estilo perno en U



soporte de conexión a  
tierra para superficies plana

Fuente: Panduit (2006). *Electrical accessories*. Consultado el 17 de agosto de 2020.

Recuperado de [www.panduit.com/productos](http://www.panduit.com/productos)

Soldadura exotérmica: Huete (2008), describe en la tesis de protección a equipos de telecomunicaciones que “consiste en una conexión directa de cobre puro, que se realiza utilizando moldes de grafito, son diseñados específicamente para cada unión” (p. 32). Entre sus beneficios están: uniones resistentes a la corrosión y con una resistencia mínima.

La soldadura exotérmica es la unión molecular de dos metales de manera perdurable a través de una reacción química. Para este proceso son necesarios pocos pasos, un molde (figura 15a) donde se colocan los conductores, el molde se debe ser específico para cada tipo de soldadura deseada.

El compuesto es colocado dentro de un compartimiento el cual será expuesto a una temperatura considerable que lo hará reaccionar químicamente, de acuerdo con la reacción mostrada en la fórmula 7. Las tabletas tienen la forma mostrada en la figura 15b.



Figura 15. **Elementos para soldadura exotérmica**



a. Molde de soldadura



b. Tabletillas para soldadura exotérmica

Fuente: APLIWELD (1990). *Soldadura exotérmica*. Consultado el 17 de agosto de 2020.

Recuperado de <https://at3w.com/empresa/productos/>

Se necesita un mecanismo de reacción electrónico no inflamable y un equipo de encendido a distancia. Es así como el chispero tradicional para el polvo del reactivo es sustituido para una mejor seguridad, figura 16.

Figura 16. **Mando a distancia**



Fuente: Apliweld (1990). *Soldadura exotérmica*. Consultado el 17 de agosto de 2020.  
Recuperado de <https://at3w.com/empresa/productos/>

Conexión con soldadura autógena: Huete (2008), describe que “existen dos métodos para unir los conductores, por soldadura de arco utilizando un gas (nitrógeno o argón) o utilizando bronce, la cual utiliza un material para complementar el relleno a una temperatura muy alta” (p. 32).

Conexiones bronceadas: Huete (2008), describe que “para este método de soldadura se utiliza el cobre o una aleación de cobre, la principal ventaja de este método es que posee una baja resistencia y no es corrosiva” (p. 31).

### **1.2.2.6. Elementos que conforman un sistema de tierras físicas**

Suntasig (2002) indica que “antes de realizar un diseño de un electrodo de puesta a tierra debemos conocer el plano físico y eléctrico del área donde se instalara” (p. 115). Uno de los parámetros más importantes dentro del sistema de tierras es la resistividad del suelo, cero es su valor ideal o lograrlo modificando sus características eléctricas, pero en la práctica es imposible debido a las condiciones económicas.

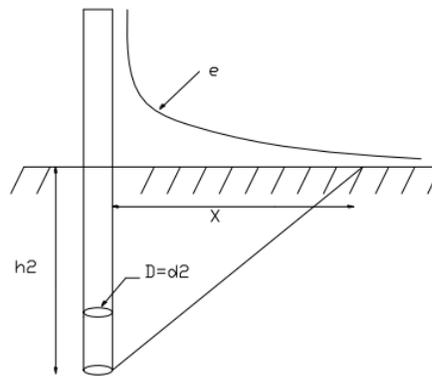
#### **1.2.2.6.1. Electroodos**

Son varillas de cobre o materiales conductivos con una resistividad muy baja que se incrustan a cierta profundidad en el suelo para absorber una descarga eléctrica. Los electrodos más utilizados en construcciones urbanas son varillas simples, arreglo de múltiples varillas conectadas en paralelo y una malla. Existen otro tipo de conexiones no utilizadas en estas estructuras.

##### **1.2.2.6.1.1. Varilla simple**

Suntasig (2002) define como “la solución más económica proporciona una mejor disipación de las corrientes de falla, pero posee la desventaja de ser el único punto de protección” (p. 2); es un inconveniente que provoca una gran concentración de energía, peligrosa por el gradiente de potencial de toque o de paso. El potencial eléctrico en el plano depende de únicamente de tres factores: longitud del electrodo, la capacidad de conducción eléctrica y la resistencia del terreno como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Varilla simple



Fuente: Suntasig (2002). *Estudio e Implementación de Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas y Puesta a tierra de Protección de la Compañía*. Consultado el 22 de agosto de 2020. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>

Para reducir el fenómeno de concentración de energía se suele utilizar electrodos de gradación de potencial, con el fin de regular la concentración de energía.

La resistencia de la varilla puede ser determinada por la fórmula 8.

$$R_v = \left| \frac{\rho}{2\pi h_2} \right| x \left| \ln \frac{4h_2}{d_2} - 1 \right| \quad [8]$$

Donde:

- h2                    longitud enterrada la varilla.
- d2                    diámetro del electrodo.

El potencial V de la varilla lo podemos calcular con la fórmula 9.

$$V = \frac{\rho l}{2\pi x^2} \quad [9]$$

Donde:

X es la distancia entre la varilla y un punto remoto.

#### 1.2.2.6.1.2. Varillas múltiples

Suntasig (2002), indica que “es común encontrar diseños con un arreglo de n varillas, utilizado para reducir la resistividad del terreno y así mismo el gradiente de tensión provocado por la descarga” (p. 118).

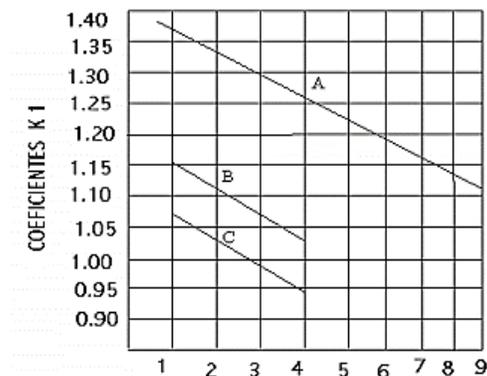
Podemos determinar la resistencia del arreglo de n varillas con la fórmula 10.

$$R_{nv} = \left| \frac{\rho}{2\pi n h_2} \right| * \left| \ln \frac{8h_2}{d_2} - 1 + \left| \frac{2k_1 h_2}{\sqrt{a}} \right| * \left| \sqrt{n} - 1 \right|^2 \right| \quad [10]$$

Donde:

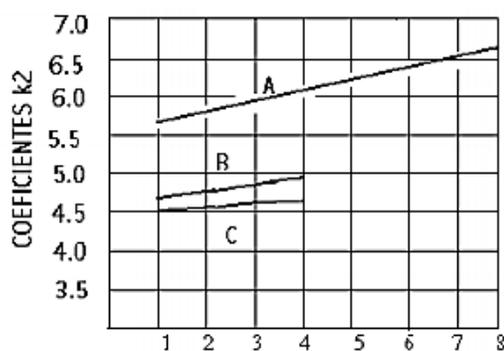
n                    número de electrodos.  
a                    área que cubren los electrodos.  
K1, K2            Coeficientes de resistividad en el suelo  
                          Mostrados respectivamente en las figuras 18 y 19  
h2                   longitud enterrada la varilla.  
d2                   diámetro de la varilla.

Figura 18. **Constante k1**



Fuente: Suntasig (2002). *Estudio e Implementación de Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas y Puesta a tierra de Protección de la Compañía*. Consultado el 22 de agosto de 2020. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>

Figura 19. **Constante k2**



Fuente: Suntasig (2002). *Estudio e Implementación de Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas y Puesta a tierra de Protección de la Compañía*. Consultado el 22 de agosto de 2020. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>

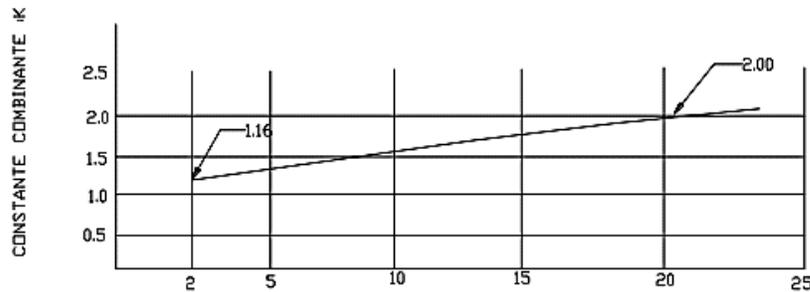
La resistencia de n varillas también se puede calcular con la fórmula 11.

$$R_{nv} = \frac{kR_v}{n} \quad [11]$$

Donde:

- K            coeficiente según la gráfica 20.
- R<sub>v</sub>        resistencia de una varilla
- n            número de varillas

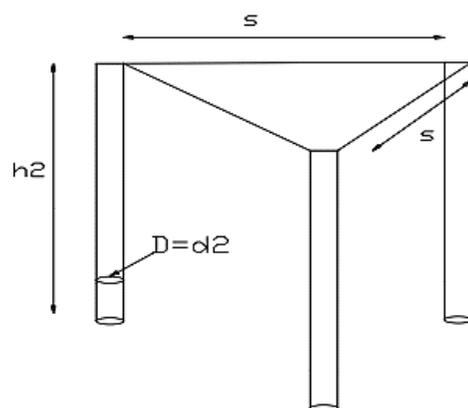
Figura 20.    **Valores de la constante k**



Fuente: Suntasig (2002). *Estudio e Implementación de Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas y Puesta a tierra de Protección de la Compañía*. Consultado el 22 de agosto de 2020. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>

La distribución en la que nos enfocaremos como base para la investigación es la conexión en delta, conexión en triángulo por la forma geométrica que representa y es la más utilizada ver figura 21.

Figura 21. **Varillas conectadas en delta**



Fuente: Suntasig (2002). *Estudio e Implementación de Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas y Puesta a tierra de Protección de la Compañía*. Consultado el 22 de agosto de 2020. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>

Donde  $s$  se determina como  $1.2 h_2$ .

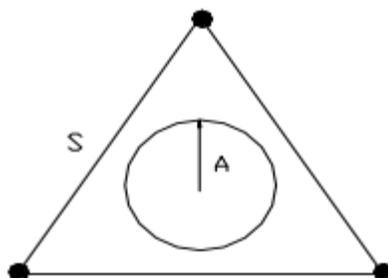
La resistencia del arreglo se calcula con la fórmula 12.

$$R = \left| \frac{\rho}{2\pi h_2} \right| * \left| \ln \frac{2h_2}{A} \right| \quad [12]$$

Donde:

$A$  es la distancia media geométrica ver figura 22.

Figura 22. **Distancia media geométrica**



Fuente: Suntasig (2002). *Estudio e Implementación de Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas y Puesta a tierra de Protección de la Compañía*. Consultado el 22 de agosto de 2020. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>

La fórmula 13 corresponde al radio A:

$$A=3\sqrt{\frac{d_2}{2} * S^2} \quad [13]$$

#### 1.2.2.7. **Determinación del voltaje de toque y de paso**

Suntasig (2002) en una instalación eléctrica la seguridad es vital para evitar accidentes ocasionados por la electricidad, “siendo una prioridad para la seguridad eléctrica diseñar un método de protección ante esos accidentes no planificados” (p. 107), evitando accidentes que podrían causar la muerte en pocos segundos.

Toda persona y de acuerdo con su constitución física puede obstruir el paso de corriente, comportándose como una resistencia; esta acción puede

causarle la muerte, cada cuerpo posee características eléctricas distintas y puede reaccionar conforme a la corriente nominal que circulé por su cuerpo según la siguiente tabla VI.

Tabla VI. **Corriente eléctrica soportada por el cuerpo humano**

<b>Corriente mA</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>DAÑO INMEDIATO</b>
< 1	Posible Cosquilleo	No son cosquillas, es un hormigueo molesto
1 a 3	Percepción	Descarga eléctrica leve
3 a 9	Electrización	Descarga eléctrica: reaccionar de manera brusca e involuntaria que pueden ocasionar lesiones.
6 a 10	Tiranización	Parálisis muscular y la persona se adhiere al objeto.
25 a 30	Paro Respiratorio Asfixia	Los músculos se contraen provocando un dolor muy fuerte, paro respiratorio y muerte.
60 a 75	Fibrilación ventricular	El corazón de realizar su función, contracción muscular y daños nerviosos, muerte.
Superados los 100 mA: la fibrilación es irreversible a partir de 0.15 segundos. Muerte altamente probable.		

Fuente: elaboración propia.

La corriente alterna de baja frecuencia entre ellos los armónicos tiende a producir una diferencia de tensión entre los conductores, infraestructura metálica y las tierras; esta tensión producirá una gradiente de tensión perjudicial para las personas y es por eso por lo que es importante el análisis de ciertas corrientes sobre el suelo.

### **1.3. Plan de Mantenimiento del Sistema de protección de Tierras y apantallamiento eléctrico**

González (2017), menciona la importancia de los sistemas de protección de tierra (SPT) y el apantallamiento eléctrico. “Los SPT evitan daños provocados por descargas eléctricas producidas por fenómenos naturales o por efecto de maniobras y los arcos eléctricos” (p. 92). Una buena instalación de tierras otorga seguridad a las personas y a los equipos instalados.

#### **1.3.1. Tipos de mantenimiento**

Un buen plan de mantenimiento ayuda a prolongar la utilidad de los equipos y mejora la seguridad de toda la infraestructura, cada tipo de mantenimiento posee un fin específico y cubren necesidades diferentes.

##### **1.3.1.1. Mantenimiento correctivo**

Es el mantenimiento que tiene como fin solucionar fallas no predecibles. Se clasifica en:

- No planificado, es el mantenimiento que surge en el momento, por fallas no esperadas. Fallas importantes que deben solucionarse con urgencia ya sea por un desperfecto inesperado (problemas de corrosión, de conectores, de resistividad, entre otros).
- Planificado, es el mantenimiento donde se estipula con anterioridad todas las actividades a realizar, de manera que cuando se realiza, el equipo ya está preparado con repuestos y documentación técnica.

### 1.3.1.1.1. Reporte

Reporte de fallas: Sarco (2010) la importancia de un reporte de falla oportuno aumenta la posibilidad de ser solucionado eficientemente. Por tanto, la eficiencia con que se solucione la falla está relacionado con la eficiencia con que se reporte.

Se deberán utilizar registros que se puedan archivar para darle seguimiento a la falla, o para consulta en eventualidades posteriores. En la tabla A-2 es mostrado un formato para reportar las fallas, la explicación para estos campos es proporcionados en el apéndice 3.

Problemas más comunes con los reportes de fallas: Sarco (2010) define que los problemas más frecuentes observados a la hora de reportar fallas son cuestión de roles, de experiencia o simplemente la empresa no tiene definido el proceso. Entre las circunstancias más comunes por las que sucede esto podemos mencionar.

- Reportar la falla con falta de información técnica y exceso de dialogo popular y de manera ambigua.
- Mala descripción de las causas que rodean a la falla.
- No incluir en la descripción de la falla cuál es el proceso correcto para los pasos realizados.
- No predecir la ocurrencia de una falla antes que esta aconteciese.
- No verificar la redacción de lo sucedido para cerciorarse que es entendible para un tercero.
- Pasar por alto características de la falla que son relevantes para su solución posterior.

Razones por las que suceden estas anomalías: Sarco (2010) define algunas causas por las que podría ocurrir este tipo de inconvenientes.

- Falta capacitación constante.
- Disponer de poco tiempo, la falta de capacitación provoca que se utilice más tiempo para resolver un problema.
- Desconocer las políticas y normas empresariales.
- Falta de rutina propia que ayude a la solución.
- Falta de información de lo que sucede dentro de la empresa.
- Falta de identificación con la empresa.

#### **1.3.1.2. Mantenimiento predictivo**

González (2017), “Este mantenimiento está basado en la inspección” (p. 2); está determinado a base de observación directa y aplicación de experiencia, realizado de manera rutinaria estableciendo patrones de comportamiento y de esta manera previendo fallas a las instalaciones del sistema.

Este mantenimiento necesita la interpretación de ciertos parámetros físicos como presión, temperatura, sonido, entre otros, para determinar ciertas anomalías.

#### **1.3.1.3. Mantenimiento preventivo**

Es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas, y mantener en un nivel determinado a los equipos, se trata de hacer

revisiones controladas y planificadas de acuerdo con el nivel de confiabilidad de los equipos.

Garrido (2012) expresa que el mantenimiento preventivo, “como su nombre lo indica previene fallas y es el más utilizado” (p. 29). Su utilidad proviene del uso de estadística, observación, recomendaciones del fabricante y el conocimiento de las instalaciones. El mantenimiento preventivo genera experiencia para la solución de fallas repetitivas, indicación de los puntos débiles que puedan generar fallas.

Es importante mantener registros de los dispositivos y de los mantenimientos que se les aplica, utilizar fichas que permita un mejor control como una ficha técnica por equipo ver apéndice 4 y una ficha de ingreso para iniciar los registros ver apéndice 5.

### **1.3.2. Necesidad de un plan de mantenimiento**

Garrido (2012) indica que “la fiabilidad y la disponibilidad de un sistema de tierras dependen del diseño y la resistividad tanto en el arreglo como en el suelo, en el cual influyen las técnicas utilizadas para su ejecución” (p.32). Dependen del personal del personal de mantenimiento, el personal que opera en las instalaciones y por último depende del mantenimiento que se realice. Debemos tener en cuenta que los efectos de las acciones hechas en mantenimiento no tienen su efecto de forma inmediata, sino que se ve varios meses después.

La eficiencia de un taller de mantenimiento es medida por el porcentaje de fallas no ocurridas versus las ocurridas, esta relación debe ser alta para que esto no sea un factor que dirija al departamento de mantenimiento.

### **1.3.2.1. Beneficios del mantenimiento**

Chusin (2008) indica que la ventaja de tener un plan de mantenimiento preventivo es alta. La finalidad de este tipo de mantenimiento es detectar fallas antes de que estas ocurran, fallas que acontecen a cada poco y que aumentan los tiempos muertos de operatividad; esta acción alarga la vida útil de los elementos a proteger y por ende disminuye los gastos en repuestos. Dentro del mantenimiento preventivo se incluye la tarea de reemplazo de piezas deterioradas por aspectos climáticos, elementos que presentan corrosión o falta de apriete en las conexiones, entre otros. Es por eso por lo que el mantenimiento preventivo se adelanta a la ocurrencia de fallas.

### **1.3.2.2. Base de datos en el mantenimiento**

Vargas (2014) define la importancia de una base de datos como el “conjunto de datos guardados en registros para su posterior uso” (p.46)

Importancia de una base de datos:

- Se crean registros que permiten una documentación más precisa que permiten mejores resultados a la hora de realizar un mantenimiento.
- Se provee de un conocimiento más profundo de las instalaciones y equipos que intervienen en el sistema de tierras y apantallamiento.
- Reduce la rotación del personal, y por lo tanto la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia en el campo de acción.

### **1.3.3. Mantenimiento al SPT**

LTDA (2018) indica en la publicación; “con el tiempo los sistemas de puesta a tierra y su interacción con el suelo donde se encuentra instalado, padecen de corrosión y el suelo pierde sus propiedades de conducción” (p. 3), y su resistividad tendera a aumentar provocando que las corrientes de descarga sean mal conducidas, dañando la instalación eléctrica y provocando pérdidas materiales y de vida.

#### **1.3.3.1. Mantenimiento a las características conductivas del suelo**

Excelglen (2016), cita que “Para la mejora de la resistividad del terreno en las puestas a tierra se pueden utilizar sales electrolíticas, que son un compuesto químico que nos permite reducir la resistividad en suelos donde esta característica es muy alta” (p. 3). Este compuesto disperso en el espacio donde se insertan los electrodos constituye un complemento ideal porque mejora la conductividad del suelo, utilizado en dosis correctas es capaz de absorber la humedad del medio.

A continuación, se otorga una lista de verificación para el mantenimiento de un pozo a tierra.

- Tener datos técnicos sobre el pozo antes de realizar el mantenimiento.
- Retiro de aproximadamente 40 cm de profundidad de tierra de la caja de registro y alrededor de la varilla o electrodo.
- Lijado de la corrosión causada por la intemperie donde está ubicado el electrodo de tierra.

- Retiro de la corrosión del cable con cepillo o cortar el cable si la longitud de este lo permite.
- Reemplazo del conector de bronce tipo AB varilla-cable
- Aplicar dentro del pozo un gel especial que satisface la necesidad.
- Una preparación química de tierra cada 10 cms.
- Medición del valor de resistividad del pozo a tierra después del mantenimiento.

### **1.3.3.2. Buenas prácticas para el mantenimiento de la tierra física**

Garrido (2012), comparte “buenas prácticas de mantenimiento aplicado a un sistema de protección de tierras y apantallamiento eléctrico” (p.39).

- Identificación de las varillas y configuración de la tierra física.
- Inspección física de electrodos, conexiones y registros.
- Mantenimiento de los registros del pozo a tierra y revisión de las conexiones eléctricas del electrodo.
- Protección ante la electricidad estática producida por diferentes fuentes.
- Verificación de parámetros eléctricos de los electrodos instalados en la tierra física.
- Verificación de continuidad en las conexiones mecánicas y exotérmicas.
- Verificación del estado físico de los elementos captadores
- Verificar el estado de las conexiones durante la trayectoria de extremo a extremo.
- Verificar la cifra marcada por el contador de rayos, si aplicara.
- Verificar datos geométricos del pararrayos.

#### 1.3.4. Evaluación de gestión y socialización

Gálvez, (2020) en su publicación indica lo siguiente “la Gestión del Mantenimiento Industrial es clave para reducir el impacto negativo de fallas que pudieran darse en una empresa. Lamentablemente, la mayoría de las compañías no tienen las estrategias necesarias para ejecutar un acertado Mantenimiento Industrial” (p. 7). Cabe destacar la importancia que deberá tener la práctica de un mantenimiento constante para reducir la probabilidad de falla del sistema de protección ante una descarga atmosférica; en nuestro caso, sea lo más aceptable posible. Aunque no podemos descartar los problemas o inconvenientes que surgen en el medio.

La evaluación de gestión y socialización dentro del departamento de mantenimiento se puede realizar analizando los siguientes aspectos:

Falta de estructura y horario: Profesional (2020), Un grupo de profesionales mencionan en su publicación, “en muchos casos, las tareas de rutina son solo entradas en una lista de tareas pendientes que deben realizarse, sin nada dentro del paquete de trabajo para impulsar el cumplimiento” (p. 3). Las tareas que solo tienen el *check* de verificar tienden a poseer una guía de verificación prolongada; es decir, pueden ser pospuestas de manera prolongada. A este tipo de programas producen un efecto llamado *tick and flick*, no pueden anticipar una falla.

El nuevo plan de mantenimiento por implementar buscar establecer una política de mayor control utilizando fichas de seguimiento como la mostrada en la figura A-6, para no incurrir en el incumplimiento.

Activos similares, deberes similares, estrategias diferentes: Profesional (2020), expresa en su publicación “A menudo, el mantenimiento considera cada pieza del equipo como un objeto independiente, con su propia estrategia de mantenimiento única” (p. 4). Esta forma de pensar produce pérdidas de recurso y tiempo porque dentro del comercial cada técnico posee su propia manera de pensar y labora de acuerdo con su rutina de mantenimiento. En la práctica, las mismas acciones pueden provocar resultados diferentes, expresadas de diferente manera. La finalidad del aporte consiste en diseñar la metodología de entrelazar las ideas y crear una sola para obtener mejores resultados.

Unos de los fines primordiales del diseño de un plan de mantenimiento aplicado al sistema de tierras instalado en el comercial es concientizar y difundir una política en la cual todos los colaboradores del departamento estén involucrados, apoyándonos en afiches o folletos informativos como guías técnicas (apéndice 7) o charlas técnicas sobre el tema.

Enfoque operacional: Profesional (2020), expresa en su publicación “Las operaciones pueden ser reacias a sacar el equipo del servicio para el mantenimiento, por lo que retrasan o incluso cancelan el mantenimiento programado apropiado” (p. 5). Podría pensarse que la base de este pensamiento es la idea sobre que reparar una falla es la misma si se planifica o es provocada por la falla misma. Pero la experiencia determina que los costos son mayores cuando la reparación es provocada por falla por índices de repuestos y cambios de dispositivos que por el proceso de un mantenimiento.

Rutinas reactivas:

A veces, cuando una organización ha sido afectada en el pasado por una falla previsible, se sobre carga con realizar tareas de mantenimiento con más frecuencia de la necesaria. El problema es el tiempo que se pierde realizando tareas innecesarias, incluso se da el caso de aumentar los problemas a futuro simplemente por realizar mantenimiento innecesario que aumente la posibilidad de fallas (Profesional, 2020, p. 6).

Apoyándose en los manuales del fabricante se podría coordinar los tiempos de mantenimientos.

Dependencia excesiva de la experiencia pasada:

No hay sustituto para la experiencia y habilidad técnica. Pero cuando la solución a fallas se apoya únicamente en esos recursos, en la típica frase de que así se ha hecho siempre; en lugar de realizar un análisis acertado, el trabajo realizado por el equipo de mantenimiento puede ser excesivo o insuficiente. (Profesional, 2020, p. 7).

Sin la documentación correcta de los procesos de mantenimiento realizados anteriormente, las acciones son realizadas por intuición. “lo que se hace siempre” puede ser la manera incorrecta de abordar fallas en el equipo actual, con la tecnología actual, dentro de normas de la industria actual.

Compartiendo charlas informativas, capacitaciones actualizando los registros se podría avanzar con respecto a la experiencia que se tiene presente.

Fracaso para abordar fallas poco frecuentes, pero de alta consecuencia: Profesional (2020), redacta en su investigación “Naturalmente, las tareas rutinarias representan los modos de falla más comunes. Sin embargo, también

deben abordar las fallas que ocurren con menos frecuencia, pero que pueden tener un impacto significativo en el negocio” (p. 8). El diseño e implementación de un plan de mantenimiento que sea capaz de ser aplicado a ambos casos puede reducir mitigar los riesgos ocasionados por descargas eléctricas producidas por maniobra o descargas atmosféricas. Por ejemplo, Puntos de discontinuidad en toda la trayectoria desde la tierra física y los elementos a proteger, malos aprietes o puntos fríos, tener mala calidad de energía por falta de mantenimiento al sistema de tierras físicas, la inexistencia de un punto común, se producirán fallas severas que permitirán daños a la instalación, los equipos y los usuarios finales.

Instrucciones de tarea inadecuadas: Profesional (2020), redacta en su investigación “Desarrollar pautas de mantenimiento y mejores prácticas requiere tiempo y esfuerzo. Sin embargo, con demasiada frecuencia, la organización de mantenimiento no logra capturar todo ese conocimiento ganado con esfuerzo al crear instrucciones claras y detalladas” (p. 9). Una de las prácticas más comunes es apoyarse en la experiencia de cada colaborador, que se pierden cuando abandona al grupo; esto se ve evidenciado en la elaboración de instrucciones incompletas. El proyecto donde el desempeño de un sistema de tierras no se evidencia a diario, los colaboradores deberán llevar un registro bien detallado de los dispositivos y prácticas de mantenimiento realizadas apoyando a los colaboradores venideros y su adaptación al equipo.

Asumiendo que el nuevo equipo funcionará sin fallas por un período de tiempo: Existe una tendencia a la hora de instalar nuevos equipos. Profesional (2020), redacta en su investigación “los equipos de mantenimiento asumen que primero deben operar el nuevo equipo para ver cómo falla antes de poder identificar y crear las tareas de mantenimiento apropiadas” (p. 10). Por el simple hecho de ser equipo nuevo no se suele percibir que posiblemente ya se tengan

instalado equipo con las mismas características de falla que el equipo nuevo. Aquí es donde la documentación base tiene una mayor importancia para la realización de un buen mantenimiento preventivo y predictivo.

Oportunidades perdidas para mejorar: con el tiempo el hábito de redactar un informe detallado con las instrucciones realizadas, herramientas utilizadas, repuestos empleados y la frecuencia con la que se realiza el mantenimiento, ese hábito se va perdiendo. Las actividades de mantenimiento debido a este último detalle no mejoran. Las actividades de mantenimiento cuando se cae en la monotonía la calidad o eficiencia decaen con el tiempo y por ende la calidad de los equipos también lo hace.

Hacer lo que podemos y no lo que debemos: es común ver en los grupos de colaboradores la decisión de realizar únicamente las tareas para los que son hábiles, en lugar de realizarlas en función de la necesidad de los equipos. Cuando las necesidades técnicas dentro del grupo deben ser evaluadas en base a la necesidad de los equipos, zonas de protección en nuestra implementación, es así como se deberán abordar los planes de capacitación o nuevas contrataciones; mejorando la cantidad de habilidades técnicas.

## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

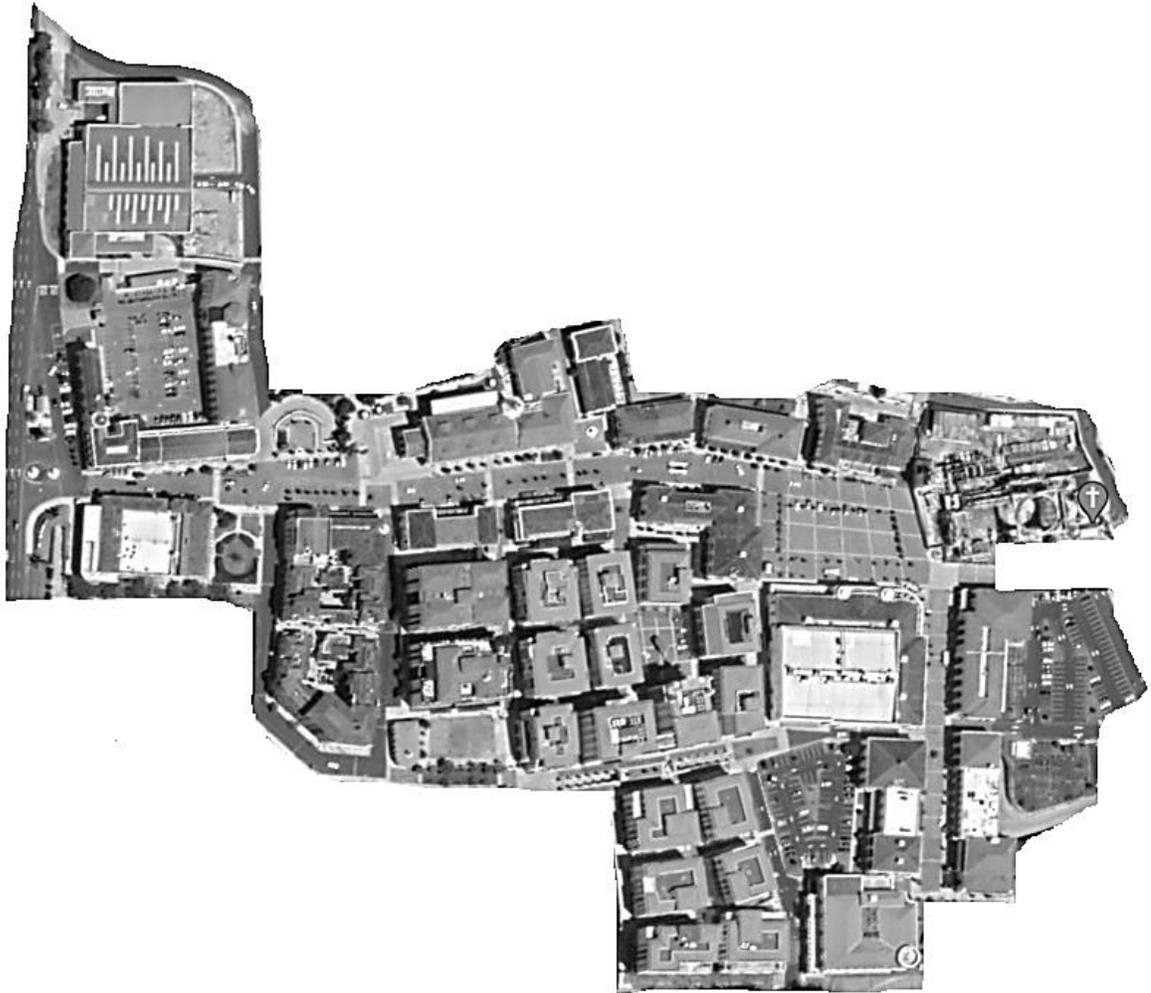
Durante el proceso de la investigación, se realizaron visitas al comercial; el propósito fue realizar una inspección visual de los equipos para el diseño de la ficha técnica correspondiente, determinar los puntos geográficos de su instalación. En el transcurso de las visitas se realizaron toma de datos de algunos parámetros físicos; esto determino una toma de datos de forma longitudinal. El departamento técnico del comercial proporciono información documentada acerca de los equipos originales (ficha técnica, planos) lo que lo convierte en una toma de datos de forma transversal.

La finalidad de este proceso es verificar el estado actual del mantenimiento y determinar la importancia que posee el darle un seguimiento al sistema de protección de descargas atmosféricas (rayo).

### **2.1. Información general del comercial**

La investigación está centralizada en un centro comercial extenso que cuenta con varias edificaciones de hormigón a una altura promedio de 13 mts. de altura, albergando locales comerciales de distinta índole; ubicado en la ciudad capital zona 16 a 1503 msnm (14°16'35"N 90°29'00"W)

Figura 23. **Mapa del comercial**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth

## **2.2. Reconocimiento del área**

Durante el recorrido se contó con la presencia del jefe de mantenimiento y el técnico de turno, donde se intercambió información acerca del proceso y lineamientos para su desarrollo. La reunión permitió el intercambio de

información en la cual se especificaron los ítems necesarios para el proyecto, estos ítems los enlistamos de la manera siguiente:

- El área por proteger ante la exposición de un rayo.
- La cantidad de edificaciones.
- Análisis de riesgo ante una eventual descarga atmosférica.
- Los edificios que cuentan con un pararrayo.
- Características eléctricas del pararrayo.
- Medición de la resistividad actual de los suelos dentro del comercial.
- Verificación de la calidad de red de tierras.
- Actividades de mantenimiento al sistema de protección de rayos.
- Conocimiento sobre la red de tierras dentro de los colaboradores.

### **2.3. Adquisición de datos y muestra**

Se realizó un recorrido para determinar los edificios dentro del comercial que deberán estar dentro de la cobertura de protección por los pararrayos, los mismos que cuentan con pararrayo y sistema de tierras; esta información permitirá establecer sus características respaldados por la ficha técnica diseñada por el fabricante. De acuerdo mutuo, se acordaron aplicar los ensayos no destructivos de inspección visual, medición de suelos (resistividad [ $\Omega \cdot m$ ], equipo proporcionado por terceros), medición de pararrayos (elementos que producen el trazo ascendente, el cabezal y tiempo  $\Delta t$  de respuesta del cebado; equipo proporcionado por terceros), mediciones de continuidad. Como parte de la inspección para determinar la importancia del estudio fueron proporcionados datos por parte de la jefatura de mantenimiento, algunas fallas presentadas durante el año 2019 adjudicadas a descargas atmosféricas (rayo) y mostradas en la tabla VII a continuación.

Tabla VII. **Fallas adjudicadas a las descargas de un rayo en el periodo de 2,019**

Número parcial de fallas reportadas en el año 2019							
No.	Dispositivo	Descripcion	sector	fecha reportada	Giro de la empresa	Costo	Causa probable
1	aire acondicionado	Tarjeta electronica para aire acondicionado	edificio B08	17/09/2019	Agencia de viaje	Q 2,800.00	Adjudicada a tormenta
2	video camara IP	Camara de monitoreo	edificio B25	24/09/2019	moda	Q 980.00	Adjudicada a tormenta
3	Receptor de video	Pantalla de video en sala	edificio B16	13/10/2019	moda	Q 3,600.00	Adjudicada a tormenta
4	sensor	sensor de temperatura aire mini split	edificio B11	22/11/2019	restaurante	Q 830.00	Adjudicada a tormenta
5	PC laptop	Disco duro laptop personal	edificio B04	27/11/2019	oficina	Q 870.00	Adjudicada a tormenta
6	aire acondicionado	Tarjeta electronica para aire acondicionado	edificio B21	11/12/2019	oficina	Q 1,280.00	Adjudicada a tormenta
7	sensor	Sensor de movimiento escalera electrica	edificio B29	26/12/2019	oficina	Q 320.00	Adjudicada a tormenta

Fuente. elaboración propia.

Evaluando la cantidad de fallas por periodos anuales, fue imprescindible un análisis de riesgo por edificio; los sistemas de tierras instalados son considerados aislados ya que no están unidos por una red de tierras que los interconecten. El análisis de riesgo es un recurso que proporciona datos sensibles que justifican el estudio, allí radica la importancia de contar con un software especial dedicado para este análisis; para el efecto se utilizó un recurso en línea gratuito como el mostrado en la gráfica 24.

Figura 24. **Calculus, software gratuito para el análisis de riesgo**

**INGESCO** INGENIERÍA DE RIESGOS FAQ MI cuenta Cerrar sesión ES

## Crear Proyecto

**Título \***

**Tipo de Proyecto \***  **País**  **Ciudad**

**Empresa \***  **Consultor**  **Realizado por**

**Código obra**  **Versión**

**Cerrar y continuar**

- 1. Localización
- 2. Dimensiones de la estructura
- 3. Características de la estructura
- 4. Influencias ambientales

### 1. Localización \*

**Obtener localización**

Ingrese una dirección / localidad / Google map URL en el campo de texto o también puede dar click en el mapa para colocar un marcador

Mapa Satélite



**Iniciar proyecto**

Fuente: Ingesco (2002). *Análisis de Riesgo*. Consultado el 23 de julio de 2020. Recuperado de <http://www.ingesco.com/software/>

## 2.4. Ensayos

La construcción del complejo que alberga una gran cantidad de oficinas y locales comerciales inicio en el año 2010. Desde entonces se mantienen los

mismos registros de los parámetros eléctricos medidos, los cuales al transcurrir del tiempo han sido alterados por las inclemencias del clima.

Para tener datos actualizados se buscó apoyo de terceros quienes colaboraron con el equipo de medición (telurómetro digital marca Megabras modelo *EM 4055*), el cual fue utilizado para medir la resistividad del suelo. Las mediciones se realizaron en los edificios B13, B22, B23, B31.

Para la medición de la resistividad del suelo se utilizó el método de Werner. Para este proceso se utilizó telurómetro digital EM 4055 con las siguientes especificaciones.

Figura 25. **Telurómetro utilizado para medición**



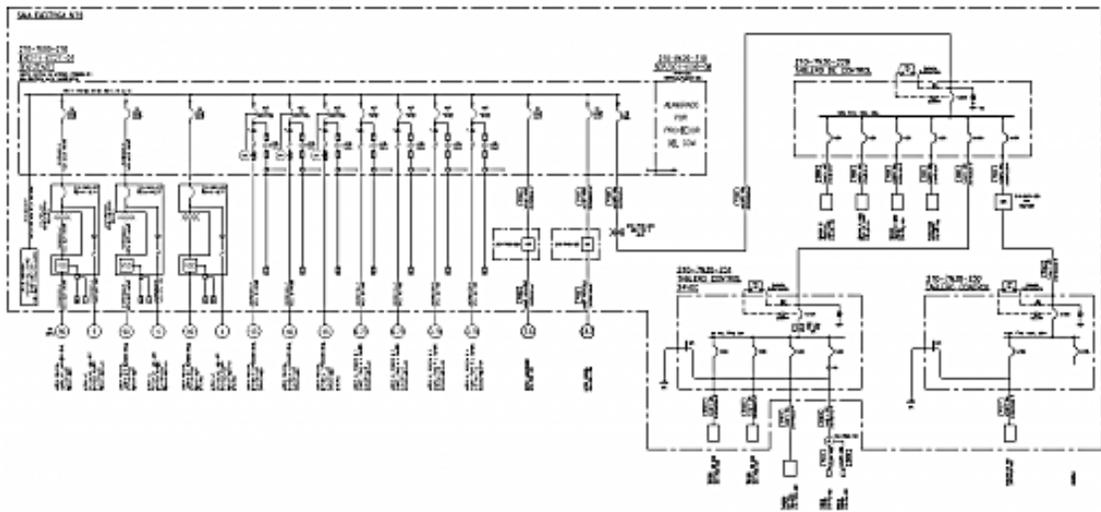
#### Resistencia de puesta a Tierra

- Resistividad del suelo (método de Werner)
- Alta inmunidad a las interferencias
- Medición de las tensiones espurias
- Resolución de 0,01  $\Omega$
- Rango de medición hasta 20 k $\Omega$
- Dos frecuencias de medición: 1470Hz y 270Hz
- Memoria interna
- Impresora incorporada (opcional)
- Interface USB

Fuente: Megabras (2020). *Telurómetro Digital de Alta Frecuencia*. Consultado el 20 de julio de 2020. Recuperado de <https://www.megabras.com/es/productos/telurometro>

Para el circuito de pararrayo se analizó el diagrama unifilar proporcionado en digital por parte del jefe de mantenimiento.

Figura 26. Diagrama unifilar del edificio B02



Fuente. elaboración propia, utilizando demo del software Elec Calc.

Para el proceso de medición de los pararrayos instalados en los edificios (B02, B19, B28, B31, B32, B34 y B36) se utilizó el instrumento As tester Pro mostrado en la gráfica 27 con sus respectivas características; para este proceso fue necesario la intervención de un técnico asignado. La explicación del proceso se detalla en el manual estándar de operación ubicado en el anexo 13.

Figura 27. **Tester de medición de un pararrayo**



Excelente Dispositivos.  
Rango de salida: 5000 V  
Parámetros de cebado del pararrayos: 0.3 mA  $\pm$  2%  
Batería: 7,2V / 1200 mAh  
Temperatura de funcionamiento: -20 °C ... +50 °C  
Dimensiones del medidor: 145 x 95 x 35 mm  
Dimensiones del estuche: 290 x 240 x 100 mm  
Peso: 288 gr  
Pero con estuche: 881 gr.

Fuente. Aiditec (2018). *AS Tester PRO*. Consultado el 17 de julio de 2020. Recuperado de <https://www.aiditecsystems.com/as-tester/>

### **3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

La correcta aplicación de técnicas preventivas para detectar fallas eléctricas en dispositivos que son exigidos eventualmente, pero su respuesta deberá ser óptima para reducir fallos que produzcan costos dependen en gran medida de técnicas de mantenimiento eléctrico y mecánicos. En el presente capítulo son mostrados los resultados obtenidos del análisis de medición, después de implementar las técnicas presentadas previamente en los antecedentes para proveer fallas en un sistema de tierras y apantallamiento eléctrico.

Después de realizar mediciones y tabularlos para procesar un dato estadístico que permitan una tendencia basados en algunas normas. Y así, poder verificar si los resultados son óptimos para la implementación de mejoras recomendadas.

#### **3.1. Resultado del análisis de riesgo**

El estudio es utilizado para respaldar la importancia de un sistema de protección y la propuesta es el resultado del estudio, proponiendo un plan de mantenimiento basado en parámetros eléctricos (resistividad, área de cobertura, estado físico de los captadores y complementos), la respuesta ante una falla y viabilidad para disminuir los sucesos de fallas.

A continuación, se detallan los aspectos referentes al estudio del centro comercial, como el análisis de riesgo, ubicación de los equipos, área de cobertura, datos técnicos.

El centro comercial cuenta con aproximadamente 35 edificaciones de diferente envergadura. En un estudio que analiza el nivel de riesgo utilizando un software gratuito de la empresa INGESCO para realizar el cálculo del nivel de protección ante una descarga eléctrica (rayo) según las normativas IEC 62.305-2.

*Calculus*, es una herramienta que únicamente permite realizar el estudio a una construcción por ser herramienta sin costo. El software necesita información para procesar el análisis; la información es codificada en datos numéricos para realizar el cálculo; en la tabla IX se muestra la información parcial de todos los datos ingresados en el software (los datos son parciales para que el análisis de la tabla no sea muy complejo). Este recurso proporciona un informe donde detalla toda la información codificada, para no hacer muy extenso este documento en el anexo 9 se puede observar el informe generado para el análisis del edificio 1 (más adelante se describe el plan de ordenamiento utilizado para este análisis).

Tabla VIII. Análisis de riesgo aplicado a cada construcción

Item	Dimensiones de la estructura			Características de la estructura				Influencias ambientales				Características de las líneas				Tipo de pérdidas				Medidas de protección	
	Tipo de edificación	L	W	H	Riesgo de fuego	Tipo de edificio	Ubicación de la persona	Ubicación de la estructura	Factor medioambiental	Día de tormenta/año	Numero de líneas entrantes	Tipo de línea	Factor de instalacion de línea	Tipo de cableado	Tipo 1: Daños físicos	Tipo 2: Fallo en las líneas	Tipo 3: Perida de patrimonio cultural	Tipo 4: Perdidas economicas	Nivel de proteccion	Tipo de proteccion	
1	urbano	66.32	37.81	16	0.01	0.5	0.01	0.5	0.1	40	10	1	0.5	0.001	0.05	0.01	0.1	0.001	0.1	NA	
2	urbano	76.38	29.6	12	0.01	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.1	0.5	1	PDC	
3	urbano	38.2	43.57	16	0.01	0.5	0.01	0.25	0.25	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.1	0.5	1	NA	
4	urbano	65.04	70.2	18	0.001	0.5	0.01	0.25	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.1	0.5	1	NA	
5	urbano	64.75	27.25	12	0.01	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.1	0.5	0.1	NA	
6	urbano	50.06	47	16	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.1	0.5	0.1	NA	
7	urbano	21.72	46.66	16	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.1	0.5	0.1	NA	
8	urbano	44.85	56.75	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.1	0.5	0.1	NA	
9	urbano	36.32	28.86	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.05	0.1	NA	
19	urbano	37.32	47.11	14	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.005	1	PF	
28	urbano	51.23	54.44	14	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.05	0.1	PDC	
29	urbano	54.59	51.9	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.005	1	NA	
30	urbano	43.24	56.8	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.05	0.1	NA	
31	urbano	21.72	46.66	16	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.05	0.0001	0.05	0.01	0.001	0.05	0.1	PDC	
32	urbano	29.85	79.69	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.05	0.0001	0.5	0.1	0.001	0.05	0.1	PDC	
33	urbano	26.89	84.17	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.05	0.1	NA	
34	urbano	71.66	26.26	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.05	1	PDC	
35	urbano	78.13	58.7	12	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.5	0.0001	0.05	0.01	0.01	0.05	1	NA	
36	urbano	71.21	74.86	15	0.001	0.5	0.01	0.5	0.1	40	16	1	0.05	0.001	0.02	0.01	0.01	0.2	0.1	PF	

Fuente: Ingesco (2019). Resultados del Análisis de Riesgo. Consultado el 12 de abril de 2020. Recuperado de <https://calculus.ingesco.com/es/node/add/proyecto>

Donde

- L longitud en metros (m)
- W ancho en metros (m)
- H altura en metros (m)

En la tabla anterior se tabularon los datos necesarios para el análisis, a continuación, se muestran los resultados que genera el software *Calculus*, como se mencionó anteriormente se puede visualizar el método utilizado por este recurso en el anexo 9 al final del documento.

La tabla X proporciona los resultados del análisis; Los resultados están estimados con respecto a valores normalizados y donde estos valores no son tolerables los podemos observar en negrillas. El estudio determina la importancia de diseñar un sistema que proteja contra descargas atmosféricas (rayo) y la buena colocación de una tierra física.

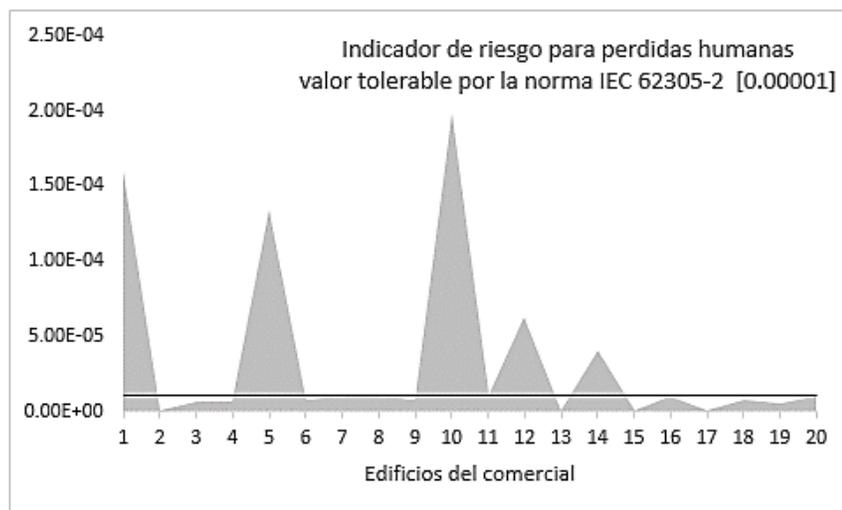
Tabla IX. **Resultados del análisis de riesgo utilizando Calculus (software libre)**

<b>RESULTADOS</b>			
Riesgo de pérdida de vida humana – R1	Riesgo de pérdida de servicios al público - R2	Riesgo de pérdida de patrimonio cultural - R3	Riesgo de pérdidas de valor económico - R4
Tolerable: 1.0E-5	Tolerable: 0.001	Tolerable: 0.0001	Tolerable: 0.001
<b>1.60E-04</b>	<b>4.00E-03</b>	<b>3.99E-03</b>	<b>8.08E-03</b>
1.28E-06	4.35E-05	1.28E-06	4.48E-05
6.63E-06	4.95E-06	4.95E-06	<b>4.27E-03</b>
6.43E-06	2.00E-04	3.59E-06	2.03E-04
<b>1.34E-04</b>	6.45E-04	<b>3.29E-04</b>	9.75E-04
8.29E-06	1.14E-04	4.50E-06	1.18E-04
<b>1.03E-05</b>	1.08E-04	7.37E-06	1.16E-04
9.97E-06	4.43E-04	7.17E-06	4.50E-04
7.42E-06	<b>1.87E-03</b>	5.45E-06	1.98E-04
<b>1.98E-04</b>	1.03E-04	6.16E-05	1.65E-04
<b>1.19E-05</b>	4.51E-04	8.48E-06	4.59E-04
<b>6.23E-05</b>	8.41E-05	6.23E-05	1.46E-04
1.18E-06	2.30E-05	1.18E-06	2.41E-05
<b>4.06E-05</b>	<b>1.98E-03</b>	7.53E-06	2.13E-04
1.23E-06	5.01E-05	1.22E-06	7.43E-06
<b>1.01E-05</b>	2.04E-04	7.25E-06	2.11E-04
1.19E-06	2.70E-05	1.18E-06	8.51E-06
7.63E-06	1.26E-04	9.58E-06	2.24E-04
5.18E-06	4.50E-05	2.07E-06	4.70E-05

Fuente: elaboración propia.

Cada columna proporciona los resultados de cuatro aspectos importantes a analizar como lo son las pérdidas humanas, perdidas al servicio público, perdidas del patrimonio cultural y perdidas al valor económico. Datos tomados a cada uno de los 36 edificios en el comercial.

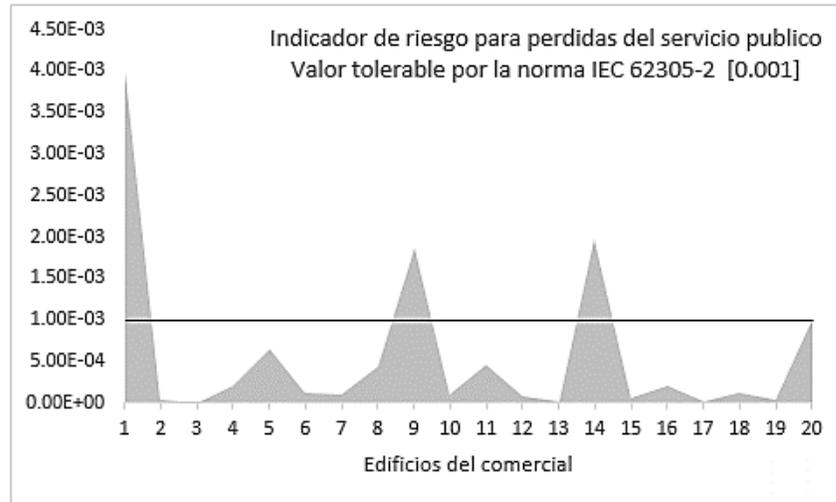
Figura 28. **Indicador de riesgo para pérdidas humanas**



Fuente: elaboración propia.

El aspecto al valor humano muestra mayores niveles de riesgo, la línea transversal representa el valor que determina la norma; por tanto, los valores por encima representan factores de riesgo.

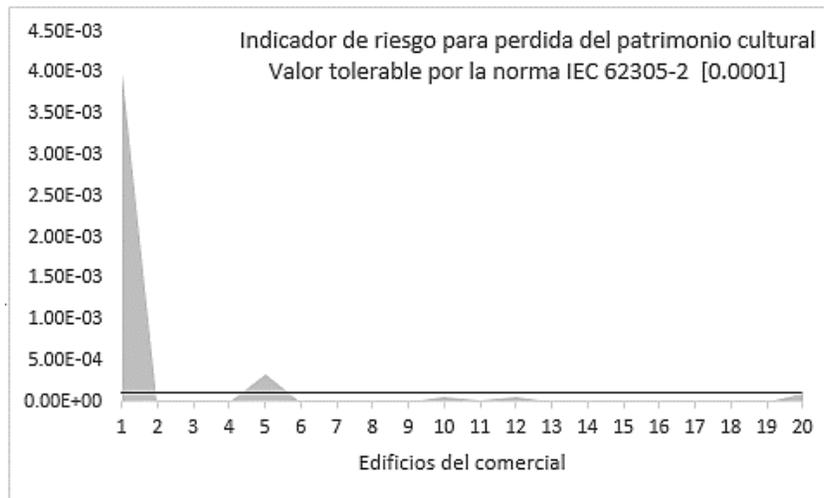
Figura 29. **Indicador de riesgo para pérdidas del servicio público**



Fuente: elaboración propia.

La línea transversal indica el valor establecido por la norma, todos los valores por encima representan factores de riesgo.

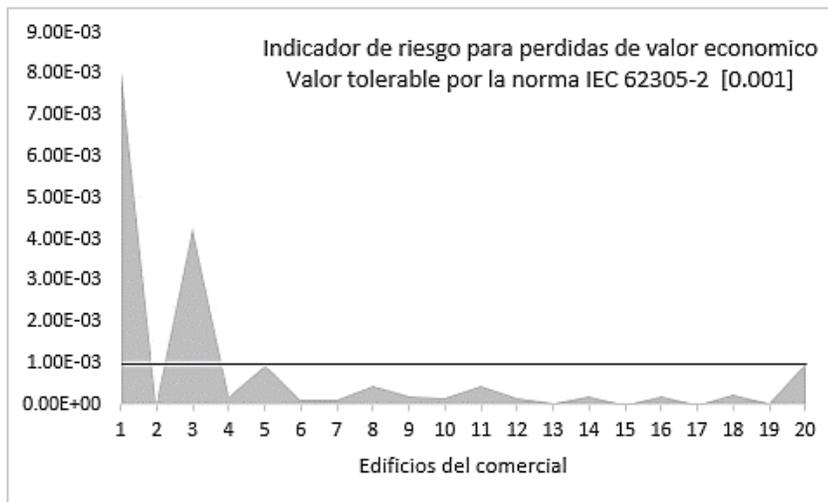
Figura 30. **Indicador de riesgo para la pérdida del patrimonio cultural**



Fuente. elaboración propia.

La línea transversal indica el valor establecido por la norma, todos los valores por encima representan factores de riesgo.

Figura 31. **Indicador de riesgo para pérdidas de valor económico**



Fuente: elaboración propia.

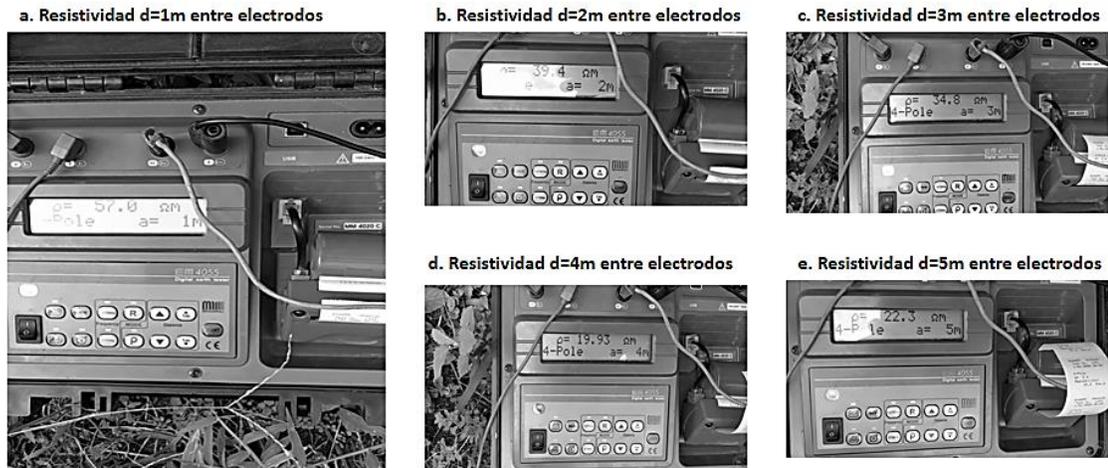
La línea transversal indica el valor establecido por la norma, todos los valores por encima representan factores de riesgo.

### 3.2. Análisis de resistividad del suelo

El acceso libre a los edificios es restringido, motivo por el cual únicamente fueron censados un grupo de edificios, midiendo la resistividad. Para realizar mencionada medición se utilizó el telurómetro mencionado en la sección anterior. Como muestra de los datos tomados se representan en la gráfica 32 la toma a uno de ellos.

Figura 32.

**Datos de resistividad tomados con el telurómetro a un edificio**



Fuente: [Fotografía de Pablo Marroquín]. (Centro Comercial zona 16. 2020). Colección particular. Guatemala.

Con los datos tomados se construye la tabla XI, valores que representan la resistividad del suelo de seis edificios. Para realizarlo, introducimos los valores en la formula (14) de Werner

$$R = \frac{4\pi\rho d}{1 + \frac{2d}{\sqrt{d^2+4p^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2+p^2}}} \quad (14)$$

Donde

- R Resistencia en  $\Omega \cdot m$
- P Resistividad medida por el telurómetro
- d Distancia entre electrodos
- p Profundidad de aterramiento de los electrodos

La región de cobertura de un electrodo es esférica con centro en el electrodo, el método indica que la medición realizada a un distanciamiento  $a$  es el equivalente a la profundidad del electrodo. Los valores de la primera línea de la anterior tabla X se calculan de la siguiente manera, los datos introducidos en la fórmula 14 representan la profundidad  $p$ , distanciamiento  $d$  y la resistividad  $\rho$  medida con el telurómetro.

Ejemplo para la primera línea.

Resistividad para un metro de profundidad.

$$R(1m) = \frac{4\pi(6.89)(1)}{1 + \frac{2(1)}{\sqrt{(1)^2 + 4(0.5)^2}} - \frac{(1)}{\sqrt{(1)^2 + (0.5)^2}}} = 57$$

Resistividad para dos metros de profundidad.

$$R(2m) = \frac{4\pi(2.85)(2)}{1 + \frac{2(2)}{\sqrt{(2)^2 + 4(0.5)^2}} - \frac{(2)}{\sqrt{(2)^2 + (0.5)^2}}} = 39.4$$

Resistividad para tres metros de profundidad.

$$R(3m) = \frac{4\pi(1.76)(3)}{1 + \frac{2(3)}{\sqrt{(3)^2 + 4(0.5)^2}} - \frac{(3)}{\sqrt{(3)^2 + (0.5)^2}}} = 34.8$$

Resistividad para cuatro metros de profundidad.

$$R(4m) = \frac{4\pi(0.77)(4)}{1 + \frac{2(4)}{\sqrt{(4)^2 + 4(0.5)^2}} - \frac{(4)}{\sqrt{(4)^2 + (0.5)^2}}} = 19.93$$

Resistividad para cinco metros de profundidad.

$$R(5m) = \frac{4\pi(0.70)(5)}{1 + \frac{2(5)}{\sqrt{(5)^2 + 4(0.5)^2}} - \frac{(5)}{\sqrt{(5)^2 + (0.5)^2}}} = 22.3$$

Resistividad para seis metros de profundidad.

$$R(6m) = \frac{4\pi(0.41)(6)}{1 + \frac{2(6)}{\sqrt{(6)^2 + 4(0.5)^2}} - \frac{(6)}{\sqrt{(6)^2 + (0.5)^2}}} = 15.6$$

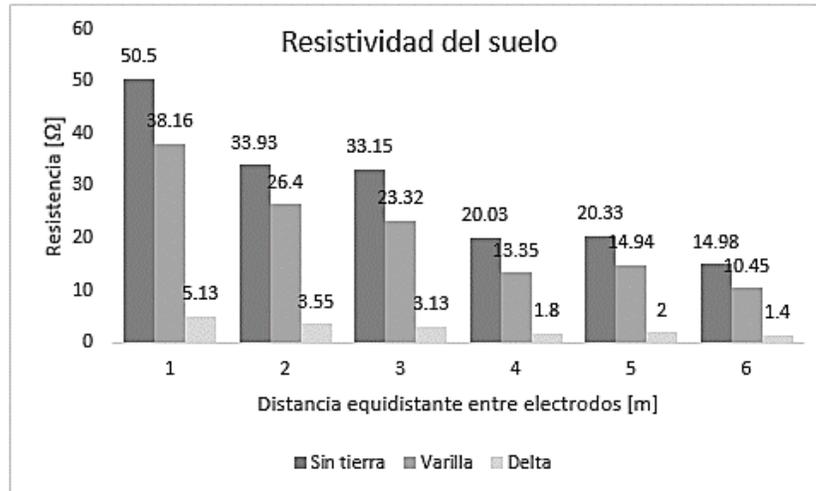
Tabla X. **Resistividad del suelo medido a seis edificios elegidos aleatoriamente**

Tipo de suelo													
Precipitaciones normales (1500 msnm)													
Valores medidos													
Profundidad de los electrodos 0.5 mts.													
edificio	Valor 1 m		Valor 2 m		Valor 3 m		Valor 4 m		Valor 5 m		Valor 6 m		
	MED	R[Ω]	MED	R[Ω]	MED	R[Ω]	MED	R[Ω]	MED	R[Ω]	MED	R[Ω]	
<b>B07</b>	6.89	57	2.85	39.4	1.76	34.8	0.77	19.93	0.7	22.3	0.41	15.6	
<b>B09</b>	6.42	53.2	2.74	37.9	1.67	33.1	0.78	20.2	0.67	21.4	0.39	14.9	
<b>B13</b>	6.05	50.1	2.21	30.6	1.74	34.4	0.84	21.6	0.62	19.9	0.42	16.2	
<b>B27</b>	5.03	41.7	2.01	<b>27.8</b>	1.53	30.3	0.71	18.4	0.49	17.7	0.35	13.2	
<b>Sin tierra</b>	6.1	50.5	2.5	33.9	1.7	33.2	0.8	20	0.6	20.3	0.4	15	
<b>Varilla</b>	4.6	38.2	1.9	26.4	1.2	23.3	0.5	13.4	0.5	14.9	0.3	10.5	
<b>Delta</b>	0.6	5.13	0.3	3.55	0.2	3.13	0.1	1.8	0.1	2	0	1.4	

Fuente: elaboración propia.

La tabla muestra el promedio de resistividad tomada a cuatro edificios (B07, B09, B13 y B27) sin electrodo de tierra, muestras de un edificio (B36) con varilla simple enterrada y la medida tomada a un edificio con tierra física en delta (B34).

Figura 33. **Gráfica de tendencia de la resistividad del suelo**

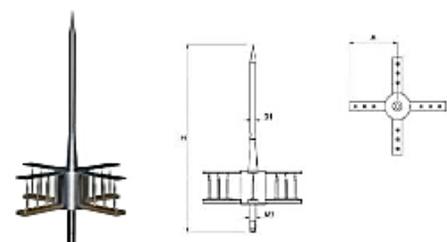


Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Zona de protección de pararrayos

Después de una inspección técnica al comercial se recolectaron datos sobre los dispositivos instalados en la parte superior de los edificios. Los parámetros de los pararrayos determinan el área de protección cubierta por cada uno, mostrada más adelante en esta sección. Los pararrayos cumplen con normas internacionales como IEC 62 305-3, UNE 21186.2011 que especifican la protección aplicada en el instante que acontece un rayo. Los datos para la elaboración de la ficha técnica fueron obtenidos de la página del fabricante ([www.ingesco.com](http://www.ingesco.com)), y corresponde a un pararrayo PDC 4.3 de la empresa Ingesco (gráfica 34), las fichas restantes se encuentran en los anexos 10 y 11 para ser observadas.

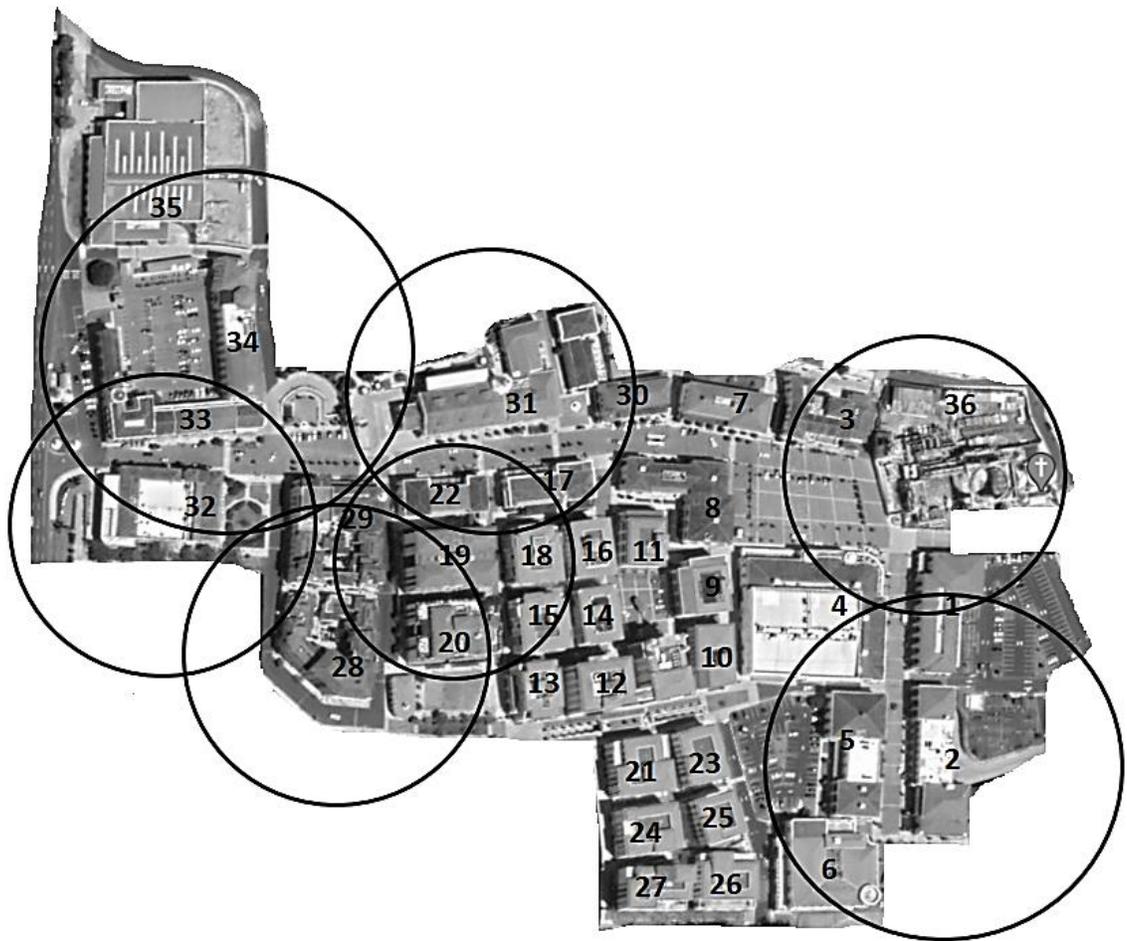
Figura 34. Ficha técnica de pararrayo PDC 4.3 de la empresa Ingesco

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA-EQUIPO							
REALIZADO POR:		Pablo Marroquín		Fecha:			
MÁQUINA-EQUIPO		Pararrayo PDC		UBICACIÓN		Edificio 2	
FABRICANTE		INGESCO		SECCIÓN			
MODELO		PDC 4.3		CÓDIGO INVENTARIO		B02PAR01-005	
MARCA							
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	3400 gr	ALTURA	598 mm	ANCHO	16 mm	LARGO	2x156 mm
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				Nivel de protección/Protection level			
Cumple con UNE-21186:2011 According to UNE-21186:2011		Si/yes					
Cumple con CTE-SU8 According to CTE-SU8		Si/yes					
Máxima corriente de descarga soportada (10/350) Maximum withstand discharge current (10/350)		L <sub>w</sub> [kA] 100					
Avance de cebado (PDC) Early Streamer Emission (ESE)		[us] 34					
Radio de protección (en metros) Protection radius (in meters)		h [ 2m ]					
		h [ 4m ]		41	47	54	61
		h [ 6m ]		52	59	69	77
		h [ 10m ]		53	61	71	80
		h [ 20m ]		54	63	74	85
		h [ 40m ]					
		h [ 50m ]					
Peso Weigh				[gr]	3400		
Material Material				Inox 316L			
Grado de protección de la envolvente Enclosure				IP 66			
CERTIFICACION							
FECHA DE MANTENIMIENTO							

Fuente: Ingesco (2002). *Ficha Técnica de Pararrayo PDC 4.3*. Consultado el 23 de julio de 2020. Recuperado de <http://www.ingesco.com/software/>

Un documento con fecha de emisión 10/07/14, donde detalla el área de cobertura por los pararrayos fue utilizada como fuente para determinar la ubicación de estos y el área de cobertura; además muestra cómo se encuentran distribuidos los edificios. La grafica 35, indica los datos antes mencionados.

Figura 35. **Área de protección cubierta por los pararrayos**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth

Con respecto a la figura 35, podemos visualizar las construcciones que cuentan con un sistema de captación de rayos (pararrayos). En la siguiente tabla (XII) podemos resumir algunos datos de importancia para el cálculo de cobertura

de protección utilizando el método de esferas rodantes. Los datos completos de los pararrayos utilizados se especifican en la ficha técnica correspondiente ubicadas en los anexos 10 y 11.

Tabla XI. **Distribución de pararrayos dentro del comercial**

No edificio	Tierra Física	Tipo	$\Delta t$ cebado ( $\mu s$ )	Nivel proteccion	altura (m)	
1	B02	PDC	4.3	34	III	12
2	B19	PF	NA		III	12
3	B28	PDC	numbus 15	15	III	14
4	B31	PDC	numbus 15	15	III	16
5	B32	PDC	numbus 15	15	III	12
6	B34	PDC	4.3	34	III	12
7	B36	PF	NA		III	18

Fuente: elaboración propia.

Radio de protección. El área de protección de una punta de captación como el pararrayo PDC está relacionada con su altura (h), tiempo de cebado y el nivel de protección, según la norma IEC 62305. La fórmula 15 que permite obtener el radio de protección es la siguiente:

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)}, \text{ para } h \geq 5 \text{ m} \quad (15)$$

Donde

- Rp radio de cobertura
- h altura del pararrayo medido desde la horizontal
- D nivel de protección I: 20 m.  
nivel de protección II: 45 m.  
nivel de protección III: 60 m.
- $\Delta L$  avance del cebado con relación a su tiempo de respuesta  $\Delta L = v * \Delta t$

donde

$\Delta t$  tiempo de respuesta en  $\mu s$

$v$  velocidad de respuesta de cebado en  $1m/\mu s$

A continuación, los datos de los parámetros físicos son introducidos en la fórmula 15 para calcular el radio de cobertura de protección por un pararrayos; en el comercial se encuentran instalados tres tipos; pararrayo PDC4.3, pararrayo PDC3.1 y puntas de franklin.

Pararrayo PDC4.3 en el edificio B02, nivel III de protección.

$$R_p(B02) = \sqrt{2(60) * (14) - (14)^2 + (34) * (2(60) + (34))} = 81.98$$

Pararrayo PDC3.1 en el edificio B28, nivel III de protección.

$$R_p(B28) = \sqrt{2(60) * (16) - (16)^2 + (15) * (2(60) + (15))} = 60.73m$$

Pararrayo PDC3.1 en el edificio B31, nivel III de protección.

$$R_p(B31) = \sqrt{2(60) * (18) - (18)^2 + (15) * (2(60) + (15))} = 62.14m$$

Pararrayo PDC3.1 en el edificio B32, nivel III de protección.

$$R_p(B32) = \sqrt{2(60) * (14) - (14)^2 + (15) * (2(60) + (15))} = 59.24m$$

Pararrayo PDC4.3 en el edificio B34, nivel III de protección.

$$R_p(B34) = \sqrt{2(60) * (14) - (14)^2 + (34) * (2(60) + (34))} = 81.98$$

Para las puntas de franklin la fórmula 16 es la siguiente:

$$R_p = 2 * h * \tan\alpha \quad (16)$$

Donde

h altura del extremo de la punta

$\alpha$  el ángulo según la altura establecida en la ficha técnica

Pararrayo punta franklin en los edificios B19 y B36, nivel III de protección.

$$R_p(B19) = 2 * 14 * \tan 60 = 48.50m$$

$$R_p(B36) = 2 * 20 * \tan 55 = 57.13m$$

Los resultados obtenidos en los cálculos son tabulados en la siguiente tabla XIII.

Tabla XII. **Datos de los radios de protección**

Edificio	Nivel de protección	Tipo de captador	Altura	Tiempo de cebado [μs]	Radio de protección [m]	Modelo	Area de protección [m <sup>2</sup> ]
B02	60	PDC	14	34	81.9756061	PDC4.3	21111.451
B19	60	PF	14		48.4974	NA	7389.001
B28	60	PDC	16	15	60.7371386	Numbus15	11589.307
B31	60	PDC	18	15	62.1369455	Numbus15	12129.66
B32	60	PDC	14	15	59.2368129	Numbus15	11023.822
B34	60	PDC	14	34	81.9756061	PDC4.3	21111.451
B36	60	NA	20		57.13	NA	10253.621
<b>Total area cubierta</b>							<b>94608.313</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Sistema de tierras

En la figura 38 se puede observar uno de los puntos de conexión a tierra (pozo a tierra) y su estado físico. Se evidencia que en su interior existen residuos o acumulación de líquido; no es óptimo, aunque los líquidos son muy buenos conductores en este caso representa falta de mantenimiento.

Figura 36. **Pozo a tierra sin mantenimiento**



Fuente: [Fotografía de Pablo Marroquín]. (Centro Comercial zona 16. 2020). Colección particular. Guatemala.

Los valores de resistividad en el suelo para cada uno de los tres casos que se presentaron corresponden a los mostrados en la tabla XIII.

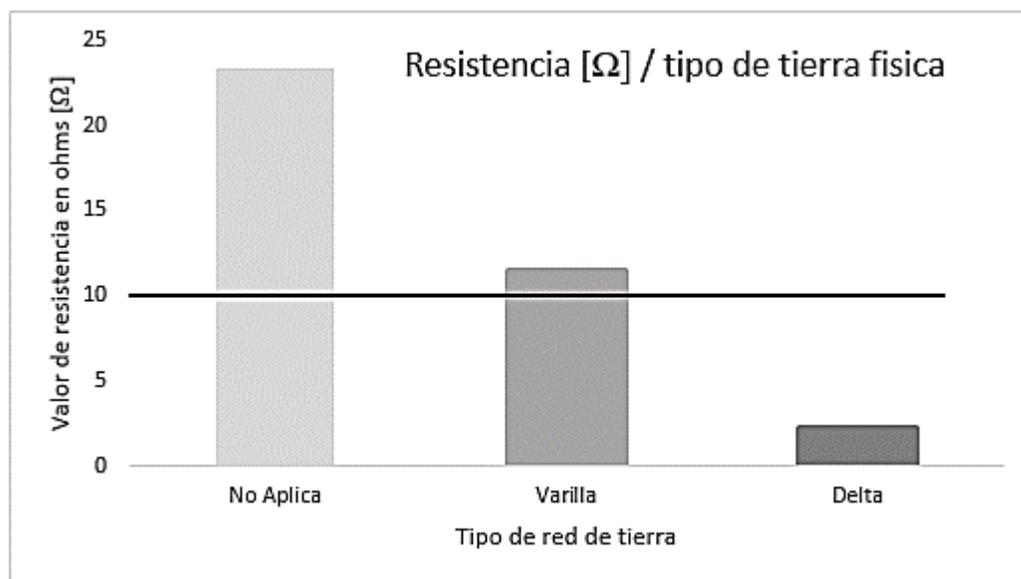
Tabla XIII. **Resumen del tipo de red de tierras instalada**

tipo de red de tierra	Datos establecidos a 10 m		
	Cantidad de edificios	resistividad promedio [ $\Omega$ ]	pararrayo
No Aplica	12	23.3	NO
Varilla	22	11.5	SI
Delta	2	2.3	SI

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis, los resultados son representados en la gráfica 40. La línea transversal indica el valor normalizado de 10  $\Omega$ .

Figura 37. **Tendencia de la resistividad según la red de tierras**

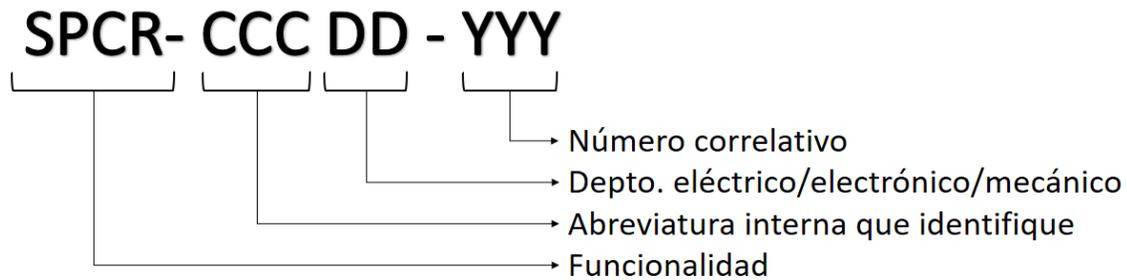


Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Sistema de control de inventario

Para la designación de códigos que faciliten el control de inventario se utilizara el sistema de codificación SKU (código alfanumérico); corresponde al sistema comúnmente utilizado en la industria. El formato por utilizar se representa en la gráfica 42, donde reúne características básicas de funcionalidad, descripción y control.

Figura 38. **Formato de código SKU para inventario**



Fuente: elaboración propia.

Ejemplo:

**SPCR-PUN01-001**

Descripción: código que representa la funcionalidad (sistema de protección contra rayo), describe el elemento (punta de franklin), el responsable (eléctrico) y el numero correlativo en inventario (001).

Tabla XIV. Control de inventario

INVENTARIO VINCULADO AL SISTEMA DE PROTECCION CONTRA RAYOS DICIEMBRE 2019

Item	Cod.	Descripcion	material	Longitud (mm)	Peso (gr)	Cant.
1	SPCR-PAR4301-010	pararrayo PDC4.3	Inox	598	3400	1
2	SPCR-PAR3101-020	pararrayo PDC3.1	Inox	387	2350	0
3	SPCR-PCM01-030	punta captadora multiple				0
4	SPCR-PIA1603-040	Pieza de adaptación 1'1/2" Ø16 RD-PL	Cu/Zn	80	765	2
5	SPCR-PIA2003-050	Pieza de adaptacion cabezal-mastil 1'1/4" Ø20 redondo	Cu/Zn	80	303	3
6	SPCR-ESPM803-060	esparragos allen M8				23
7	SPCR-PLE03-070	pletinas				9
8	SPCR-APM1503-080	anclaje de placa para mastil de 15 Ø1'1/2"	ac.galv.	153	5.8	3
9	SPCR-PIM3003-090	placa 30 invertido para mástil Ø1'1/4"	ac.galv.	141	7	0
10	SPCR-PPM3003-001	placa 30 para mástil Ø1'1/4"	ac.galv.	141	7	1
11	SPCR-MAS703-011	mastil 7,6m Ø2+Ø 1'1/2"+ Ø 1'1/4	as. Galv.	7600	30.2	0
12	SPCR-MØM603-0120	mastil 6m Ø 1'1/2" unión interior IN	Inox	6000	22	2
13	SPCR-MAS8m03-031	mastil 8m Ø2+Ø 1'1/2"+ Ø 1'1/4 unión int.	ac.galv.	8000	33.8	1
14	SPCR-MAStubo03-041	mastil (tubo galvanizado) 5,8m Ø 1'1/2" + Ø 1'1/4 ac	ac.galv.	5800	30.2	0
15	SPCR-ROSM2003-051	rosca M20	ac.	200		183
16	SPCR-ROSM1603-061	rosca M16	ac.	160		42
17	SPCR-TCHM803-071	tornillos cabeza hexagonal M8	ac.	80		28
18	SPCR-TORM803-081	tornillo M8	ac.	80		28
19	SPCR-ESPM803-0190	tornillos hexagonales M10	ac.	100		36
20	SPCR-ESPM803-0200	tornillo hexagonal M12	ac.	120		14
21	SPCR-PIA2303-0210	manguito union lineal 35x35 mm2	Cu/Zn	60	230	7
22	SPCR-PIA203-0220	Manguito lineal 35 x 50mm <sup>2</sup>	Cu/Zn	60	220	5
23	SPCR-PIA003-0230	Manguito lineal 50 x 70mm <sup>2</sup>	Cu/Zn	60	200	3
24	SPCR-PIA1803-0240	manguito union T 1 pieza	Cu/Zn	100	385	0
25	SPCR-PIA803-0250	Manguito "T" (1 pieza) 35 x 50-70mm <sup>2</sup>	Cu/Zn	100	380	2
26	SPCR-PIA2903-0260	manguito union T 2 piezas	Cu/Zn	75	495	2
27	SPCR-PIM1403-0270	Manguito pica Ø14mm-cable 50-70mm <sup>2</sup>	Cu/Zn	60	180	0
28	SPCR-PIM1803-0280	Manguito pica Ø18mm-cable 50-70mm <sup>2</sup>	Cu/Zn	60	270	0
29	SPCR-PIA1803-0290	Manguito pica Ø14mm-pletina 30x2-4 mm	Cu/Zn	70	280	4
30	SPCR-PIA503-0300	Manguito "T" (2 piezas) 35 x 50-70mm <sup>2</sup>	Cu/Zn	75	455	2
31	SPCR-MUC03-013	manguito union en cruz	Cu/Zn	148	566	0
32	SPCR-PPM103-001	protector via de chispas VX-1				0

Continuación de la tabla XIV.

33	SPCR-CCC0803-033	Conector en cruz conductor redondo Ø8-10mm	ac. Galv.	60	307	5
34	SPCR-PIM803-0340	Conector adaptable conductor redondo Ø8-10mm	ac. Galv.	40	94	1
35	SPCR-PPM3503-001	Terminal plano dentado cable 35-120mm <sup>2</sup>	Alea. Cu/Zn	42	186	0
36	SPCR-CCP03-063	Conector en cruz para pletina	Cu	52	164	2
37	SPCR-ESPM803-0370	Conexión tipo "C"	Cu	20.5	78	10
38	SPCR-CTREM3503-0380	Cable trenzado de cobre 35mm <sup>2</sup> de sección	Cu		315/m	1 bob
39	SPCR-CTREM5003-0390	Cable trenzado de cobre 50mm <sup>2</sup> de sección	Cu		500/m	1 bob
40	SPCR-CTREM7003-0400	Cable trenzado de cobre 70mm <sup>2</sup> de sección	Cu		600/m	0
41	SPCR-CTREM9503-0410	Cable trenzado de cobre 95mm <sup>2</sup> de sección	Cu		830/m	0
42	SPCR-PPM803-001	Abrazadera abatible M8 cable 50-70mm <sup>2</sup>	Zn	20	77	22
43	SPCR-AM803-0430	Abrazadera abatible con tirafondo M8 para cable de 50-70mm <sup>2</sup>	Zn	20	93	18
44	SPCR-APAM5003-0440	Abrazadera abatible con pata para cable de 50-70mm <sup>2</sup>	Zn	20	117	0
45	SPCR-CDR1103-054	CDR-11		83	290	0
46	SPCR-ESPM803-0460	Tubo blindado ac.galv.-PVC	ac.galv-PVC	3000	5000	7
47	SPCR-TPR303-074	Tubo polietileno reticulado 3mm.	PE	2500	625	5
48	SPCR-ESPM803-0480	Tubo ac. galv.	ac.galv.	2000	1900	0
49	SPCR-PIA 603-0490	Arqueta cuadrada PP con tapa de PVC	PP/PVC	300	2600	0
50	SPCR-AHC03-005	Arqueta de hormigón cuadrada	Hormigon	335	22000	1
51	SPCR-TMF03-015	Tapa y marco de fundición	Fe	337	4950	1
52	SPCR-BEA202-025	Barra equipotencial arqueta 2 bornes	Cu	159.5	405	4
53	SPCR-BEA402-035	Barra equipotencial arqueta 4 bornes	Cu	211	696	0
54	SPCR-BEA502-045	Barra equipotencial arqueta 5 bornes	Cu	262.25	870	2
55	SPCR-ESPM803-0550	QUIBACSOL 10 kg		255	10400	0
56	SPCR-PPM250003-001	Pica Ac. Cu l:2500mm Ø18mm	Ac.Cu.	2500	5250	0
57	SPCR-PPM150003-001	Pica Ac. Cu l:1500mm Ø18mm	Ac.Cu.	1500	2400	0

UNE 21.186:2011, NFC 17-102:2011 NP 4426:2013 y IEC 62.305,

Fuente: elaboración propia.

## **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los datos obtenidos durante las mediciones permitieron realizar un análisis estadístico de la tendencia o comportamiento de las variables que representaran el comportamiento del sistema de tierras, es importante recalcar que estos sistemas de tierra no se encuentran en constante funcionamiento, pero es prescindible que en el momento de ser requeridos su buen funcionamiento es vital; es por ello que las variables revelan cual podría ser su desempeño a la hora de ser requeridos. Durante la investigación se encontraron datos que proporciona información sobre los alcances y sus limitantes. Estos datos se describen por fase.

### **4.1. Fase de reconocimiento**

Durante el reconocimiento realizado al comercial, se evidencio que cada edificio es independiente uno del otro (desde el punto de vista eléctrico); el comercial no cuenta con una subestación de transformación, cada edificio cuenta con una acometida y un módulo de generación eléctrica (moto generadores); servicio de gas, aire, tv y telecomunicaciones; infraestructura de hormigo. Los equipos de captación poseen deterioro físico (oxidación, no se realizó un análisis aplicando ensayos no destructivos), así como en conductores, abrazaderas y conectores. Los pozos de tierras no reciben mantenimiento.

## 4.2. Análisis de riesgo

La norma internacional IEC 62305 establece cuatro aspectos importantes a considerar a la hora del diseño de un sistema que proteja contra rayos, en la tabla 16 son mostrados los valores del estudio que establecen aspectos en ambientes ideales. En el capítulo 3, específicamente en la tabla IX son mostrados los parámetros a considerar en el análisis realizado por el software utilizados para medir el nivel de riesgo al cual se exponen los edificios. En la tabla siguiente podemos observar que algunos edificios necesitan del servicio prestado para la protección de un rayo.

Tabla XV. **Tolerancias de riesgo según norma IEC 62305**

Tolerancias basada en normas	
Riesgo de pérdida de vida humana - R1	0.00001
Riesgo de pérdida de servicios al público - R2	0.001
Riesgo de pérdida de patrimonio cultural - R3	0.0001
Riesgo de pérdidas de valor económico - R4	0.001

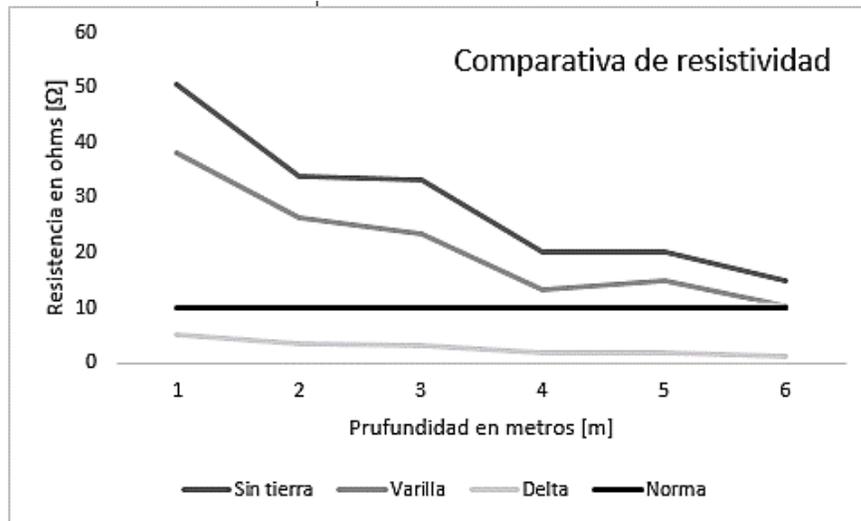
Fuente: elaboración propia.

## 4.3. Medición de resistividad

La resistividad de los suelos no es constante y se encuentra en el intervalo de  $10 \Omega$  hasta los  $10 \text{ K}\Omega \cdot \text{m}$ , el valor lo define la composición física del terreno; por norma (entre las que podemos mencionar IEEE STD 81, IEC 62305-2) se determina que el valor ideal medido en la tierra física deberá ser menor a los 10

Ω. En el capítulo 3 se tabularon las mediciones de resistividad figura 33 y según el tipo de tierras instalas figura 39.

Figura 39. **Comparativa de acuerdo con el tipo de red de**



Fuente: elaboración propia.

Donde notamos que el parámetro de la resistividad está por encima del valor deseado para la red de tierra tipo varilla y peor aun cuando no existe una red de tierra.

#### 4.4. Cobertura del pararrayo

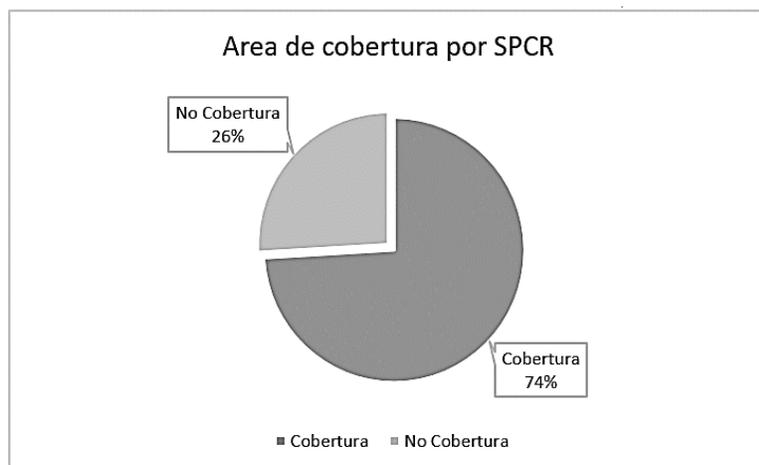
El SPCR es un sistema que protege contra las descargas de un rayo, esta protección no cubre el comercial en su totalidad, se podrá visualizar el área cubierta como la no cubierta en la tabla XVII; que corresponde al 74.05 % y 25.95% respectivamente, la figura 40 muestra estos datos.

Tabla XVI. **Área cubierta por el SPCR**

Pararrayo	Area [m <sup>2</sup> ]
Cobertura	75399.1
No Cobertura	26417.32

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Área cubierta por el SPCR en porcentaje**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Análisis externo

El estudio del estado actual de los parámetros eléctricos como la resistividad en los suelos y el aspecto físico de los pararrayos es primordial porque representan variables no controlables como lo menciona Villegas (1991) en los antecedentes. El método utilizado para la adquisición de datos y pruebas a los pararrayos se aplicó a cuatro edificios; los edificios B20, B23, B28 y B31

para la resistividad y los siete edificios B2, B19, B29, B30, B32, B34 y B36 para observar los pararrayos, que corresponden a la totalidad de pararrayos instalados en el comercial. Al comparar los datos tabulados en una norma con los obtenidos en el análisis se puede determinar un valor por encima de lo establecido, se deduce que para reducir el valor de la resistividad es necesario realizar un tratamiento químico a los pozos o haciendo mejoras en el sistema de tierra; coincidiendo con el análisis realizado por Monroy (2012) en su tesis de grado; y que, al instalar pararrayos en áreas no cubiertas se protegería toda el área del comercial en su totalidad.

Al realizar las mediciones y establecer una diversidad de valores tanto cuantitativos como cualitativos; definimos cuantitativos como los valores resistivos del suelo y cualitativos como el estado de los pozos de tierra y comprobar que se han modificado de los valores iniciales podemos evidenciar la veracidad de la información adquirida en la investigación de S.A.C. 2017.

El bajo *stock* de repuestos que mostro la realización del inventario agregado a las escasas actividades programadas para el sistema que protege contra las descargas teniendo un historial de fallas son pruebas irrefutables de la necesidad de implementar tareas de mantenimiento, Tavares (1999), describe una tendencia por parte de la administración de no brindar el interés a un sistema que brinde protección ante este fenómeno.

#### **4.6. Análisis interno**

Al efectuar la investigación se pudo constatar la existencia de validez interna; aunque existe un bajo registro de fallas reportadas comparadas con la amplitud territorial que posee el comercial, el estudio indicó que la ocurrencia a

fallas está latente debido a la desviación existente entre las mediciones realizadas para fines de la investigación y los valores que establece la norma tanto para los valores de resistividad del suelo que se establece aproximadamente en  $10\Omega$  como para los niveles de riesgos establecidos para edificaciones en centros comerciales (nivel III o IV); la nula sincronización existente entre los circuitos de aislamiento instalados en edificios; aparte de ser aislados no cubre el comercial en su totalidad.

#### **4.7. Socialización**

El proceso tiene por objetivo la integración de otras dependencias aparte de la de mantenimiento y que todo sea visualizado como un único ente administrativo; inicialmente se observó un desinterés en el tema del estudio debido a la separación que existe entre las dependencias, pero durante el desarrollo se plantearon propuestas y se intercambiaron posturas sobre los beneficios que proporcionaría darle seguimiento a los resultados obtenidos. Al unificar ideologías se puede agilizar los procesos de las mejoras expuestas en las recomendaciones.

#### **4.8. Divulgación**

La integración de actividades a los procesos actuales de mantenimiento, capacitación, charlas y la difusión de información a través de bocetos como los mostrados en el anexo 8 permitirá enriquecer las habilidades técnicas de los colaboradores perteneciente al área de mantenimiento y expandirse fuera de la misma, divulgar esta información para unificar el interés puede ser de manera práctica por medio cierto tipo de socialización entre el grupo.

## CONCLUSIONES

1. Después de realizado el estudio de resistividad dentro del comercial se evidenciaron valores por encima de los  $10\Omega$  que indica la norma, en un rango de  $28,8\Omega \pm 10,3\Omega$  en edificios que carecen de algún tipo de electrodos en tierra. Un intervalo de  $21\Omega \pm 8\Omega$  en edificios con una varilla estándar como electrodo. Mientras que al utilizar electrodos conectados en delta la resistividad disminuyo a un intervalo entre  $2,8\Omega \pm 1\Omega$ , siendo esta la mejor opción para reducir la resistividad del suelo. Los valores de resistividad muestreados provocan diferenciales de potencial y corrientes de retornos causantes de las fallas reportadas.
2. La resistividad depende de la composición del terreno y varía con el tiempo y las inclemencias del clima. Se determinó que la resistividad con un arreglo en delta es aproximadamente constante con respecto a la profundidad. Además, la resistividad se atenúa a un 20 % comparado con la ausencia de electrodos y 9 % con respecto al uso de un solo electrodo. Cada edificio es independiente y no están interconectados a través de una red general de tierras.
3. Existen actividades programadas de mantenimiento, pero no específicamente al área de protección contra rayos o que cubran el parámetro de tierras físicas. Aunque, existen fallas que se le adjudican a una mala protección por presentarse en el periodo de tormentas eléctricas no se le da el seguimiento correspondiente. El sistema o los sistemas de protección instaladas son los circuitos originales de la instalación sin

modificación los cuales han sufrido cierta degradación a causa de la exposición a los fenómenos climáticos.

4. Se evidenció desde un aspecto visual la eficiencia y disponibilidad de los colaboradores asignados al área de mantenimiento, pero por falta de información sobre los sistemas de protección contra rayos no existe una política de mantenimiento de cualquier índole que minimice la cantidad de fallas reportadas en el comercial. El comportamiento mostrado corresponde a las condiciones en que se encuentra la operación de la infraestructura debido a que los sistemas de protección contra rayos no reciben la importancia debida.
  
5. Un sistema de red de tierras aislada, o sea que no se interconecta la red de un edificio con la del otro; la resistividad con un valor superior a la norma, pozo a tierra con sedimentos, radio de protección de un pararrayo que no satisface cubrir toda el área; esto refleja un mal plan de mantenimiento y adentrándonos un poco más se evidencia poca atención al tema de las protecciones ante descargas atmosféricas. Los resultados del estudio reflejan periodos muy largos de mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

1. Modificar el sistema de tierras utilizando el mismo tipo de electrodos, preferiblemente la conexión delta (garantiza un valor más bajo de resistividad) porque permite reducir los valores de manera constante en todo el comercial; Utilizar el mismo modelo de punta captadora PDC de un rayo (existen tecnologías que mejoran este modelo, por ejemplo, PDCE) para mejorar el área de cobertura; además, agregar más elementos captadores en puntos estratégicos de tal manera que se cubra el área del comercial en su totalidad.
2. Realizar un tratamiento a los registros donde se encuentran ubicados los electrodos que permita la reducción de resistividad del terreno. En el mercado existen una diversidad de productos que van desde el agua potable hasta productos químicos que no son corrosivos, no contaminantes y no degradables que realizan este trabajo. Además, la inclusión de un arreglo de varillas interconectadas para la reducción de resistividad como lo indican las normas.
3. Implementar dentro de las capacitaciones proporcionada a los colaboradores información sobre el tema de tierras físicas y protección contra rayos, de no existir el programa o esa modalidad se podría realizar una capacitación orientadora generalizada a todos los niveles que permita unificar ideologías para dar a conocer la importancia del tema; el objetivo es agilizar los procesos de gestión y ejecución de diversos tipos de mantenimiento. Como guía se comparte una presentación general en el anexo.

4. Establecer buenas prácticas de mantenimiento y coordinar verificaciones periódicas a los edificios donde se encuentra instalado un sistema que protege contra rayos. Adicionalmente a estas verificaciones se debe documentar las actividades de mantenimiento para las protecciones contra rayos. Su aplicación dependerá de factores como pérdidas de calidad debido a los efectos climatológicos y atmosféricos, cantidad de rayos producidos y los daños ocasionados a los elementos que constituyen las protecciones (Pararrayo y punta de franklin de no ser cambiados, bajantes y electrodos).
  
5. Implementar procedimientos de mantenimiento con periodos de verificación más cortos. Abocarse a la propuesta del cronograma de actividades de mantenimiento mostrado en el anexo, donde se propone una cobertura anual a los dispositivos instalados y a los que deberían ser instalados en los edificios B08, B21 y B35 para expandir el área de cobertura a un 99,9 % el área del comercial. Además, involucrar al personal capacitándolo con charlas informativas sobre el tema, una guía o el formato de una charla de unos minutos es presentada en el anexo 15. Esta actividad tiene como objetivo concientizar a todos los colaboradores la importancia de tener un eficiente sistema de protección contra rayos.

## REFERENCIAS

1. Ángel Gasca, H. M. (2014). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Agroangel*. Pereira, Colombia. (tesis de licenciatura). Facultad de Ingeniería. Universidad de Pereira, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4620/6200046A581.pdf;jsessionid=E8DB23E597F4FE670D4CB5D10AE73714?sequence=1>.
2. Arévalo Díaz, E. Y. (2016). *Sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas en campos abiertos*. (tesis de licenciatura) Universidad de La Salle, Colombia. Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1144&context=ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1144&context=ing_electrica).
3. Chusin, E. O. (2008). *Mantenimiento Industrial*. Macas, Ecuador. Recuperado de <https://studylib.es/doc/467038/mantenimiento-industrial--autor-edwin-orlando-neto-chusin>.
4. Edd.Hg. (2011). *Blog del Ingeniero Civil*. Obtenido de Blog del Ingeniero Recuperado de Civil: [ingenieriaciviltips.blogspot.com](http://ingenieriaciviltips.blogspot.com). Consulta: julio de 2019.
5. Elsiscom. (2018). *Elsiscom Ingeniería*. Recuperado de <https://www.elsiscomingenieria.com/>. Consulta: septiembre de 2019.

6. Excelglen. (2019). *BIRT LH*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ikastaroak.ulhi.net>. Consulta: septiembre de 2019.
7. Gálvez, R. O. (julio 2020). Gestión de costos y presupuesto del mantenimiento. *Revista de ingeniería del mantenimiento* (53). Recuperado de <https://www.revistaimg.com>.
8. Garrido, S. G. (2009). *Manual Práctico para la Gestión eficaz del mantenimiento*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de [https://www.academia.edu/26600543/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_mantenimiento\\_Manual\\_pr%C3%A1ctico\\_para\\_la\\_gesti%C3%B3n\\_eficaz\\_del\\_mantenimiento\\_industrial/](https://www.academia.edu/26600543/Ingenier%C3%ADa_de_mantenimiento_Manual_pr%C3%A1ctico_para_la_gesti%C3%B3n_eficaz_del_mantenimiento_industrial/). Consulta: octubre de 2019.
9. GEDISA. (2007). *Manual de Sistemas de Puesta a Tierra*. Caracas, Venezuela. Autor. Recuperado de [www.gedisa.com.ve](http://www.gedisa.com.ve). Consulta: marzo de 2020.
10. González, J. L. (mayo 2017). Electro Industria. *Revista electrónica* (22), 9-19. Recuperado de <http://www.emb.cl/electroindustria/>.
11. Grainger, W. D. (1996). *Análisis de sistema de potencia* (2da. edición). doi: ISBN 970-10-0908-8. Consulta: noviembre de 2019.
12. Huete Serrano, M. E. (2008). *Sistema de puesta a tierra y protección para sistema de telecomunicaciones*. (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt>.

13. Ingesco. (2013). *Protección integral sostenible*. Ingesco. Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/empresa/>. Consulta: julio de 2019.
14. Institucional. (2016). *Educarex*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://eschoform.educarex.es>. Consulta: enero de 2020.
15. López, R. D. (2004). *Tecnica Industrial*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/>
16. Monroy, M. A. (2012). *Analaisis del sistema de puesta a tierra de la subestación Guatemala Este* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt>.
17. Montes, A. R. (2008). *Pararrayos-pdce*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de Pararrayos-pdce: <https://www.pararrayos-pdce.com/tipos-de-auditorias-sistemas-de-proteccion-contra-rayos/>
18. Profesional, E. d. (2020). *Ingenium*. [Mensaje en un blog]. Recuperado <https://ingenium.edu.pe>.
19. Renovetec. (2009). *Mantenimiento*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://mantenimientopetroquimica.com>.
20. Ruelas, I. R. (2001). *Ruel SA*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.ruelsa.com>.
21. SAC, S. (2017). *Saamiseg*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <http://saamiseg.com/>

22. Sarco, J. P. (2010). *Testing en español*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://josepablosarco.wordpress.com/>.
23. Suntasig, C. R. (2002). *Estudio e Implemantacion de Sistemas de Proteccion contra Descargas Atmosfericas y Puesta a Tierra de Proteccion de la Compañía*. (Tesis de licenciatura). Facultad de ingeniería de ejecución de electromecánica. Escuela Politécnica del Ejercito, Latacunga, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>.
24. Tavares, L. (1999). *Administracion Moderna del Mantenimiento*. Sao Paulo, Brasil. AMM. Recuperado de <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>.
25. Tecno-Ferran. (2016). *Tecno Protect*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.tecnoprotect.com/es/referencias/tecnologia-pdce>
26. Tecnologicas, A. (2018). *Aplicaciones Tecnológicas*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://at3w.com/inicio/s10>
27. Torres, M. (1999). *Tierras Fisicas*. Jalisco, Mexico. Totalground. Recuperado de [www.totalground.com](http://www.totalground.com).
28. Torres-Sanchez, H. (2010). *El rayo: mitos, leyendas, ciencia y tecnología*. Universidad Nacional de Bogotá, Colombia. Recuperado de [http://www.bdigital.unal.edu.co/43069/6/9587012135\\_parte%201.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/43069/6/9587012135_parte%201.pdf).

29. Vignolo, M. F. (2011). *Mallas de tierra en Alta Tensión*. Chile. Universidad Nacional del Callao Recuperado de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-callao/introduccion-al-diseno-electrico-turno-01t-ciclo-6/apuntes/apuntes-malla-de-tierra/6873705/view>.
30. Villa, L. I. (2010). *Diseño de Malla de Puesta a Tierra*. (Proyecto de graduación). Facultad de Ingeniería. Universidad Salesiana Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2113/13/UPS-GT000146.pdf>.
30. Villegas, M. M. (1991). *Subestaciones de alta y extra alta tension* (2da. edición). Colombia. Subestalta. Recuperado de [https://www.academia.edu/34461032/Subestalta\\_ext\\_alta\\_tension\\_carlos\\_felipe\\_ramirez\\_mejia\\_villegas](https://www.academia.edu/34461032/Subestalta_ext_alta_tension_carlos_felipe_ramirez_mejia_villegas).



# APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de operatividad**

Tipo de suelo				
	Precipitaciones normales (1500 msnm)			
	Valores medidos			
	Valor estándar	Valor electrodo 1	Valor electrodo 2	Valor electrodo 3

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Formato de reporte de fallas

Fecha_Elaboración	Nombre_Persona_Elabora_Informe	Puesto_Persona_Elabora_Informe	Tecnologías_Afectadas	Descripción_Falla	No_Inicial_Usuarios_Afectados	No_Estimado_Usuarios_Finales_Afectados	Fecha_Falla	Hora_Inicio_Falla	Duración_Falla	Acciones_Correctivas

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 3. Información que corresponden a los campos del apéndice 3.

No	Nombre del Indicador	Descripción del Indicador
1	Fecha de elaboración	Indicar la fecha en que se elaboró el informe de Falla de Red (dd/mm/aaaa)
2	Nombre de la persona que elabora el informe	Indicar el nombre completo (nombre, apellido paterno y apellido materno) de la persona que elaboró el informe de Fallas de red.
3	Puesto de la persona que elabora el informe	Indicar el puesto de la persona que elaboró el informe de Fallas de red.
4	Tecnologías de acceso afectadas	Indicar las Tecnologías de Acceso que fueron afectadas por la Falla. Separar las acciones por punto y coma.
5	Descripción de la Falla	Explicar de manera precisa en qué consistió la Falla y, de ser posible, cuáles fueron las causas que la originaron.
6	Número inicial de usuarios finales afectados	Indicar el número estimado de usuarios finales afectados al inicio de la Falla. Los Concesionarios, Concesionarios Mayoristas Móviles u Operadores Móviles Virtuales que operen sus propios Sistemas de Gestión y que generen Archivos de Contadores de Desempeño pueden realizar el cálculo que consideren adecuado, siempre y cuando esté bien fundamentado.
7	Número estimado de usuarios finales afectados	Indicar el número estimado de usuarios finales afectados durante la totalidad de la Falla. Precisar a detalle las consideraciones para el cálculo efectuado. Este dato es necesario siempre y cuando la Falla haya sido solucionada, de otra manera esta información deberá precisarse en un segundo reporte que el Concesionario, Concesionario Mayorista Móvil o el Operador Móvil Virtual debe presentar una vez que la Falla haya sido subsanada.
8	Fecha de la Falla	Indicar la fecha en que se presentó la Falla (dd/mm/aaaa)
9	Hora inicio de la Falla	Indicar la hora en que se presentó la Falla (hh:mm)
10	Tiempo que permaneció la Falla de red	Indicar la duración que tuvo la afectación. Si la Falla no ha sido solucionada, se deberá precisar la duración aproximada que tomará corregirla. Para este último caso, una vez que la Falla sea atendida se deberá presentar un nuevo reporte donde se actualice este dato indicando la duración real de la Falla.
11	Acciones correctivas	Enlistar de manera breve y precisa, las acciones más relevantes que se llevaron a cabo para solucionar a la Falla. Separar las acciones por punto y coma.

Fuente: elaboración propia

#### Apéndice 4. Ficha de inventario por dispositivo

CONTROL DE INVENTARIO			
Código:			
Nombre del Dispositivo:			
Documento de Formalización:	Numero y Fecha:		
Dependencia Responsable:			
Descripción del equipo			
Area de Ubicación	Carga Soportada en KW		
Fecha de Generación de la Ficha			
Control de copias:	Original:		
	Copia 1:		
	Copia 2:		
	Copia 3:		
RECORD DE MODIFICACIÓN			
Fecha	Versión	Justificación	Documento Soporte
Eliminación:	Numero y/o Fecha:		

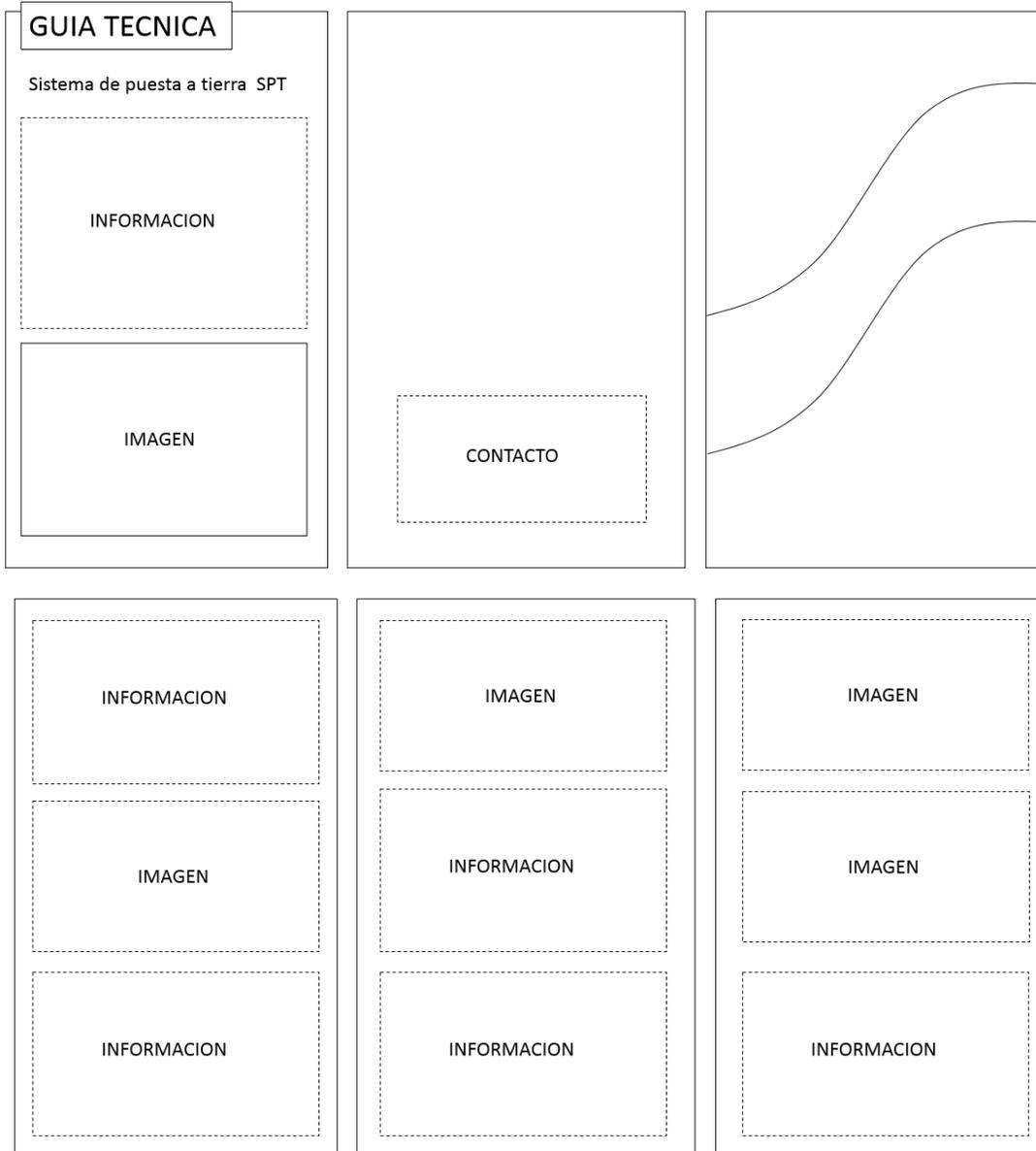
Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 5. Documento de control de mantenimiento

CÓDIGO	FORMATO	VERSIÓN						
	FORMATO No. 6 - LISTADO DE EQUIPO INSTALADO	3.0						
JEFE DE MANTENIMIENTO		PERIODO EVALUADO						
FICHA TECNICA		_____ A _____						
PROVEEDOR								
FECHA DE INGRESO	DE							
OBJETO DEL CONTRATO								
No.	No. INTERNO	EQUIPO INSTALADO			CONTROL DE USO		PRÓXIMO MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
		Modelo	Tipo	Referencia	Periodo Actual	Acumulado	No. Nr.	Actividades a efectuar
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 6. Bosquejo de folleto informativo



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Manual estándar de operación (instalación y mantenimiento a un pararrayo).**

	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>1 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

**Autor:**

\_\_\_\_\_  
 /  
 ( Nombre / Departamento ) ( Fecha ) ( Firma )

\_\_\_\_\_  
 /  
 ( Nombre / Departamento ) ( Fecha ) ( Firma )

\_\_\_\_\_  
 /  
 ( Nombre / Departamento ) ( Fecha ) ( Firma )

**Aprobación:**

\_\_\_\_\_  
 /  
 ( Nombre / Departamento ) ( Fecha ) ( Firma )

\_\_\_\_\_  
 /  
 ( Nombre / Departamento ) ( Fecha ) ( Firma )

\_\_\_\_\_  
 /  
 ( Nombre / Departamento ) ( Fecha ) ( Firma )

**Válido desde:** \_\_\_\_\_ **Vence:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 /  
 ( Nombre / Departamento ) ( Fecha ) ( Firma )

**Origen del Documento / Referencia**

\_\_\_\_\_

Continuación del apéndice 7.

	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>2 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

**Índice**

Tema	Página
1. Objetivo.....	3
2. Alcance y Áreas de Aplicación.....	3
3. Responsabilidades.....	3
4. Consideraciones generales .....	3
5. Procedimiento.....	3
5.1 Formato de Bitácora 1 .....	3
5.1.1. Información requerida.....	3
6. Documentación.....	3
HISTORIAL.....	4
Registro de distribución: .....	5
Anexo 1. ....	6

**1. Objetivo**

Estandarizar el proceso de instalación y mantenimiento de un pararrayos respaldado con la norma NFC 17-102.

**2. Alcance y Áreas de Aplicación**

Documento enfocado a todo personal, técnicos y representantes de la jefatura vinculados a la instalación y mantenimiento de los pararrayos instalados dentro del comercial.

**3. Responsabilidades**

- Ingeniero / asesor.
- Ingeniero / Jefe de mantenimiento.
- Ingeniero / Tecnicos Electricista.
- Ingeniero / Tecnicos Mecánico.

**4. Consideraciones generales**

- La punta del pararrayos debe estar situada como mínimo, dos metros por encima de la zona que protege ( incluyendo antenas, torres de enfriamiento, techos y depósitos)
- Las antenas receptoras (TV, radio, teléfono) deben conectarse mediante una vía de chispas a los conductores de bajada.
- Los cables coaxiales de las antenas deben protegerse con un dispositivo contra sobretensiones.

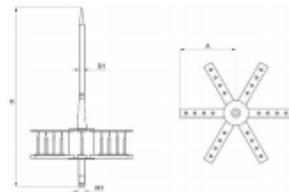
## Continuación del apéndice 7

	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>3 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

- Los elementos metálicos que sobresalgan por encima del tejado se recomiendan unirse al conductor de bajada más próximo.
- La trayectoria del conductor de bajada debe ser lo más rectilínea posible, siguiendo el trayecto más corto y evitando cualquier acodamiento brusco o remonte.
- En los acodamientos, el radio de curvatura no será inferior a 20cm.
- El cable de bajada debe instalarse por el exterior del edificio (siempre que sea posible), evitando la proximidad de conducciones eléctricas o de gas.
- Instalar un contador de rayos CDR en una de las bajantes para facilitar el mantenimiento de la instalación.
- La toma de tierra del pararrayos debe disponer de un sistema de registro para revisiones periódicas.
- La arqueta de registro debe estar provisto de un sistema seccionador que permita desconectar la toma de tierra y realizar la medición de la resistencia.
- La resistencia de la toma de tierra debe ser lo más baja posible (inferior a 10 ohmios). Este valor se medirá sobre la toma de tierra aislada de todo otro elemento de naturaleza conductora.
- Es aconsejable la unión equipotencial de la toma de tierra del pararrayos con el sistema general de tierras del edificio que se debe proteger.
- Se recomienda añadir compuesto mineral (o químico) para mejorar la conductividad del terreno.

### 5. Procedimiento

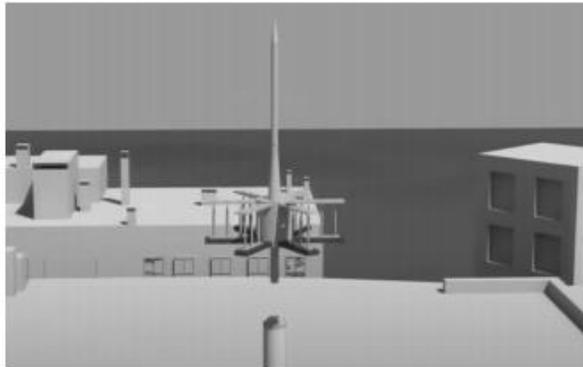
#### a. Pararrayo



- La punta del pararrayos debe estar situada, como mínimo, dos metros por encima del punto más alto de la edificación que protege.

## Continuación del apéndice 7

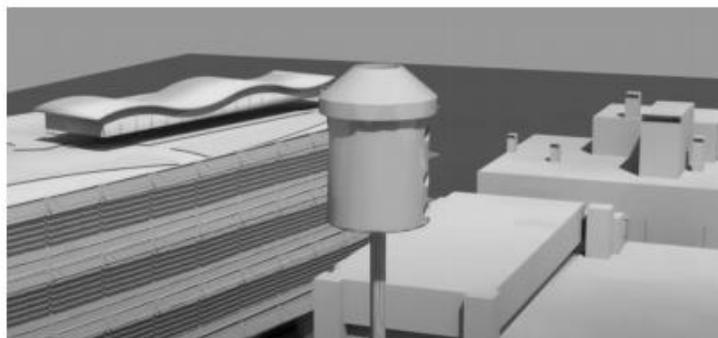
	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>4 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		



### b. Pieza de adaptación pararrayo



- Fijación del conductor de cable o pletina por la parte inferior mediante dos esparragos allen M8 en el modelo para cable, y dos tornillos de cabeza hexagonal M8 en el modelo para pletina.
- Inserción del eje del dispositivo captador mediante rosca M20 o M16
- Inserción del mástil por la parte inferior y fijación con tornillo de M8 de cabeza hexagonal de mástil, pieza de adaptación y eje del dispositivo captador.



## Continuación del apéndice 7

	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>5 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

### c. Mástil



- Acoplar el pararrayos en la parte superior del mástil mediante la pieza de adaptación y fijar ésta al mástil mediante tornillo hexagonal M8.
- Unión segura de mástiles telescópicos mediante 2 tornillos hexagonales de M10. Para los modelos con unión interior, la tornillería utilizada será de M12.



### d. Anclaje de placa



- Fijación a pared mediante tornillería M12 de cabeza hexagonal.
- Se recomienda la utilización de taco químico, para una mejor sujeción.
- Para la fijación de un mástil de 6m se precisa un juego como mínimo (2 piezas). Las piezas de anclaje deben situarse separadas.

## Continuación del apéndice 7

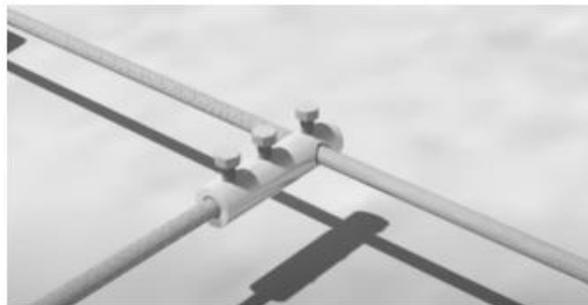
 DEVA CIOS SUD	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>6 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		



e. Uniones en T: Herramientas necesarias: Llave fija de 13 mm.



- Introducir en el manguito de conexión los extremos de los cables a unir procurando que ambos cables entren la misma longitud. Evitar que los cables queden flojos o muy tensos.
- Introducir los tornillos en los agujeros roscados.
- Apretar los tornillos hexagonales de M8 con una llave fija de 13 mm de forma que el cable quede bien fijado al manguito de conexión



## Continuación del apéndice 7

	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>xx.xx.xxxx</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>7 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

### f. Protector de chispas (vía de chispa)

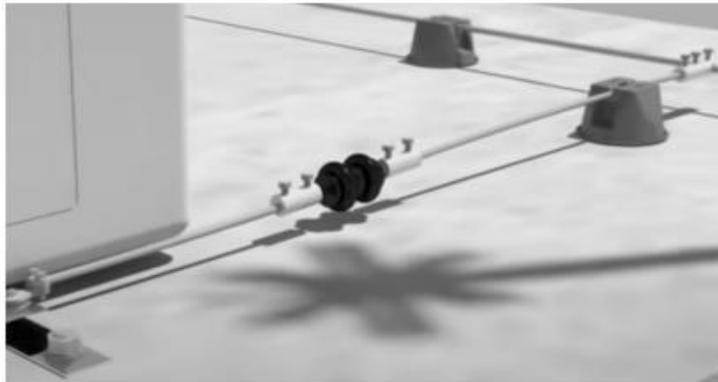


Identificar el punto más cercano entre la estructura que se desea conectar (mástil de antena, puesta a tierra...) y el conductor de bajada del sistema de protección contra el rayo.

Conectar la vía de chispas entre ambos elementos a equipotencializar mediante piezas de conexión adecuadas.

Apretar los tornillos hexagonales del manguito de conexión utilizando una llave de 13mm o una llave inglesa.

Cortar el cable sobrante e introducir el otro extremo del conductor en el manguito inferior, de forma que el conductor quede bien sujeto.



### g. Conectores



Conector en cruz



Terminal plano



Terminal en cruz para pletina

## Continuación del apéndice 7

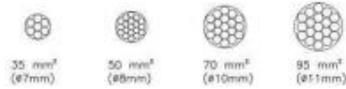
 DISTRIBUCIONES SUDAL	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>8 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		



h. Conductores: flexible y de fácil instalación.



CABLE TRENZADO DE COBRE



## Continuación del apéndice 7

	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>9 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

i. Abrazaderas de pared: Dos tipos de fijación en función del tipo de pared:



- Pared hueca (ladrillo): Modelo tirafondo.
- Pared maciza (hormigón): Modelo espiga.
- Chapa metálica: Modelo con pata + tornillos autorroscantes.



j. Contador de rayos: El contador de descargas de rayos CDR-11 es un dispositivo diseñado para detectar los impactos de rayos en las instalaciones de protección externa contra el rayo (puntas captadoras, pararrayos PDC, sistemas pasivos...). El CDR-11 detecta la corriente eléctrica que se deriva a tierra a través de conductor de bajada cuando se produce un impacto de rayo. El dispositivo registra cada uno de los impactos incrementando en una unidad el contador electromecánico. El CDR-11 se instala en la bajante del pararrayos, y no precisa de ningún tipo de alimentación externa, ya que utiliza la propia energía del rayo para su funcionamiento.



## Continuación del apéndice 7

 DISTRICTO SUR DE LIMA	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>10 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

k. Protección de conductores de bajada (tubos galvanizados)



Tubo o perfil para la protección mecánica del tramo inferior del conductor de bajada en un sistema de protección externa contra el rayo.



## Continuación del apéndice 7

 INVERCIÓN SINGI	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>11 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

### I. Señalización de seguridad



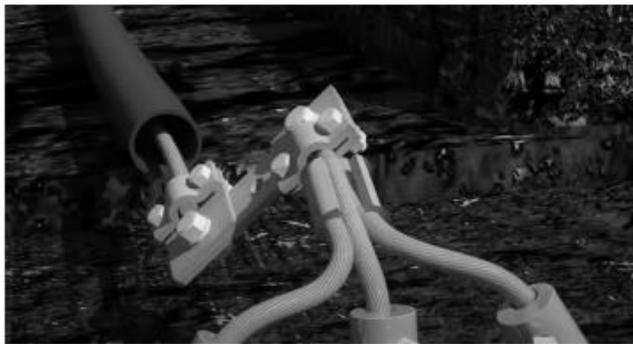
### m. Arquetas y tapas de puesta a tierra



## Continuación del apéndice 7

 DISTRIBUCIONES SAMBI	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>12 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

### n. Barras equipotenciales



### o. Compuesto mineral



Introducir el QUIBACSOL® diluido en agua mediante un tubo de humidificación expresamente ubicado para esta función; o bien directamente en la perforación realizada para la introducción de la pica.

La proporción recomendada para la disolución en agua del QUIBACSOL®, es de 10l de agua por cada kilogramo de compuesto mineral. Remover enérgicamente para obtener una mezcla homogénea.

## Continuación del apéndice 7

	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>13 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

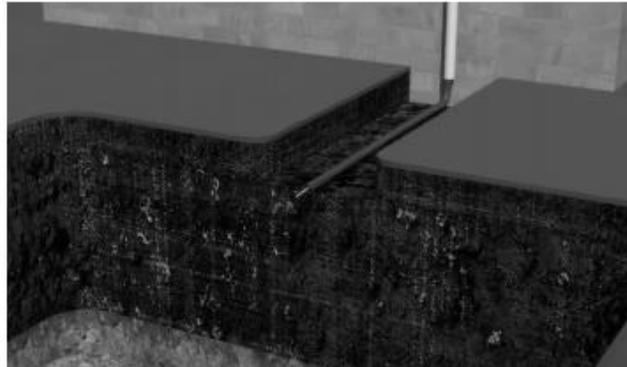
- p. Conductor de pica a tierra: Herramientas necesarias: Llave fija de 13 mm.



Introducir en el manguito de conexión los extremos de los cables a unir procurando que ambos cables entren la misma longitud. Evitar que los cables queden flojos o muy tensos.

Introducir los tornillos en los agujeros roscados.

Apretar los tornillos hexagonales de M8 con una llave fija de 13 mm de forma que el cable quede bien fijado al manguito de conexión.



## Continuación del apéndice 7

 DEVA (DIRECCIÓN EJECUTIVA DE VIGILANCIA Y ACREDITACIÓN)	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>14 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

### q. Varillas de cobre



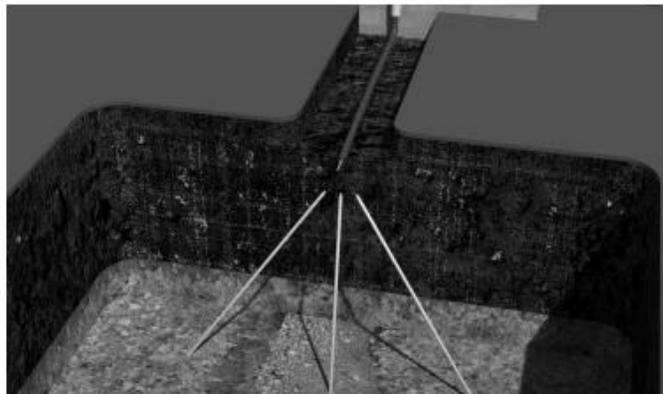
Introducir las picas verticalmente en el terreno, dispuestas en línea o en triángulo y espaciadas equidistantemente.

Conectar las picas entre sí mediante un cable de sección suficiente.

En el caso de un sistema de protección externa contra el rayo, el cable de conexión a la puesta a tierra debe de igual material y sección que el de la bajante del pararrayos.

Para mejorar la conductividad del terreno puede añadirse compuestos mejoradores, como QUIBACSOL, en líquido o en polvo.

Instalar un sistema de registro que permita realizar futuras revisiones (arqueta de registro) con un sistema que permita el conexionado y la desconexión de las picas de tierra.

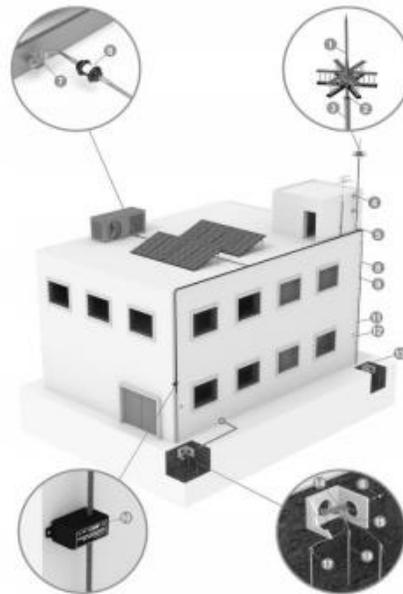




## Continuación del apéndice 7

 INSTALACIONES SAGDI	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>16 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

Indicar el área a la que se aplicó el mantenimiento basado en la grafica sigulente



### 6. Documentación

Manuales

Ficha técnica

Orden de trabajo

Nota de inventario

Continuación del apéndice 7

 <small>DISTRICCIÓN SUDHI</small>	<b>MANUAL DE UN PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACION</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>17 de 17</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE LA INSTALACION DE UN SPCR</b>		

**HISTORIAL**

Fecha	Edición	Autor	Descripción del cambio

**Registro de distribución:**

Id.	Departamento	Responsable	No. de Copias	Recibido por: (Firma y Fecha)	Recepción de copias edición anterior: (Firma y Fecha)
Total					

**Anexo 1.**

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 8. Manual estándar de operación (prueba de medición a un pararrayo)

	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓN</b> <b>PROCEDIMIENTO</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>1 de 6</b>
<b>MANTENIMIENTO DE UN PARARRAYO (MEDICIÓN)</b>		

**Autor:**

/	/	/
(Nombre / Departamento)	(Fecha)	(Firma)
/	/	/
(Nombre / Departamento)	(Fecha)	(Firma)
/	/	/
(Nombre / Departamento)	(Fecha)	(Firma)

**Aprobación:**

/	/	/
(Nombre / Departamento)	(Fecha)	(Firma)
/	/	/
(Nombre / Departamento)	(Fecha)	(Firma)
/	/	/
(Nombre / Departamento)	(Fecha)	(Firma)

**Válido desde:** \_\_\_\_\_

**Vence:** \_\_\_\_\_

/	/	/
(Nombre / Departamento)	(Fecha)	(Firma)

**Origen del Documento / Referencia**

Continuación del apéndice 8.

 <small>INSTALACIONES SUDU</small>	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓNPROCEDIMIENTO</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>2 de 6</b>
<b>MANTENIMIENTO DE UN PARARRAYO (MEDICIÓN)</b>		

**Índice**

Tema	Página
1. Objetivo.....	3
2. Alcance y Áreas de Aplicación.....	3
3. Responsabilidades.....	3
4. Consideraciones generales.....	3
5. Procedimiento.....	3
5.1 Formato de Bitácora 1.....	3
5.1.1. Información requerida.....	3
6. Documentación.....	3
HISTORIAL.....	4
Registro de distribución:.....	5
Anexo 1. ....	6

**1. Objetivo**

Estandarizar los procedimientos para la realización de pruebas en el pararrayos respaldado con la norma NFC 17-102

**2. Alcance y Áreas de Aplicación**

Documento enfocado a todo personal, técnicos y representantes de la jefatura vinculados a la instalación y mantenimiento de los pararrayos instalados dentro del comercial.

**3. Responsabilidades**

- Ingeniero / asesor.
- Ingeniero / Jefe de mantenimiento.
- Ingeniero / Tecnicos Electricista.
- Ingeniero / Tecnicos Mecánico.

**4. Consideraciones generales**

- Dispositivo limitador de sobre tensión compuesto por varistores de oxidos metalicos
- Deberá tener una conexión directa a la red de tierra física.
- El pararrayo debe estar empotrado en su respectiva base con una firme sujeción.
- El conductor instalado sea de 2/0

## Continuación del apéndice 8.

	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓNPROCEDIMIENTO</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>3 de 6</b>
<b>MANTENIMIENTO DE UN PARARRAYO (MEDICIÓN)</b>		

### 5. Procedimiento

a. Recepción del instrumento de medición.

a.1. instrumento de medición (tester)

a.2. Dos cables para conexión (rojo y negro)

a.3. Porta instrumento (color negro)



b. Dirigirse al edificio donde se encuentra instalado el pararrayo, desmontarlo del mástil y realizar la medición correspondiente.

b.1. Los cables poseen lagartos en una de sus terminales las cuales se deberán conectar; el rojo a la parte activa (eje) y el negro a la masa. (carcasa).



Continuación del apéndice 8.

	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓN PROCEDIMIENTO</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>4 de 6</b>
<b>MANTENIMIENTO DE UN PARARRAYO (MEDICIÓN)</b>		

- c. Las mediciones que realiza el tester consisten en la resistencia aparente del pararrayo, la funcionalidad de los varistores y componentes activos y la capacidad de carga.



**5.1 Formato de Bitácora 1**

Asegurar que la información generada por las diferentes unidades administrativas, no se pierda y esté disponible en caso de cualquier contingencia, como fallas provocadas al patrimonio o a la infraestructura instalada en el edificio correspondiente, o el deterioro parcial o total del pararrayo-conductor-red de tierra.

ACTIVIDAD	FECHA DE EJECUCIÓN	CAPTADOR		RESPONSABLE	OBSERVACIONES
		PR	PF		

## Continuación del apéndice 8.

 <p>INSTRUCCIONES SIDA</p>	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓNPROCEDIMIENTO</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>5 de 6</b>
<b>MANTENIMIENTO DE UN PARARRAYO (MEDICIÓN)</b>		

### 5.1.1. Información requerida

Actividad

- a. Mantenimiento
- b. Reparación
- c. Pruebas

Fecha de ejecución

Edificio

Responsable

- a. Jefe/ técnico
- b. Eléctrico/ Mecánico

Observaciones

- a. Datos obtenidos en la medición
- b. Actividad sugerida de proceder

### 6. Documentación

Ficha de salida

Orden de trabajo

Manuales

Credenciales correspondientes

Continuación del apéndice 8.

 <small>INSTALACIONES SUDAM</small>	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO ESTANDAR DE OPERACIÓNPROCEDIMIENTO</b>	Documento N.: <b>XX.XX.XXXX</b> Edición N.: <b>1</b> Página: <b>6 de 6</b>
<b>MANTENIMIENTO DE UN PARARRAYO (MEDICIÓN)</b>		

**HISTORIAL**

Fecha	Edición	Autor	Descripción del cambio

**Registro de distribución:**

Id.	Departamento	Responsable	No. de Copias	Recibido por: (Firma y Fecha)	Recepción de copias edición anterior: (Firma y Fecha)
Total					

**Anexo 1.**

Fuente: elaboración propia

## Apéndice 9. Ficha de seguimiento de una rutina de mantenimiento



### EVALUACION ANUAL DE CONDICIONES AL SISTEMA DE PROTECCION CONTRA RAYOS

Jefe de mantenimiento: \_\_\_\_\_  
 Fecha de edición: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_  
 Departamento: \_\_\_\_\_

Edificio	Equipo	Estado actual	END Manto.				Semana Inicial	Meses																																															
			V	M	Pr	C		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre																																				
B2	Pararrayo FDC4.3	Instalado					2	1	2	3	4																																												
	Conductores		2	1	2	3	4																																																
	Conex., Abra., Tub.		2	1	2	3	4																																																
	Pozo tierra		2	1	2	3	4																																																
B8	Pararrayo FDC4.3	Propuesta					2																																																
	Conductores		2																																																				
	Conex., Abra., Tub.		2																																																				
	Pozo tierra		2																																																				
B19	Punta Franklin	Instalado					6																																																
	Conductores		6																																																				
	Conex., Abra., Tub.		6																																																				
	Pozo tierra		6																																																				
B21	Pararrayo FDC4.3	Propuesta					6																																																
	Conductores		6																																																				
	Conex., Abra., Tub.		6																																																				
	Pozo tierra		6																																																				
B28	Pararrayo N15	Instalado					10																																																
	Conductores		10																																																				
	Conex., Abra., Tub.		10																																																				
	Pozo tierra		10																																																				
B31	Pararrayo N15	Instalado					2																																																
	Conductores		2																																																				
	Conex., Abra., Tub.		2																																																				
	Pozo tierra		2																																																				
B32	Pararrayo N15	Instalado					14																																																
	Conductores		14																																																				
	Conex., Abra., Tub.		14																																																				
	Pozo tierra		14																																																				
B34	Pararrayo FDC4.3	Instalado					6																																																
	Conductores		6																																																				
	Conex., Abra., Tub.		6																																																				
	Pozo tierra		6																																																				
B35	Punta Franklin	Propuesta					2																																																
	Conductores		2																																																				
	Conex., Abra., Tub.		2																																																				
	Pozo tierra		2																																																				
B36	Punta Franklin	Instalado					10																																																
	Conductores		10																																																				
	Conex., Abra., Tub.		10																																																				
	Pozo tierra		10																																																				

V: Ensayo no destructivo, inspección visual  
 M: Ensayo no destructivo, medición  
 Pr: Mantenimiento preventivo  
 Pd: Mantenimiento predictivo  
 C: Mantenimiento correctivo

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 10. **Presentación orientadora sobre la importancia de un sistema de protección contra rayos**

<b>Charla de inspección básica para un sistema de protección contra rayos</b>
<b>Alcance:</b> Tecnicos mecánicos/eléctricos/electrónicos
<b>Objetivo:</b> Informar la importancia de un SPCR
<b>Capacitador:</b>
<b>Fecha de capacitación:</b>
<b>Finalidad:</b> Esta inspección busca que el técnico de mantenimiento puede hacer una inspección superficial previa al uso de la misma, la cual no debe tardar más de 30 minutos.

### **Contenido:**

Las fallas dentro del pararrayo son factores que puede generar un accidente, por tal razón se deben proporcionar información de su funcionamiento:

- Emite un trazado de iones capaz de abrir una brecha a un rayo indicando por donde se debe conducir



- El estado de los conductores de bajada



- El uso de los medidores como el teluometro y el teste de verificación de un pararrayo.
- Aplicación correcta del método de Wenner.

**NOTA:** Como técnicos se debe reportar cualquier daño que sufra el cable, ya que esto se define como accidente

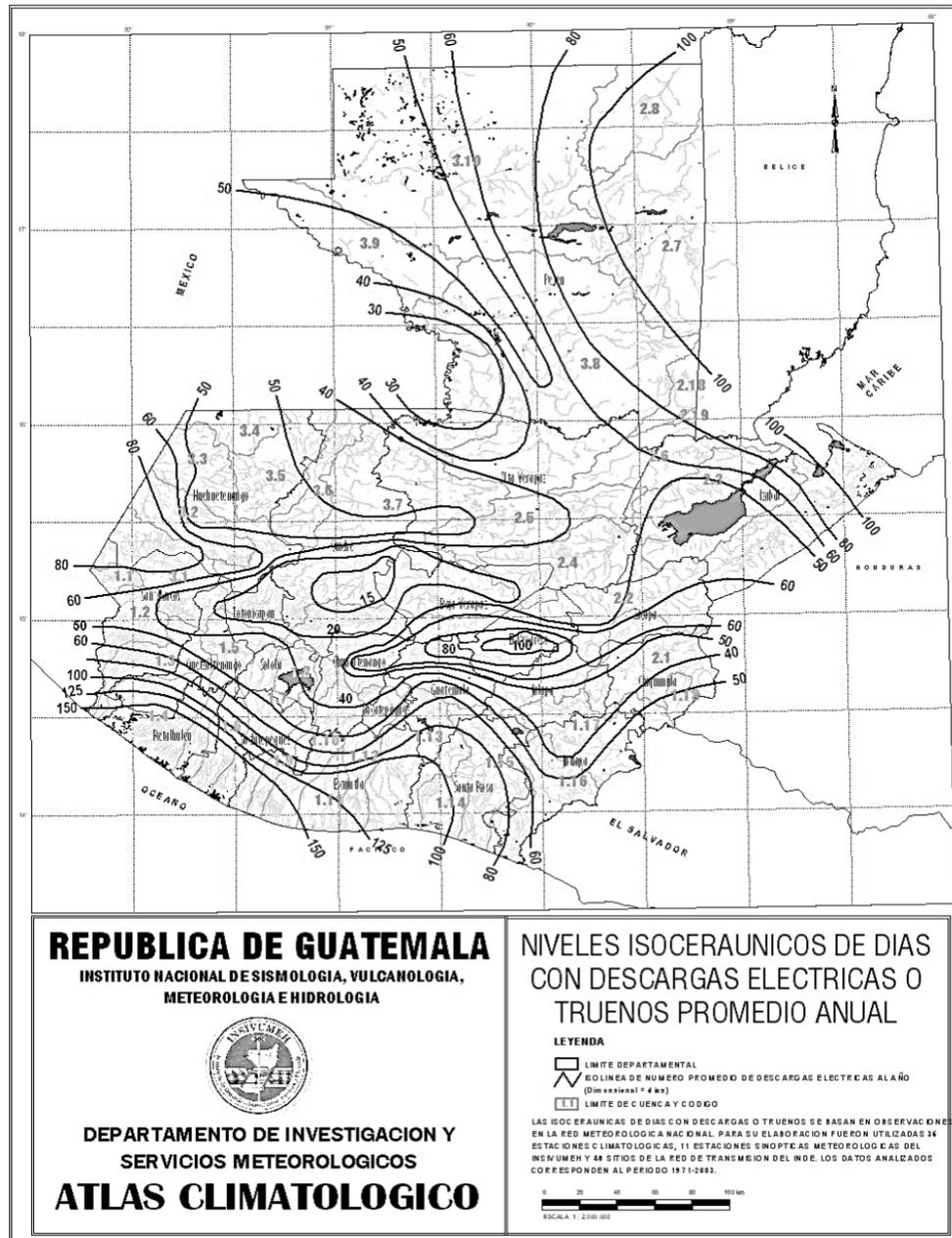
Continuación del apéndice 10.

<b>Participantes</b>	
Nombre	Firma

Fuente: elaboración propia

## ANEXOS

### Anexo 1. Mapa isoceraúnico del territorio de Guatemala



Fuente: Insivumeh (2001). *Mapa isoceraúnico*. Consultado el 4 de septiembre de 2020.

Recuperado de <http://insivumeh.gob.gt/institucional/que-es-meteorologia/mapa>.



### Anexo 3. Informe de resultado del análisis de riesgo edificio 1

CALCULUS by **INGESCO**

PROYECTO		
<b>comercial_analisis1</b>		
Cliente	Consultant	
usac	pablo marroquin	
TITULO		
<b>EVALUACIÓN DEL RIESGO SEGÚN IEC 62305-2 / NF C 17-102 Y UNE 21186 MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN CONTRA EL RAYO</b>		
Ciudad: Guatemala	País: Guatemala	Fecha: 09-Oct-2020
Realizado por: pablo marroquin	Cod. Obra: -----	Versión: 0.1
<small>Este documento es propiedad de Dana Desarrollos SL. Está estrictamente prohibido modificar este documento, en su totalidad o en parte.</small>		

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

### 0. Índice

<b>0. Índice</b>	<b>2</b>
<b>1. Memoria descriptiva</b>	<b>3</b>
1.1. Responsabilidad	3
1.2. Datos del emplazamiento	3
1.4. Normativa de referencia	3
1.4. Introducción	5
1.4.1. Protección externa contra el rayo	6
1.4.2. Protección interna	6
1.4.3. Protección preventiva	6
<b>2. Evaluación del índice de riesgo y cálculo del nivel de eficiencia</b>	<b>8</b>
2.1. Parámetros de cálculo	8
2.2. Áreas de captura y frecuencia de eventos peligrosos al año	10
2.3. Cálculo de riesgo	11
2.3.1. Tabla resumen de riesgos	12
2.4. Medidas de protección implementadas	13
2.5. Determinación de las medidas de protección	14
2.5.1. Protección Externa contra el Rayo	14
2.5.2. Protección Interna contra Sobretensiones	14
2.5.3. Protección contra Incendios.	14
2.5.4. Medidas complementarias.	14
<b>3. Diseño de la instalación</b>	<b>15</b>
3.1. Sistema de protección externa contra el rayo	15
3.1.1. Sistema de captación	15
3.1.2. Red conductora	16
3.1.3. Sistema de control de rayos	17
3.1.4. Sistema de puesta a tierra	17
3.2. Sistema de protección interna contra el rayo	19
3.3. Sistema de protección preventiva	20
<b>4. Descripción de materiales</b>	<b>21</b>

## 1. Memoria descriptiva

### 1.1. Responsabilidad

El software INGESCO Calculus es una herramienta que tiene por finalidad calcular el índice de riesgo de daños producidos por el rayo y sus efectos en comercial\_analisis1 y determinar el nivel de protección necesario y las medidas de protección a implementar para disminuir el riesgo a niveles de acuerdo con la normativa.

El contenido del informe del proyecto ha sido generado a partir de la información aportada por el usuario o proveedor de los datos, en adelante, usuario.

El informe resultante es una información que recomendamos complementar con el asesoramiento de un especialista.

Dena Desarrollos S.L. no se hace responsable bajo ningún concepto de los daños directos e indirectos, materiales o inmateriales producidos al usuario o terceros como resultado de la aplicación de la solución de protección propuesta, que será responsabilidad exclusiva del usuario.

El usuario renuncia a cualquier reclamación contra de Dena Desarrollos S.L. y/o sus compañías de seguros y garantías de Dena Desarrollos S.L. y a sus reclamos sobre cualquier otra compañía de seguros de terceros.

### 1.2. Datos del emplazamiento

El comercial\_analisis1 se encuentra ubicado en Guatemala (Guatemala) con coordenadas: Latitud: 14.6091484 Longitud: -90.4870219,



Imagen 1: Ubicación del edificio o estructura

### 1.3. Normativa de referencia

#### Normas internacionales:

- **IEC 62305-1:2010:** Protection against lightning - Part 1: General principles.
- **IEC 62305-2:2010:** Protection against lightning - Part 2: Risk management.
- **IEC 62305-3:2010:** Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
- **IEC 62305-4:2010:** Protection against lightning - Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
- **IEC 62561-1:2017:** Requirements for connection components.
- **IEC 62561-2:2018:** Requirements for conductors and earth electrodes.
- **IEC 62561-3:2017:** Requirements for spark gaps.
- **IEC 62561-4:2017:** Requirements for conductor fasteners.
- **IEC 62561-5:2017:** Requirements for earth electrode inspection housings and earth electrode seals.
- **IEC 62561-6:2018:** Requirements for lightning strike counters.
- **IEC 62561-7:2018:** Requirements for earthing enhancing compounds.
- **IEC 62561-8:2018:** Requirements for components for isolated LPS.
- **IEC 62793:2016:** Protection against lightning -Thunderstorm warning systems.
- **IEC 61643-11:2011:** Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods
- **IEC 61643-22:2015:** Low-voltage surge protective devices - Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles.
- **IEC 61643-31:2017:** Low-voltage surge protective devices - Part 31: Surge protective devices connected to the D.C. side of photovoltaic installations - Requirements and test methods.
- **IEC 61643-32:2017:** Low-voltage surge protective devices - Part 32: Surge protective devices connected to the D.C. side of photovoltaic installations - Selection and application principles.

#### Otras normas de aplicación:

- **NFPA 780:2017:** Standard for the installation of Lightning Protection Systems.
- **NF C 17-102:2011:** Protection des structures et de zones ouvertes contre la foudre, paratonnerres à dispositif d'amorçage.
- **NP 4426 :2013:** Proteção contra descargas atmosféricas - sistemas com dispositivo de ionização não radioactivo.

#### Normas Españolas:

- **UNE 21.186:2011:** Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado.
- **CTE DB SUA-08:2010:** Código Técnico de la Edificación (Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo) con comentarios del 2018.
- **BOE:** Prevención de Riesgos Laborales - **Real Decreto 1215/1997:** por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- **BOE:** Prevención de Riesgos Laborales **Real Decreto 614/2001** de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico
- **REBT-2002:** Reglamento electrotécnico de baja tensión
- **UNE-EN 62305-1:2011:** Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales
- **UNE-EN 62305-2:2012:** Evaluación del riesgo
- **UNE-EN 62305-3:2011:** Daño físico a estructuras y riesgo humano.
- **UNE-EN 62305-4:2011:** Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras
- **UNE-EN 62561-1:2018:** Requisitos para los componentes de los sistemas de protección contra el rayo (CPCR). Parte 1: Requisitos de los componentes de conexión
- **UNE-EN 62561-2:2018:** Requisitos para los conductores y electrodos de puesta a tierra.
- **UNE-EN 62561-3:2018:** Requisitos para vías de chispas de aislamiento
- **UNE-EN 62561-4:2018:** Requisitos para las fijaciones del conductor
- **UNE-EN 62561-5:2018:** Requisitos para las arquetas de inspección de los electrodos de tierra y para el sellado de los electrodos de tierra
- **UNE-EN 62561-6:2018:** Requisitos para los contadores de impactos de rayos (CIR)
- **UNE-EN IEC 62561-7:2018:** Requisitos para los compuestos que mejoran las puestas a tierra.

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

### 1.4. Introducción

La actividad eléctrica atmosférica y en particular los rayos nube-tierra, representan una seria amenaza para las personas, estructuras y equipos. La norma IEC 62305-2 establece el cálculo de riesgo en función de si el rayo impacta de forma directa o indirecta sobre la estructura, distinguiendo 4 posibles fuentes de daños (ver imagen 2):

- S1: descargas en la estructura
- S2: descargas cerca de la estructura
- S3: descargas en una línea conectada a la estructura
- S4: descargas cerca de una línea conectada a la estructura

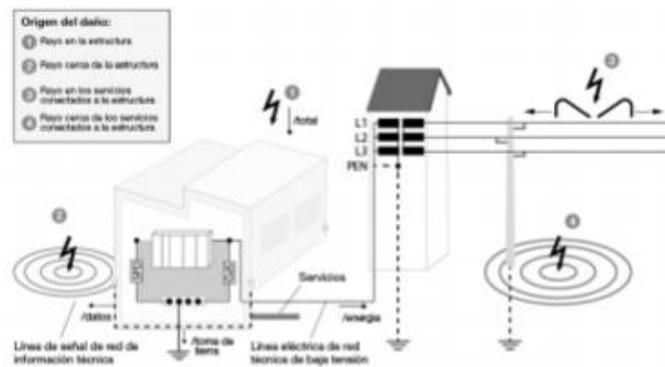


Imagen 2: Fuentes de daños

Dichas fuentes (S1, S2, S3 y S4) pueden producir 3 tipos de daños:

- D1: daños en los seres vivos
- D2: daños físicos
- D3: fallos en los sistemas eléctricos y electrónicos

En función de los tipos de daños se evalúan los siguientes tipos de pérdidas:

- L1: pérdidas de vidas humanas
- L2: pérdidas de servicio público
- L3: pérdidas de servicio cultural
- L4: pérdidas de valor económico

Las pérdidas anuales medias probables en una estructura o servicio, varían en función de:

- El número anual de descargas atmosféricas que afectan a la estructura o al servicio
- La probabilidad de daños debidos a una descarga atmosférica.
- El coste medio de las pérdidas correspondientes.

Siendo el riesgo  $R$  el valor de las pérdidas anuales medias probables.

- $R_1$ : Riesgo de pérdida de vidas humanas
- $R_2$ : Riesgo de pérdida de servicio público
- $R_3$ : Riesgo de pérdida de patrimonio cultural
- $R_4$ : Riesgo de pérdida de valor económico

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

Al evaluar el índice de riesgo, y con la finalidad de reducir el riesgo de daños por descarga de rayo, se pueden implementar 3 tipos de medidas de protección:

- Protección externa
- Protección interna
- Protección preventiva

### 1.4.1. Protección externa contra el rayo

La protección externa tiene por finalidad captar y canalizar los impactos directos de rayos, derivando la descarga de forma segura al sistema de puesta a tierra, protegiendo así edificios, estructuras o personas. Dicha protección puede estar formada por diferentes sistemas de captación.

La protección mediante PDC's (pararrayos con dispositivo de cebado), emiten un flujo de iones dirigidos hacia la nube, generando un líder ascendente cuya finalidad es captar la corriente proveniente de la descarga del rayo. Su avance en el cebado permite proteger, además de las estructuras, amplias zonas abiertas a diferencia de las puntas captadoras convencionales.

### 1.4.2. Protección interna

Los DPS tienen como objeto salvaguardar a los equipos eléctricos y/o electrónicos conectados a la red eléctrica o de telecomunicaciones, así como a las personas que se encuentran en el edificio, de las sobretensiones transitorias que puedan aparecer en caso de impactos de rayos.

Las sobretensiones transitorias son picos de tensión de muy corta duración y de gran amplitud que pueden producir daños graves a los equipos sensibles, cortes en las líneas y envejecimiento prematuro de los componentes.

La magnitud de la sobretensión transitoria que puede aparecer dependerá de numerosos factores, entre ellos:

- las características de la línea (apantallada o no, enterrada o aérea)
- la proximidad del impacto del rayo
- la existencia de transformador
- el valor de la corriente del impacto del rayo, etc.

La incidencia que la sobretensión tiene en la seguridad de las personas, instalaciones y equipos, así como su repercusión en la continuidad del servicio puede variar en función de:

- La coordinación del aislamiento de los equipos.
- Las características de los dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias, su instalación y su ubicación.
- La existencia de una adecuada red de tierras para la disipación de estas corrientes.

### 1.4.3 Protección preventiva

Esta protección preventiva es una medida complementaria que permite reducir el riesgo de daños físicos. Dicha protección preventiva se consigue gracias a los sistemas de detección de tormentas eléctricas. Estos sistemas permiten realizar acciones preventivas, incluso con antelación a la caída de rayos, y avisan o actúan sobre dispositivos o personas, siguiendo el plan de emergencia establecido en caso de tormenta eléctrica.

La combinación de un diseño de protecciones externa e interna junto con un sistema preventivo de tormentas, permiten disponer de un sistema de protección global y completo.

Según la normativa internacional IEC 62793:2016, los detectores de tormentas se pueden clasificar en 4 grupos en función de las fases que detectan de una tormenta.

- **Clase A:** Detectan la tormenta durante todo su ciclo de vida (fases 1 a 4)
- **Clase B:** Detectan rayos entre nubes (IC) y nube-tierra (CG) (fases 2 a 4)
- **Clase C:** Detectan solo rayos nube-tierra (CG) (fases 3 a 4)

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

- **Clase D:** Detectan rayos nube-tierra (CG) y otras fuentes electromagnéticas con eficiencia limitada. (fase 3)

Las 4 fases de una tormenta son:

- **Fase 1 (fase inicial):** Fase de electrificación de la nube. Se produce campo eléctrico medible a nivel del terreno.
- **Fase 2 (fase de crecimiento):** se produce la primera actividad de rayos en el interior de la nube IC o entre nube y tierra CG.
- **Fase 3 (fase de maduración):** presencia tanto de rayos nube tierra CG como de rayos dentro de la nube IC
- **Fase 4 (fase de disipación):** se caracteriza por la disminución de las descargas IC y CG, así como la reducción del valor de campo electrostático a un valor correspondiente a buen tiempo.

Los sistemas preventivos actúan directamente sobre el cálculo del nivel de protección, reduciendo el riesgo y minimizando la probabilidad ( $P_{1s}$ ) de que una descarga produzca daños sobre los seres vivos (Tabla B.1 del Anexo B de la norma IEC 62305-2).

## 2. Evaluación del índice de riesgo y cálculo del nivel de eficiencia

### 2.1. Parámetros de cálculo

Dimensiones de la estructura
Longitud de la estructura L (m): <b>66.32</b>
Anchura de la estructura W (m): <b>37.81</b>
Altura del plano del tejado h (m): <b>16.00</b>
Altura del mayor saliente del tejado h' (m): <b>1.50</b>

Características de la estructura
Riesgo de incendio y daños físicos $r_r$ : <b>Zona 0, 20</b>
Tipo de edificio: <b>Hormigón armado</b>
Ubicación de la persona: <b>Interior y Exterior</b>
Riesgos medioambientales: <b>No</b>

Influencias ambientales
Situación estructura $C_d$ : <b>Altura similar</b>
Ciudad: <b>Guatemala</b>
Nº de días de tormenta $t_d$ : <b>40.00 (días tormenta/año)</b>
Entorno de la estructura: <b>Urbano</b>
Tipo de suelo o superficie:

Líneas de conducción eléctrica
Factor ambiental $C_e$ : <b>Enterrado</b>
Existencia de transformador MT/BT $C_f$ : <b>Líneas BT y telecomunicaciones o líneas de datos</b>
Tipo de cableado interno $K_{c0}$ : <b>Cable apantallado</b>

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

### Tipos de las pérdidas

#### Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas

Riesgos especiales para la vida  $h_{21}$ : **Nivel bajo de pánico**

Por incendios  $L_{21}$ : **Industrial, comercial**

Por sobretensiones  $L_{21}$ : **Otros**

#### Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales

Por incendios  $L_{22}$ : **Suministro de gas, agua y electricidad**

Por sobretensiones  $L_{22}$ : **TV, Líneas de telecomunicaciones**

#### Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural

Por incendios  $L_{23}$ : **Museo, galerías**

#### Tipo 4 - Pérdidas económicas

Por incendios  $L_{24}$ : **Hotel, escuela, oficina, iglesia**

Por sobretensiones  $L_{24}$ : **Hospital, industrial, oficina, hotel, comercios**

Por tensión de paso/contacto  $L_{24}$ : **Ninguno**

Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**



Imagen 3: Mapa isoceraunico (Nº de días de tormenta/año)

## 2.2.Áreas de captura y frecuencia de eventos peligrosos al año

- Área de captura equivalente de la estructura ( $A_e$ ): 19742.268673870884 m<sup>2</sup>
- Área de captura cercana a la estructura ( $A_{e,c}$ ): 889528.1633974483 m<sup>2</sup>
- Área de captura de la línea ( $A_l$ ): 40000 m<sup>2</sup>
- Área de captura cercana a la línea ( $A_{l,c}$ ): 4000000 m<sup>2</sup>
- Número de eventos peligrosos en la estructura ( $N_e$ ): 0.039484537347741766 eventos/año
- Número de eventos peligrosos cercanos a la estructura ( $N_{e,c}$ ): 3.558112653589793 eventos/año
- Número de eventos peligrosos en la línea ( $N_l$ ): 0.008 eventos/año
- Número de eventos peligrosos cercanos a la línea ( $N_{l,c}$ ): 0.7999999999999999 eventos/año

Continuación del anexo 3.

CALCULUS by INGESCO

**2.3.Cálculo de riesgo:**

**Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas**

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1}$$

<b>R<sub>A1</sub></b>	$N_0 \times P_A \times L_{A1}$	Riesgo de daños en seres vivos, dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000003948453734774
<b>R<sub>B1</sub></b>	$N_0 \times P_B \times L_{B1}$	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.001579381493909671
<b>R<sub>C1</sub></b>	$N_0 \times P_C \times L_{C1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0
<b>R<sub>M1</sub></b>	$N_M \times P_M \times L_{M1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:	0
<b>R<sub>U1</sub></b>	$N_U \times P_U \times L_{U1}$	Riesgo de daños en seres vivos dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.0000000004
<b>R<sub>V1</sub></b>	$N_V \times P_V \times L_{V1}$	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.000016
<b>R<sub>W1</sub></b>	$N_L \times P_W \times L_{W1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0
<b>R<sub>Z1</sub></b>	$N_L \times P_Z \times L_{Z1}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo en las líneas de servicio:	0

**Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales**

$$R_2 = R_{A2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{U2} + R_{V2} + R_{Z2}$$

<b>R<sub>A2</sub></b>	$N_0 \times P_B \times L_{A2}$	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.003948453734774177
<b>R<sub>C2</sub></b>	$N_0 \times P_C \times L_{C2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000001974226867387
<b>R<sub>M2</sub></b>	$N_M \times P_M \times L_{M2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:	0.000000000000284649
<b>R<sub>U2</sub></b>	$N_U \times P_V \times L_{U2}$	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.00004
<b>R<sub>W2</sub></b>	$N_L \times P_W \times L_{W2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.0000004
<b>R<sub>Z2</sub></b>	$N_L \times P_Z \times L_{Z2}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo en las líneas de servicio:	0.000000

**Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural**

$$R_3 = R_{A3} + R_{U3}$$

<b>R<sub>A3</sub></b>	$N_0 \times P_A \times L_{A3}$	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.003948453734774177
-----------------------	--------------------------------	--	----------------------

### Continuación del anexo 3.

CALCULUS by INGESCO

$R_{V2}$	$N_D \times P_V \times L_{V2}$	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.00004
----------	--------------------------------	--	---------

#### Tipo 4 - Pérdidas económicas

$$R_4 = R_{R4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$$

$R_{R4}$	$N_D \times P_A \times L_{R4}$	Riesgo de daños en seres vivos, dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo sobre la estructura:	0
$R_{B4}$	$N_D \times P_B \times L_{B4}$	Riesgo de daños físicos por incendio, en una estructura, a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.007896907469548353
$R_{C4}$	$N_D \times P_C \times L_{C4}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo sobre la estructura:	0.000019742268673871
$R_{M4}$	$N_M \times P_M \times L_{M4}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo sobre la estructura:	0.00000000000284649
$R_{U4}$	$N_U \times P_U \times L_{U4}$	Riesgo de daños en seres vivos dentro y fuera de una estructura, producidos por impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0
$R_{V4}$	$N_V \times P_V \times L_{V4}$	Riesgo de daños físicos por incendio a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.00008
$R_{W4}$	$N_W \times P_W \times L_{W4}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de servicio:	0.000004
$R_{Z4}$	$N_Z \times P_Z \times L_{Z4}$	Riesgo de fallos en los sistemas internos a causa de impactos indirectos de rayo en las líneas de servicio:	0.00008

#### 2.3.1. Tabla resumen de riesgos

	Riesgo tolerable $R_t$	Riesgo $R_{TOTAL} = R_0 + R_t$
Tipo 1 - Pérdidas de vidas humanas	1.0e-05	1.599330e-3
Tipo 2 - Pérdidas de servicios esenciales	0.001	3.998828e-3
Tipo 3 - Pérdidas de patrimonio cultural	0.0001	3.988454e-3
Tipo 4 - Pérdidas económicas	0.001	8.080650e-3

El riesgo máximo tolerable se encuentra descrito en la tabla 4 de la norma IEC 62305 - 2, en el capítulo 5.3. Cualquier valor de riesgo total calculado debe ser inferior a los valores establecidos por la norma, de lo contrario, se deberán aplicar medidas mayores o incluso complementarias, que reduzcan este valor a un nivel inferior al tolerable.

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

### 2.4. Medidas de protección implementadas

#### Medidas de protección

Clase de SPCR  $P_a$ : Nivel de protección No LPS

Probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños físicos	$P_a$
Estructura no protegida por un SPCR	1
Nivel IV de protección	0,2
Nivel III de protección	0,1
Nivel II de protección	0,05
Nivel I de protección	0,02

Protección contra incendios  $r_i$ : Sistema automático

Protección contra sobretensiones PSPD: LPL IV

Medidas de protección complementarias  $P_a$ : Aislamiento eléctrico de partes expuestas

Una vez se ha calculado el nivel de protección acorde a la normativa IEC 62305-2, UNE 21186 y NFC 17102, se concluye que es preciso dotar al comercial\_analisis1 con las medidas de protección siguientes:

Edificio:	Sistema de Protección Externo contra el Rayo	Sistema de Protección Interno contra las sobretensiones	Sistema de Protección contra incendios	Medidas de protección adicionales
1	Nivel No LPS	LPL IV	Sistema automático	Aislamiento eléctrico de partes expuestas

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

### 2.5. Determinación de las medidas de protección

#### 2.5.1. Protección Externa contra el Rayo

Para el estudio que nos ocupa no es necesaria la instalación de sistemas de protección externa contra el rayo. Aun así, siempre es recomendable su instalación.

#### 2.5.2. Protección Interna contra Sobretensiones

Para reducir la probabilidad  $P_c$  de que una descarga en la estructura produzca fallos en los sistemas internos, se debe proceder a la instalación de protectores contra sobretensiones transitorias en la entrada de servicios de **Tipo 1 de NPR III-IV como mínimo**. Aun así, es recomendable instalar los protectores de forma coordinada acorde a la norma IEC62305-4:2010, para así conseguir un nivel de protección inferior a la tensión soportada a impulso, de la categoría de los equipos y materiales que se prevé que se vayan a instalar. En algunos países, es de obligado cumplimiento instalar este tipo de protectores en la entrada de servicios.

#### 2.5.3. Protección contra Incendios.

Para reducir las pérdidas por daños físicos en función de las medidas tomadas para reducir los efectos del fuego ( $R_{fi}$ ), es prioritario **instalar medidas de prevención automáticas**, tales como: instalaciones fijas de extinción automáticas, instalaciones automáticas de alarma.

#### 2.5.4. Medidas complementarias.

Para reducir la probabilidad  $P_{se}$  de que una descarga sobre la estructura produzca daños, se instalará como medida de protección complementaria, el **aislamiento eléctrico de los conductores expuestos** que componen el sistema de protección externo (por ejemplo, entubando los conductores mediante tubo de polietileno reticulado de 3 mm.

### 3. Diseño de la instalación

#### 3.1. Sistema de protección externa contra el rayo

La instalación de un sistema de protección contra el rayo (SPCR), constará de tres partes diferenciadas:

- **Sistema de captación:** estará formado por uno o varios terminales aéreos del tipo PDC (acorde a las normas NF C 17-102:2011 / UNE 21186:2011) que será el responsable de captar la descarga del rayo. Estos elementos son utilizados como sistemas de captación, cuya función es recibir y soportar el impacto del rayo.
- **Conductores de bajada:** tienen como objetivo interconectar el sistema de captación con el sistema de puestas a tierra, para que en caso de una descarga, la corriente del rayo pueda circular de forma segura y fiable, sin producir chispas ni incendios. Es recomendable que se conecten a la red conductora, las antenas y masas metálicas existentes en la cubierta del edificio, con la finalidad de obtener una correcta equipotencialización del sistema, tal y como recomiendan las normativas vigentes.
- **Puesta a tierra:** en esta parte del SPCR, se disipará y neutralizará la descarga de la corriente del rayo sin producir elevaciones de voltaje en el terreno que sean peligrosas. Es de suma importancia el diseño de las puestas a tierra, dado el carácter de alta frecuencia de la corriente de los rayos, la cual puede producir que estas presenten valores de alta impedancia.

##### 3.1.1. Sistema de captación

Estará formado por terminales aéreos con dispositivos de cebado (INGESCO PDC), que se ubicarán en el exterior del edificio, y en las partes que predominan con mayor altura, superando por 2 metros cualquier estructura o elemento al que den protección.

El cabezal PDC irá roscado mediante una pieza de adaptación, que servirá para el conexionado del cable y su fijación al mástil. Dicha pieza será de latón y su fijación se realizará mediante tornillos.

El mástil será de acero galvanizado y deberá ir fijado a la estructura mediante anclajes placa u obra, o bien con soportes/anclajes horizontales en el techo o suelo, dependiendo de las características de la estructura.

La zona protegida por un PDC está delimitada por una superficie de revolución que está definida por los radios de protección correspondientes a las diferentes alturas  $h$  consideradas y cuyo eje es el mismo que el del PDC (ver imagen 4)

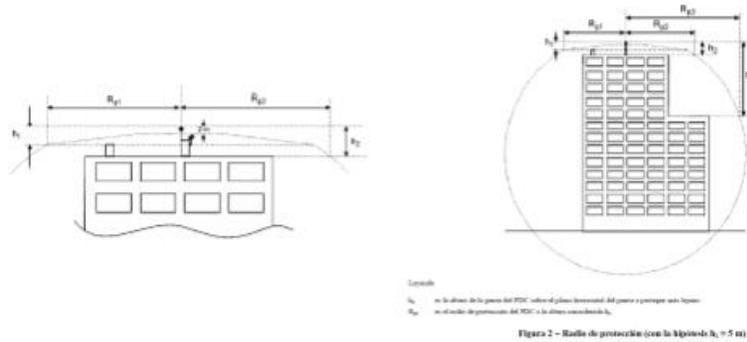


Imagen 4 radio de protección de un PDC

### Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

En una vista 3D, el volumen de protección de un PDC será el que se observa en la Imagen 5



Imagen 5 Cobertura de un pararrayos tipo PDC según **UNE 21186:2011**

Para calcular el volumen de protección de un pararrayos PDC, la normativa utiliza 2 fórmulas diferentes en función de la altura (h) en la que queramos calcular el radio de protección:

•  $0 \text{ m} \leq h < 2 \text{ m}$  No hay cobertura.

a)  $2 \text{ m} \leq h \leq 5 \text{ m}$   $R_p = \frac{h - R_p(5)}{5}$

b)  $h \geq 5$   $R_p = \sqrt{[(2 \cdot r \cdot h) - (h^2)] + [\Delta \cdot (2 \cdot r + \Delta)]}$

Donde:

- h: es la altura de la estructura hasta el cabezal.
- r: es el radio de la esfera ficticia, este valor esta predeterminado por la norma variando en función del nivel de protección) (Ver tabla 1).
- Δ: Es el avance de cebado que tiene el cabezal, la norma nos define 60 μs como valor máximo

Nivel de protection	Radio de la esfera rodante
I	20 m
II	30 m
III	45 m
IV	60 m

Tabla 1 Radio de la esfera ficticia en función del nivel de protección

#### 3.1.2. Red conductora

Para los bajantes de los pararrayos, podrán utilizarse los materiales indicados en la Norma IEC 62561-2:2018, siendo recomendado el **cable de cobre** desnudo multifilar de **50 mm<sup>2</sup>** de sección o bien la **pletina** de cobre de **30x2mm**.

El conductor de bajada se deberá fijar directamente a la estructura, variando en función de la naturaleza de la pared o techo. Para paredes de hormigón o mampostería, se usarán abrazaderas con taco. Para estructuras metálicas, se recomienda instalar abrazaderas con pata y para terrazas o cubiertas que no se puedan perforar, se utilizarán soportes de hormigón.

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

El número de abrazaderas será a razón de 3 unidades por metro de conductor.

El número mínimo de conductores para para instalaciones no aisladas, será de 2 bajantes de conexión a tierra según normas IEC 62305-3, NF C 17-102 y UNE 21186:2011. En el caso de que se trate de una instalación aislada (poste, chimenea, etc) se deberá instalar 1 sola bajante.

Los conductores de bajada deben estar protegidos contra eventuales choques mecánicos mediante un tubo de protección de como mínimo 2m a partir del suelo.

### 3.1.3. Sistema de control de rayos

Se recomienda también la instalación de sistemas de control de rayos compuestos por contadores del tipo INGESCO :

- CDR-11: indicado para instalaciones de conductores de bajada tipo redondo o cable.
- CDR UNIVERSAL: contador reseteable, sirve tanto para conductor redondo como conductor plano.
- CDR-HS: recomendable para mallas reticulares o estructuras metálicas.

Para poder establecer un control, así como realizar los mantenimientos preventivos oportunos después de cada descarga, tal y como indica la Normativa vigente es recomendable la instalación de dicho contador.

Se colocará un contador de rayos por instalación, independientemente del número de bajantes que disponga. Dicho contador se colocará en un lugar visible por encima del tubo de protección.

### 3.1.4. Sistema de puesta a tierra

Las puestas a tierra se establecen con el objeto principal de limitar la tensión que con respecto a tierra, pueden presentar en un momento dado las masas metálicas, y evitar diferencias de potencial peligrosas permitiendo el paso a tierra de las corrientes de falta o de descarga de origen atmosférico.

El sistema de puesta a tierra de una instalación de pararrayos es una de las partes más importantes de la instalación, por ser esta la encargada de disipar las corrientes del rayo y toda su energía.

Las recomendaciones marcadas por normativas como IEC 62305- 3, NF C 17-102:2011 o UNE 21186:2011, indican que las puestas a tierra han de tener un valor óhmico bajo (inferior a  $10 \Omega$  cuando se realiza la medición a baja frecuencia aislada de cualquier elemento conductor). Las dimensiones de la puesta a tierra dependerán de la resistividad  $\rho = (\Omega \cdot m)$  del terreno. Debe realizarse una puesta a tierra por cada conductor de bajada y existen 2 tipos:

#### Puesta a tierra tipo A:

- Tipo A1
- Tipo A2

**TIPO A1:** Está formada por una configuración de Pata de ganso (ver imagen 6)

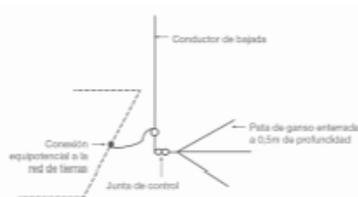


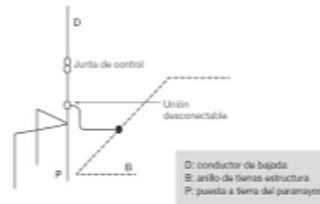
Imagen 6 Ejemplo de puesta a tierra del tipo A1: 3 conductores horizontales, a 50cm de profundidad y de una longitud de 7

### Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

a 8m.

**TIPO A2:** Está formada por la unión de muchas piquetas verticales en línea o triángulo y separadas una distancia al menos igual a su longitud (ver imagen 7);



*Imagen 7 Ejemplo de puesta a tierra del tipo A2.*

*Las piquetas estarán unidas por un conductor de las mismas características y sección que el conductor de bajada*

#### **Puesta a tierra tipo B:**

Electrodo en anillo, esta disposición es un anillo conductor en contacto con el suelo en un 80% de su longitud, puede ser exterior a la estructura o electrodo de cimentación. Cada conductor de bajada, además de estar conectado al anillo, debe conectarse adicionalmente a un electrodo horizontal de un mínimo de 4m o bien a un electrodo vertical de una longitud mínima de 2m

## Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

### 3.2. Sistema de protección interna contra el rayo

Para la reducción del riesgo a valores inferiores a los tolerables, es necesaria la instalación de un sistema de protección interno contra sobretensiones transitorias en el cuadro principal del edificio.

Se recomienda que dicho protector sea del tipo 1+2.

En el caso de una línea sea trifásica, recomendamos el siguiente modelo:

· SLS-B+C100/3+1 para líneas trifásicas con una tensión nominal de 230/400 V, con una intensidad máxima de descarga de 60 kA (L-N) y 100 kA (NPE) con un nivel de protección  $U_p < 1.5$  kV.

En el caso de líneas monofásicas se recomienda:

· SLS-B+C/1+1 para líneas monofásicas con una tensión nominal de 230 V, con una intensidad máxima de descarga de 60 kA (L-N) y 100 kA (NPE) con un nivel de protección  $U_p < 1.5$  kV.

### 3.3. Sistema de protección preventiva

Para la disminución de los riesgos, es necesario utilizar medidas preventivas, puesto que los efectos de los rayos directos o indirectos, no solo se limitan a daños materiales y pueden afectar a los seres vivos.

Se recomienda la instalación de un sistema local de alerta temprana de tormentas, tipo **PREVISTORM de CLASE A**, capaz de detectar todas las fases de la tormenta, así como el aumento o disminución del campo electrostático y poder avisar así del riesgo próximo de rayos antes de que estos sucedan.

El sistema para la protección preventiva contra el rayo **PREVISTORM® Thunderstorm Warning System** realiza la medición y el análisis continuo de la evolución del campo eléctrico atmosférico. Este sistema permite la monitorización de los procesos de electrificación de las nubes de tormenta, la generación de alertas tempranas y la detección de la ocurrencia de impactos de rayo en un radio de hasta 20km.

Tal y como indica la norma **IEC 62793:2016**, se recomienda combinar los sistemas de detección de tormentas con sistemas de alarmas, las cuales nos avisen de los riesgos inmediatos por caída de rayos.

El sistema **PREVISTORM®** realiza un seguimiento del proceso de electrificación de las nubes. Las alarmas generadas por este sistema permiten conocer por adelantado sobre el incremento del riesgo de ocurrencia de descargas de rayos. Este conocimiento proporciona una ventaja de tiempo valiosa para la activación oportuna de las medidas de seguridad y protección de las personas y los bienes.

Para una mejor prevención, se recomienda la implantación de otros sistemas de monitoreo atmosférico, como son los detectores de CLASE B, de esta manera se podrá observar la evolución de la tormenta y evitar falsas alarmas.



*Zona de detección del sistema Previstorm Thunderstorm warning system*

Continuación del anexo 3.

CALCULUS by **INGESCO**

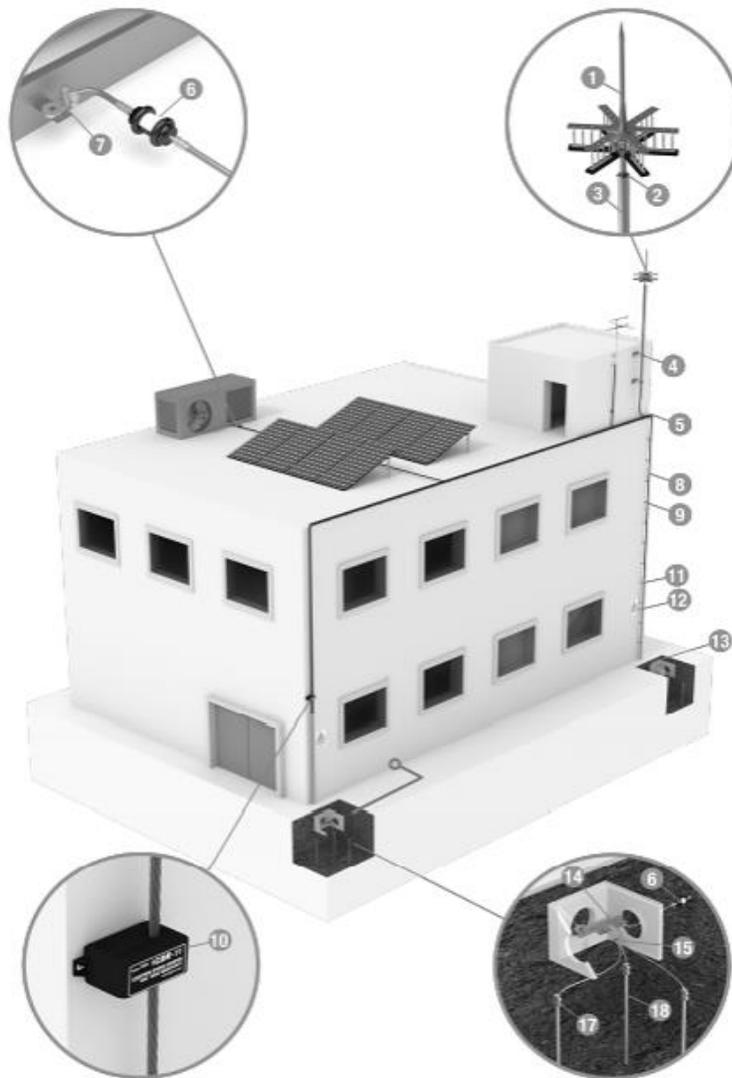
### Plano de cobertura



Continuación del anexo 3.

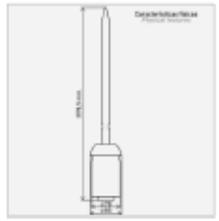
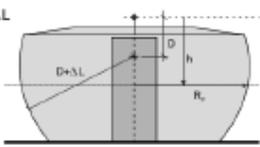
CALCULUS by INGESCO

#### 4. Descripción de los materiales



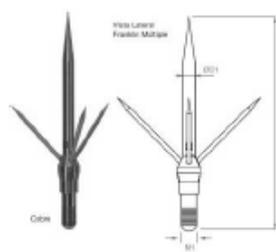
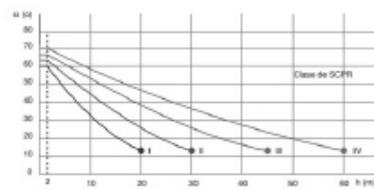
Fuente: Ingesco (2002). *Resultado del Análisis de Riesgo*. Consultado el 23 de julio de 2020.  
Recuperado de <http://www.ingesco.com/software/login>

## Anexo 4. Ficha técnica pararrayo Nimbus15 empresa Cirprotec

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA-EQUIPO							
REALIZADO POR:	Pablo Marroquín	Fecha:					
MÁQUINA-EQUIPO	Pararrayo PDC	UBICACIÓN	Edificio 28				
FABRICANTE	Cirprotec CPT	SECCIÓN					
MODELO	Nimbus 15	CÓDIGO INVENTARIO	B28PAR01-001				
MARCA							
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	2875 gr	ALTURA	378.5 mm	ANCHO	85 mm	LARGO	XX mm
				Nivel de protección/Protection level			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		Nivel I (D=20m)	Nivel II (D=30m)	Nivel III (D=45m)	Nivel IIII (D=60m)		
Cumple con UNE-21186:2011 According to UNE-21186:2011	Si/yes						
Cumple con CTE-SU8 According to CTE-SU8	Si/yes						
Máxima corriente de descarga soportada (10/350) Maximum withstand discharge current (10/350)	$I_m$ [kA] 200						
Avance de cebado (PDC) Early Streamer Emission (ESE)	[ $\mu$ s] 15						
Radio de protección (en metros) Protection radius (in meters)	h [ 2m ]	13	15	18	20		
	h [ 5m ]	32	37	45	51		
	h [ 10m ]	34	40	49	56		
	h [ 20m ]	35	44	55	63		
	h [ 30m ]	34	45	58	69		
	h [ 40m ]	29	44	60	72		
	h [ 50m ]	18	40	60	74		
	h [ 60m ]	---	34	58	75		
Peso Weigh	[gr]	2875					
Material Material		Inox 316					
Grado de protección de la envolvente Enclosure		IP67					
CERTIFICACION							
FECHA DE MANTENIMIENTO							

Fuente: Cirprotec (2008). *Ficha técnica del pararrayo PDC*. Consultado el 12 de mayo de 2020. Recuperado de <https://www.cirprotec.com/accesories/>

## Anexo 5. Ficha técnica punta captadora múltiple empresa Impelsa Guatemala

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA-EQUIPO																															
REALIZADO POR:		Pablo Marroquin		Fecha:																											
MAQUINA-EQUIPO		Punta Captadora Múltiple		UBICACIÓN		Edificio 19																									
FABRICANTE		IMPELSA Guatemala		SECCIÓN																											
MODELO		FPCU		CÓDIGO INVENTARIO		B19PUN01-001																									
MARCA																															
CARACTERÍSTICAS GENERALES																															
PESO	855 gr	ALTURA	384 mm	ANCHO	20 mm	LARGO	2x96 mm																								
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				Nivel de protección/Protection level																											
				Nivel I (D=20m)	Nivel II (D=30m)	Nivel III (D=45m)	Nivel IV (D=60m)																								
Normas de aplicación: IEC 62.305-3  Cumple con CTE-SU8 According to CTE-SU8  Máxima corriente de descarga soportada (10/350) Maximum withstand discharge current (10/350) 100  Puntas de paramayos de cobre 5/8" para 12 m																															
				<b>TAMAÑO DE LA MALLA</b>																											
Radio de protección (en metros) Protection radius (in meters)  				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">5X5</td> <td style="width: 25%;">10X10</td> <td style="width: 25%;">15X15</td> <td style="width: 25%;">20X20</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>				5X5	10X10	15X15	20X20																				
				5X5	10X10	15X15	20X20																								
Peso Weigh		[gr]		855																											
Material Material		Cobre																													
Grado de protección de la envolvente Enclosure		IP 66																													
CERTIFICACION																															
FECHA DE MANTENIMIENTO																															

Fuente: Impelsa Guatemala (2012). Ficha técnica de pararrayo PDC. Consultado el 12 de mayo de 2020. Recuperado de <https://www.Impelsa.com.gt/pararrayos/>.