

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL 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

JOSÉ PABLO MARROQUÍN VILLATORO

ASESORADO POR EL ING. MÁYNOR GODOY ARIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2021

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. Cristian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL 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.

José Pablo Marroquín Villatoro

Ref. *EEPMI-851-2020*
Guatemala, 30 de julio de 2020

Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: 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 el estudiante José Pablo Marroquín Villatoro, carné número **199712155**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Maynor Godoy Arias
Asesor
Ingeniero Electricista
Col. 12,717

Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinadora de Maestría
Ingeniería de Mantenimiento

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-012-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado 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 el estudiante universitario José Pablo Marroquín Villatoro, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, julio de 2020

DTG. 073.2021.

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 Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL 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 el estudiante universitario: **José Pablo Marroquín Villatoro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, marzo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

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

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma mater</i> .
Facultad de Ingeniería	Porque sobre ella fomenté mi formación académica
Mi asesor	MSc. Ing. Máynor Godoy Arias, por su amistad y colaboración en este trabajo.
Mi amigo	Gabriel de León, por su amistad y apoyo en mi trayecto universitario.
Revisor	Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez, por su apoyo en el último peldaño en el proceso de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Delimitación del problema	9
3.3. Formulación de preguntas orientadoras	10
3.3.1. Pregunta central	10
3.3.2. Preguntas auxiliares	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. Objetivo general	15
5.2. Objetivos específicos	15

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Centro comercial.....	21
7.1.1. Descripción del centro comercial.....	22
7.1.2. Evaluación del nivel de riesgo.....	22
7.2. Descargas eléctricas.....	25
7.2.1. Formación del rayo.....	25
7.2.2. Sistema de protección de tierras.....	26
7.2.2.1. Resistividad del suelo.....	27
7.2.2.2. Parámetros del suelo.....	27
7.2.2.3. Medición de la resistividad del suelo.....	29
7.2.2.4. Apantallamiento eléctrico.....	33
7.2.2.4.1. Esfera rodante.....	34
7.2.2.5. Elementos que conforman un sistema de apantallamiento.....	36
7.2.2.5.1. Elemento protector o captación pararrayo.....	37
7.2.2.5.2. Conectores y conexiones entre los elementos de captación y las tierras.....	42
7.2.2.5.2.1. Elección del conductor.....	44
7.2.2.5.2.2. Conexiones.....	47

7.2.2.6.	Elementos que conforman un sistema de tierra	
	física	50
7.2.2.6.1.	Electrodos	50
	7.2.2.6.1.1. Varilla simple	50
	7.2.2.6.1.2. Varillas múltiples	52
7.2.2.7.	Determinación del voltaje de toque y de paso	56
7.3.	Plan de mantenimiento del sistema de protección de tierras y apantallamiento eléctrico	58
7.3.1.	Tipos de mantenimiento	58
	7.3.1.1. Mantenimiento correctivo	58
	7.3.1.1.1. Reportes	59
	7.3.1.2. Mantenimiento predictivo	60
	7.3.1.3. Mantenimiento preventivo	61
7.3.2.	Necesidad de un plan de mantenimiento	61
	7.3.2.1. Beneficios del mantenimiento	62
	7.3.2.2. Bases de datos en el mantenimiento	62
7.3.3.	Mantenimiento al SPT	63
	7.3.3.1. Mantenimiento a las características conductivas del suelo	63
	7.3.3.2. Buenas prácticas para el mantenimiento de la tierra física	64
7.3.4.	Evaluación de gestión y socialización	65

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL INFORME FINAL.....	71
9. METODOLOGÍA.....	75
9.1. Enfoque.....	75
9.2. Diseño.....	75
9.3. Tipo.....	76
9.4. Alcance.....	76
9.5. Variables e indicadores.....	76
9.6. Fases.....	78
9.7. Resultados esperados.....	78
9.8. Población y muestras.....	79
10. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	81
11. CRONOGRAMA.....	83
12. FACTIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN.....	85
13. REFERENCIAS.....	87
14. APÉNDICES.....	91
15. ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	19
2.	Edificio centro comercial.....	21
3.	Software utilizado para el nivel de riesgo	23
4.	Método de Wenner.....	31
5.	Kit de medición de tierras física Fluke	32
6.	Método de esferas rodantes.....	34
7.	Apantallamiento con pararrayo.....	36
8.	a. Punta captadora simple; b. características.....	38
9.	a. Punta captadora múltiple, b. características.....	39
10.	Pararrayo PDC o dispositivo de cebado y características	40
11.	Pararrayo PDCE.....	41
12.	Abrazadera de fijación.....	43
13.	Tubo de protección de conductores	43
14.	Elementos de conexión	44
15.	Tipos de abrazaderas.....	47
16.	Elementos para soldadura exotérmica	48
17.	Mando a distancia	49
18.	Varilla simple	51
19.	Constante k1	53
20.	Constante k2	53
21.	Valores de la constante k	54
22.	Varillas conectadas en delta.....	55
23.	Distancia media geométrica	56
24.	Cronograma de actividades.....	83

TABLAS

I.	Características y eficiencia del NPR de acuerdo al tipo de estructura y las pérdidas en SPT	24
II.	Valores de resistividad por tipo de suelo	28
III.	Distancia entre conductores bajantes	43
IV.	Constantes para materiales conductivos	45
V.	Características físicas de los conductores THWN/THHN	46
VI.	Corriente eléctrica soportada por el cuerpo humano	57
VII.	Operativización de variables	77
VIII.	Monto aproximado de la investigación	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción
NaCl	Cloruro de Sodio
SiC	Cloruro de silicio
°C	Grado centígrado
°K	Grado kelvin
Ω	Ohm
ZnO	Óxido de zinc
R	Resistencia eléctrica
ρ	Resistividad eléctrica
S	Siemens
SPT	Sistema de puesta a tierra
tc	Tiempo crítico
V	Voltio
W	Vatio

GLOSARIO

Alta tensión	Nivel de tensión superior a sesenta mil (60 000) voltios.
ANSI	Instituto Nacional de Estándares Americanos.
ASTM	Estándares Americanos de Modelos y Pruebas.
Atenuación	Es la pérdida de la potencia de una señal. La atenuación se incrementa con la frecuencia, la temperatura y el tiempo.
Aterrizamiento	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.
AWG	Estándar Americano de Cables y Alambres.
Baja tensión	Nivel de tensión igual o inferior a mil (1,000) voltios.
Capas concéntricas	Capas que parten o inician del mismo centro.
CFE	La Comisión Federal de Electricidad es una empresa paraestatal, encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en todo el territorio de México.

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

Nivel isoceraunico	Se le llama al grado de actividad de las tormentas eléctricas en una región geográfica determinada.
Paramétrico	perteneciente al parámetro como cualquier dato necesario para hacer su análisis y verificar su situación
Pararrayos	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.
Punto neutro	Nodo o punto común de un sistema trifásico o el punto medio para un sistema monofásico. Puede o no estar conectado a tierra.
PVC	Poli cloruro 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.
Rayo	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 buen o mal sistema de protección y establecer el funcionamiento de un sistema de gestión de mantenimiento de la protección contra rayos.

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.

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 intercambiaron 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.

De la segunda fase se realizó un estudio sobre el nivel de riesgo en base a datos de obra civil que fueron introducidos a un software gratuito especializado en el análisis del nivel de riesgo contra descargas de rayo y se evidenció la importancia

y necesidad que poseen algunas edificaciones para implementar un sistema de protección 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.

1. INTRODUCCIÓN

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 las probabilidades 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 presentará el marco teórico. Se hará la descripción de los conceptos involucrados en el procesos 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 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 III 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.

2. ANTECEDENTES

Institucional, eschoform.educarex.es (2019) redactó en su investigación sobre cómo el sistema de protección de tierras físicas reacciona ante las “fallas producidas por descargas atmosféricas, arcos eléctricos producidos por diferentes potenciales dentro de una instalación eléctrica y otras causas que afectan a la integridad de los equipos, personas y no está demás mencionar la inversión económica” (p. 1). El aporte metodológico del trabajo de investigación con el trabajo propuesto es tener el conocimiento de buenas prácticas para el mantenimiento de un sistema de tierras y apantallamiento que protege a los usuarios tomando en cuenta las mediciones necesarias de resistividad del suelo. La metodología empleada es del tipo cualitativa, utilizando el método de meta síntesis porque se utilizó varios hallazgos descritos en el documento durante el desarrollo de la implementación del diseño instalado actualmente, realizado por colaboradores. Los resultados de la investigación indicarán la efectividad de los parámetros eléctricos. El escritor en la publicación menciona que toda tarea de sustituir piezas, todo trabajo de reparación y actividades de mantenimiento serán realizadas por el departamento de mantenimiento para las cuales serán asignado personal capacitado. Existen tareas que no necesariamente deberá ser efectuada por personal técnico, pero si monitoreada; como humedecer el terreno cuando esto lo amerite y sea parte de una solución y que esta actividad tenga como fin mejorar la resistividad del terreno provocada sequía.

S.A.C. (2017) en su investigación redacta la importancia del mantenimiento del pozo a tierra y la relación del ohmioaje. El aporte de la investigación se enfoca en un pozo a tierra, clasificándolos de acuerdo a sus parámetros eléctricos, físicos y químicos permitirá considerar el mantenimiento

apropiado. La metodología utilizada es cualitativa transversal, debido a que se define como un estudio observacional en el que los datos se recopilan para estudiar variaciones en los datos de resistividad en un solo punto en el tiempo y para examinar la relación entre los registros existentes y las observaciones realizadas. En los resultados de la investigación se definirá qué el mantenimiento del sistema de protección de tierra sirve para recuperar la operatividad y lograr recuperar las características resistivas que poseía al momento de su creación o a los valores que tenía un año atrás en su medición.

Monroy (2012), redacta en su tesis de graduación que una manera básica de diseñar un sistema de protección de tierras es a través del método de una capa de suelo. El aporte metodológico de la investigación es el procedimiento para medir la resistencia del suelo a través de sus distintas capas utilizando electrodos especiales (propietario). La metodología utilizada es de tipo experimental, cuya variable será la característica resistiva del lugar donde estén instalados los electrodos y su indicador será si satisface los estándares. En la práctica, obtener los valores resistivos ideales del suelo no es posible aun colocando electrodos con mejores características o instalando más varillas; cuando este sea el caso se podrá modificar por medio de químicos. “Según la norma ANSI/IEEE Std. 142-1982; existe una metodología que nos permite manipular las características eléctricas del suelo, reduciendo su resistividad en porcentajes más bajos”.

Tavares (1999), en su libro de Administración moderna del mantenimiento, redacta la investigación sobre “la tendencia que se percibe en los gerentes de mantenimiento” (p. 167); recibiendo mayores responsabilidades, en muchos casos, con una estructura reducida buscan responder las nuevas exigencias de los consumidores, a través de mayor capacitación e intercambio de información. El aporte de la investigación es proporcionar nuevas prácticas o mejorar las

existentes relacionadas con el mantenimiento del sistema de protección de tierras y descargas eléctricas por maniobra o los efectos de un rayo. La metodología utilizada es cualitativa transversal, debido a que se define como un estudio de las prácticas que se realizan en base a registros de operaciones en el departamento de mantenimiento del comercial para luego evaluar su efectividad. En los resultados de la investigación se podrán presentar datos que demuestran que se necesita atención especializada para el área de mantenimiento y así poder mejorar la relación de beneficios y costos.

Villegas (1991) define en su libro de altas y extra altas tensiones capítulo 12 (mallas de tierra), “ciertos factores controlables y otros no controlables que son de vital interés en el tema” (p. 543), tales como: Estado físico del pararrayos, el estado físico y calidad de las conexiones, el tipo y calibre de conductores utilizados en las mallas, resistencia y composición del terreno sin descartar que la ocurrencia de un rayo no es factor controlable. Cada factor se encuentra respaldado por las normas IEEE Std. 80 (200) ,142 (1991). El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es el análisis que se puede realizar con los valores mediales utilizando el método propuesto, para analizar y evaluar la respuesta que pudiese presentar el sistema de protección ante un evento incidente; además de servir como respaldo de consulta. La metodología utilizada es cuantitativa longitudinal, debido al uso de modelos matemáticos que nos proporcionan intervalos de operatividad del sistema. Con los resultados obtenidos en la investigación queremos definir si existe diferencia entre el diseño original y los datos recabados en el presente.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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.

3.1. 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.

3.2. 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.

3.3. Formulación de preguntas orientadoras

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

3.3.1 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?

3.3.2. 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?
- ¿Cómo determinar las variaciones que ha sufrido el sistema de tierras y su interconexión hasta la fecha?
- ¿Cómo se podrían corregir los fallos en el sistema de tierras físicas, por deterioros en la instalación, malos ajustes, corrosión e instalaciones mal ubicadas?
- ¿Cómo identificar los principales problemas para la gestión y ejecución de diversos tipos de mantenimiento, evaluando la gestión y socialización entre departamentos?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se perfila dentro de la línea de gestión de mantenimiento de la maestría en Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los cursos que se relacionan son automatización de procesos industriales, nos permite diseñar modelos automatizados eléctricos. El curso de administración del mantenimiento nos proporciona las bases para realizar una gestión eficaz de mantenimiento. El curso de técnicas de ensayos no destructivos nos orienta en técnicas de análisis del estado físico como termografía o soldaduras de tubería. Un curso importante es el de prevención a la corrosión y oxidación porque nos permite realizar un análisis de un sistema expuesto a la intemperie.

La importancia de un plan de mantenimiento para el sistema de protección instalado en el comercial se enfoca en los activos que se pudiesen dañar en el instante que ocurriese una falla eléctrica por descarga.

La necesidad de implementar un plan de mantenimiento es unificar ideas, ordenar información con el objetivo de detectar fallas cuando estas comienzan a gestionarse y así evitar daños irreparables en los equipos y usuarios.

La motivación del investigador que suscribe el presente trabajo radica en implementar el conocimiento adquirido respecto al diseño de mejores prácticas de mantenimiento aplicadas a un crucial sistema de protección como lo es un sistema de tierras y apantallamiento eléctrico, el mantenimiento mejora la respuesta ante posibles fallos eléctricos ocasionados por fenómenos eléctricos y

de maniobra que se presentan en una instalación eléctrica de forma espontánea no contemplada.

Los beneficios que se obtienen con este trabajo de investigación es la aplicación de un plan de mantenimiento que mejorará el proceso de verificación de las lecturas de la resistividad del terreno y las condiciones de los conductores que se encuentran enterrados dentro del mismo como los empalmes y conexiones, el pararrayos y todo el circuito que lo conecta con la tierra física, logrando prolongar la vida útil y asegurar la respuesta a fallas. Además, no menos importante; la seguridad que brindara a los usuarios, técnicos, propietarios, inmuebles y patrimonio.

Los principales beneficiarios de esta investigación son: el comercial en primera instancia, al garantizar una mejor protección eléctrica dentro de sus instalaciones; propietarios y clientes al disminuir los tiempos muertos causados por una falla; para los técnicos y jefatura porque mejoran el control, alarga la vida útil del todo el sistema y hace más eficiente el departamento de mantenimiento.

Además, brindar protección al instante en que se produzcan descargas atmosféricas que, aunque siendo aleatorias se debe tener la certeza que responderá de manera adecuada, llevar un control de los cambios constante para actuar de inmediato y de esta manera poder estabilizar a tiempo las diferencias equipotenciales en las líneas y brindar confiabilidad de los protectores; garantizando un mejor desempeño de los sistemas de protección.

Un plan de mantenimientos preventivos y predictivo bien ejecutado garantiza el buen funcionamiento, pero además genera ganancias económicas porque se antepone al mantenimiento correctivo; evitando compra de repuestos o del equipo completo que fuese dañado.

5. OBJETIVOS

5.1. 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.

5.2. 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.
- Determinar si el estado del sistema de puesta a tierra y su interconexión hasta la fecha de la investigación han sufrido variaciones.
- Establecer las actividades que conformaran el plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad, fiabilidad, vida útil y costes de los elementos de protección.

- Analizar los principales problemas para la gestión y ejecución de diversos tipos de mantenimiento, para minimizar el impacto y mejorar la gestión de socialización entre departamentos.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad de implementar un plan de mantenimiento es unificar ideas, ordenar información con el objetivo de detectar fallas cuando estas comienzan a gestionarse y así evitar daños irreparables en los equipos y usuarios.

La principal necesidad por cubrir en el aspecto laboral con el estudio de investigación es realizar un aporte metodológico y procedimental que permita tener un mejor control de los gastos del departamento y reducción en costos de mano de obra, mejor manejo de inventarios que permitan mantener un mejor stock de repuestos. Es un conjunto de actividades a realizar dentro del departamento de mantenimiento pero que no está estipulado en el normativo actual.

Al realizar el plan, se tendría el conocimiento de su funcionamiento y todo sería realizado en base a nuestro enfoque.

Para comenzar, se necesita realizar mediciones de resistividad del suelo en el sector donde se encuentran ubicados los electrodos , conocer el plano de la red y su ubicación física, realizar excavaciones para verificar el estado físico de conexiones y soldaduras exotérmicas, análisis de conductores, realizar la inspección pertinente de los soportes que sostienen los conductores (rigidez de los aprietes) y que interconectan todos los dispositivos, pruebas de medición a pararrayos y verificación de los parámetros de los sensores.

Luego, que se tiene una visión del estado físico del sistema se procederá a inventariar todos los dispositivos que se tienen en bodega verificando que coincidan con los datos de condiciones especiales, a la fecha de la investigación contando a los instalados. Se fabricará un afiche por cada ítem que se encuentre dentro del inventario para tener un control de seguimiento.

Se requiere al personal para brindar un mejor despliegue dentro de las instalaciones. Se capacitará al personal en áreas especializadas de modo que todos se enfoquen en el mismo objetivo.

Después de hacer el análisis inicial se procederá a estandarizar los métodos y establecer los procedimientos que serán plasmados en una normativa de seguimiento. Esto permitirá tener un control para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo, con el que se busca extender el tiempo de vida de todo el sistema. El buen funcionamiento en el momento de ser requerido garantiza su confiabilidad.

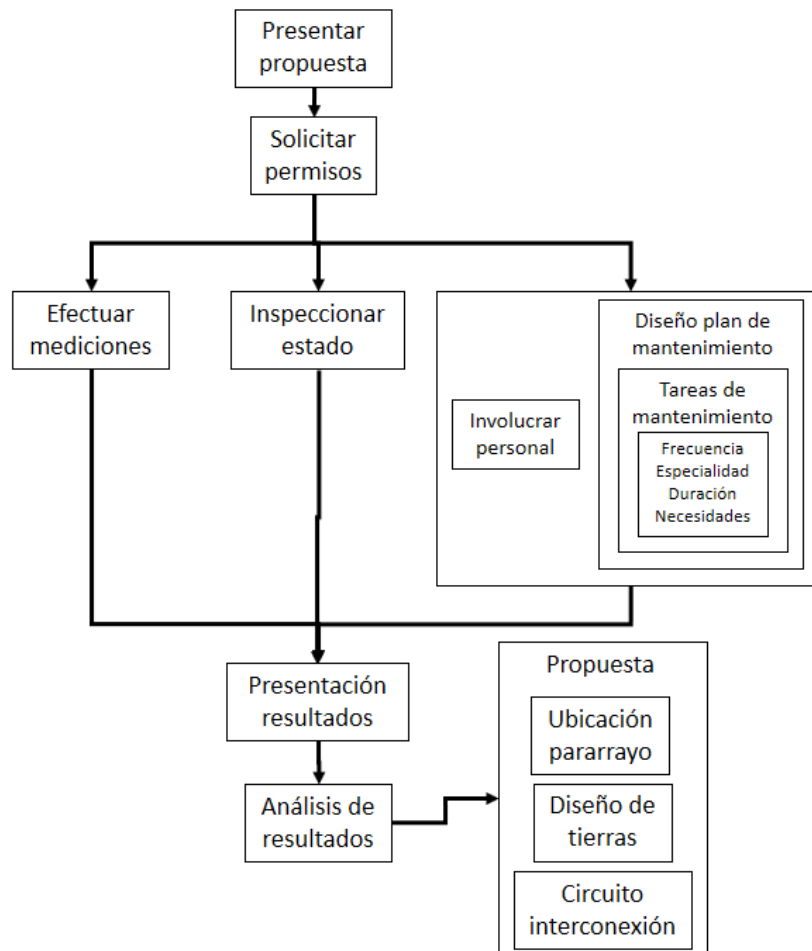
Al contar con todos los datos necesarios y de forma paralela al desarrollo del diseño del plan de mantenimiento se realizaría el diseño de la red de tierras, la ubicación del pararrayos en base al área a cubrir y el diseño de la interconexión de ambos.

El contenido teórico de los sistemas de puesta a tierra dentro de las aulas no posee el nivel de importancia que contiene dentro del ámbito profesional, no existen mucho (pero existe) contenido o estudios al mantenimiento de los mismos. La importancia que tienen las protecciones ante las descargas producidas por maniobra o por aspectos climáticos le dan al estudio cierto grado de originalidad.

El trabajo de investigación es de carácter pertinente porque desea mejorar la relación existente en el aspecto técnico-económico.

El trabajo de investigación tiene validez técnica porque busca la implementación de un plan de mantenimiento preventivo que ayude a monitorear de manera eficiente cada elemento que conforman el sistema de tierras y pararrayos.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

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

7.1. 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 2. **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-cayala/>

7.1.1. 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.

7.1.2. 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” (p. 67); 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 “de 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” (p. 42). 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 nimbus project designer 4 (software online gratuito propietario CPT cirprotec, 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 3. **Software utilizado para el nivel de riesgo**



Fuente: Cirprotec (2002). *Protección contra el rayo y las sobre tensiones*. Consultado el 23 de julio de 2020. Recuperado de <http://www.cirprotec.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 al tipo de estructura y las pérdidas en SPT

NPR	ESTRUCTURA	TIPO DE PERDIDA	PRIORIDAD	CARACTERÍSTICAS	(E) ¹⁰ EN UN SPT
I	Hospitales, clínicas de reposo, escuelas	Humanas	Alto	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo elevado de pérdidas humanas. No admite fallas en los servicios esenciales. 	
		Servicios esenciales	Alto		
		Culturales	Bajo		
		Económicas	Alto		
II	Hogares	Humanas	Alto	<ul style="list-style-type: none"> Nivel cerámico medio. Riesgo Elevado de pérdidas humanas. 	0.90<E<0.95
		Servicios esenciales	Medio		
		Culturales	Bajo		
		Económicas	Medio		
	Teatros, hoteles, almacenes grandes, áreas deportivas, prisiones.	Humanas	Alto	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel cerámico bajo o tolerable. • Riesgo medio o bajo de pérdidas humanas. 	0.8<E<0.9	
		Servicios esenciales	Medio			
		Culturales	Bajo			
O	Museos y sitios arqueológicos, patrimonios históricos, iglesias.	Económicas	Medio		<ul style="list-style-type: none"> • Admite fallas en los servicios esenciales. 	0<E<0.8
		Humanas	Alto			
		Servicios esenciales	Bajo			
IV		Culturales	Alto			
		Económicas	Alto			

Fuente: Pulido, S. (2004). *Proyecto de grado protección contra rayos*. Consultado el 27 de julio de 2020. Recuperado de <http://bibliotecadigital.udea.edu.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.

7.2. Descargas eléctricas

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

7.2.1. 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” (p. 53). 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 entra 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*.

7.2.2. 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:

7.2.2.1. Resistividad del suelo

Villegas (1991), cita “la resistividad es la oposición de los materiales al flujo de corriente eléctrica” (p.554). Monroy (2012), cita “Al realizar 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 25Ω) 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

7.2.2.2. 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 II.

Tabla II. **Valores de resistividad por tipo de 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
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 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” (p. 5).

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” (p. 5). 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” (p. 4).

Sales Solubles: para Ruelsa (2001), la resistividad de los suelos se puede medir de acuerdo a las sustancias con iones 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” (p. 2).

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

7.2.2.3. 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 4. Los electrodos externos $c1$ y $c2$ son conectados a una fuente de corriente I . En los electrodos internos $b1$ y $b2$ 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 formula 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:

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

a = Distancia entre electrodos, en m

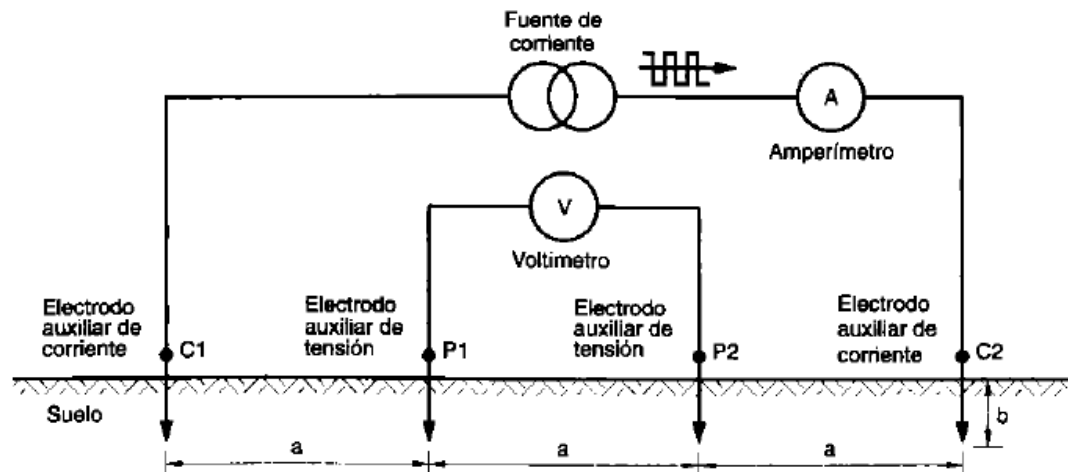
R = Resistencia obtenida en la medición, en Ω

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 4. 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.

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 Ω en función del distanciamiento a ” (p. 557).

Inga (2010), cita 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 5.

Figura 5. **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 (formula 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:

- ρ : 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.

7.2.2.4. 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 geográficas 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 isoceraunico (ver anexo 1).

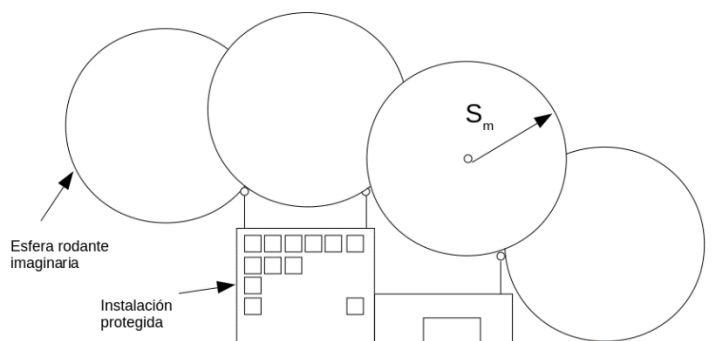
Monroy (2012), aconseja “dedicarle tiempo y recursos para elegir el método de apantallamiento que satisfaga la necesidad de proteger la inversión y a los usuarios finales” (p. 67).

7.2.2.4.1. 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 6, los objetos a proteger serán tangentes al contorno de la esfera; lo que se encuentre únicamente por debajo del área será protegido.

Figura 6. 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:

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

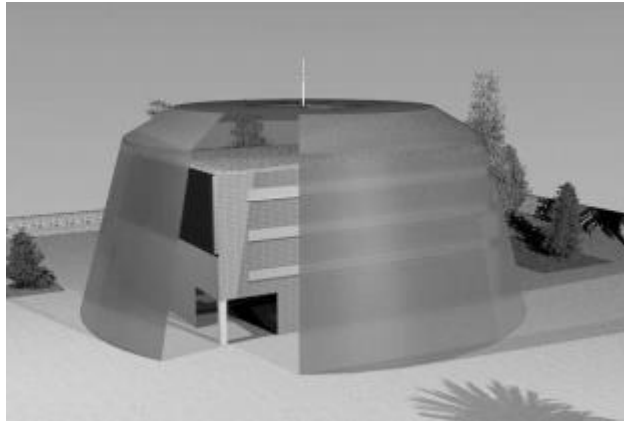
Donde:

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 del mismo, 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 7).

Figura 7. **Apantallamiento con pararrayo**



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

7.2.2.5. 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.

7.2.2.5.1. 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

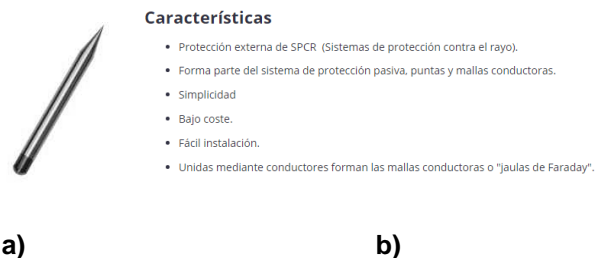
Punta tipo Franklin:

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 8) como podemos observar en las siguientes figuras.

Figura 8. **a. Punta captadora simple; b. características**



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

Son considerados elementos simples de captación de un rayo, de acuerdo al 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 9) utilizadas como complementos para generar un campo más ionizante.

Figura 9. **a. Punta captadora múltiple, b. características**



a)

Características

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

b)

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

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, ella crea 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 mayo 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 10.

Figura 10. **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 describe en su sitio web la diferencia de potencial existente entre la atmosfera y la tierra; si analizamos los potenciales eléctricos 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 11) 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 11. **Pararrayo PDCE**



Fuente: Ingesco (1991). *Pararrayo PDC*. Consultado 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).

7.2.2.5.2. 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 12) para asegurar la tensión del conductor. Los conductores en la parte inferior de la instalación serán protegidos por un tubo ver figura 13 y elementos de conexión entre conductores, ver figura 14.

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

Tabla III. **Distancia entre conductores bajantes**

Nivel de protección	Distancia entre bajantes
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Abrazadera de fijación**



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

Figura 13. **Tubo de protección de conductores**



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

Figura 14. **Elementos de conexión**



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

7.2.2.5.2.1. Elección del conductor

Villegas (1991) indica en su investigación que “cada elemento del sistema de tierras, incluyendo conductores, conexiones, uniones, varilla, etc. 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 a 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 ²
Tm	temperatura máxima permitida, °C
Ta	temperatura ambiente. °C
α0	coeficiente térmico a 0 °C. 1/°C
αr	coeficiente térmico Tr, 1/°C
tr	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 ³ °C).

Tabla IV. Constantes para materiales conductivos

Descripción	Conduc-tividad [%]	α _r a 20 °C [1/°C]	K ₀ a 0 °C [°C]	Temperatura de fusión, T _m [°C]	ρ _r 20 °C [μΩcm]	factor TCAP [J/(cm ³ °C)]
Cobre recocido	100,0	0,00393	234	1 083	1,72	3,42
Cobre estirado en frío	97,0	0,00381	242	1 084	1,78	3,42
Acero cobrizado	40,0	0,00378	245	1 084	4,40	3,85
Acero cobrizado	30,0	0,00378	245	1 084	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	1 400	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_felipe_ramirez_mejia_villegas.

Otra consideración a tomar en cuenta son las características físicas de los conductores. Villegas (1991) cita que en las primeras revisiones de la norma IEEE Std 80 “se recomendaba utilizar cable calibre 1/0 (54 mm²) y 2/0 (67 mm²)” (p. 553), pero en las últimas versiones “se recomienda utilizar 4/0 (107 mm²)” (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 ²		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>.

7.2.2.5.2.2. 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 15.

Figura 15. Tipos de abrazaderas



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

Recuperado de www.panduit.com/equipement.

Soldadura exotérmica: Manuel (2008), describe en la tesis de protección a equipos de telecomunicaciones; “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 16a) donde se colocan los conductores, el molde 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 a la reacción mostrada en la fórmula 7. Las tabletas tienen la forma mostrada en la figura 16b.

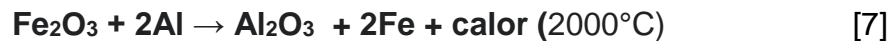


Figura 16. Elementos para soldadura exotérmica



a. Molde de soldadura



b. Tabletas para soldadura exotérmica

Fuente: Apliweid (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 17.

Figura 17. **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: Manuel (2008), describe en la tesis de protección a equipos de telecomunicaciones; “Existe 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: Manuel (2008), describe en la tesis de protección a equipos de telecomunicaciones; “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).

7.2.2.6. 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.

7.2.2.6.1. Electroodos

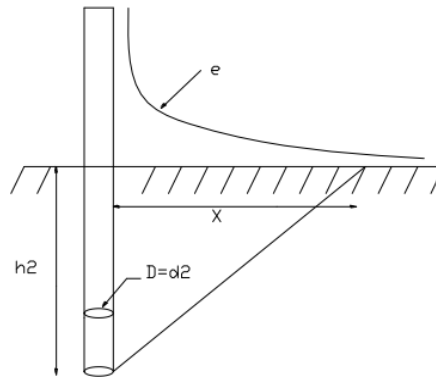
Son varillas de cobre o materiales conductivos con una resistividad muy baja que se incrustan a cierta profundidad en el suelo para absorber una descarga eléctrica. Los electrodos más utilizados en construcciones urbanas son varillas simples, arreglo de múltiples varillas conectadas en paralelo y una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

7.2.2.6.1.1. 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 18.

Figura 18. **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.

7.2.2.6.1.2. 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).

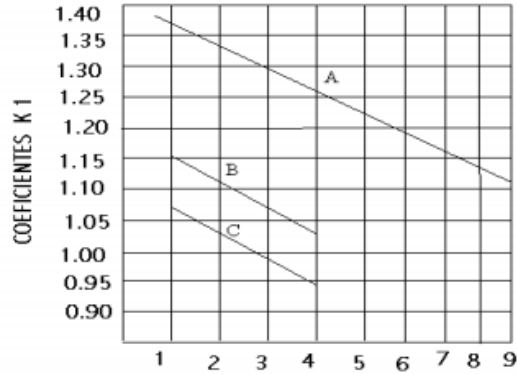
Podemos determinar la resistencia del arreglo de n varillas con la fórmula 10.

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

Donde:

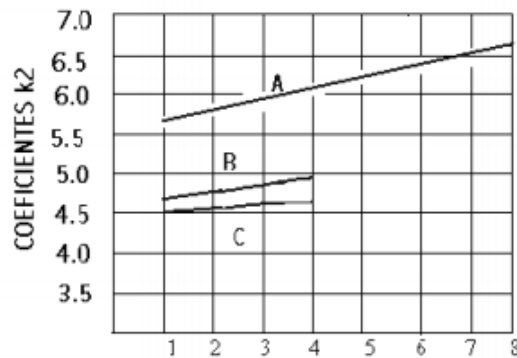
n número de electrodos.
a área que cubren los electrodos.
K1, K2 Coeficientes de resistividad en el suelo
 Mostrados respectivamente en las figuras 19 y 20
h2 longitud enterrada la varilla.
d2 diámetro de la varilla.

Figura 19. **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 20. **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>

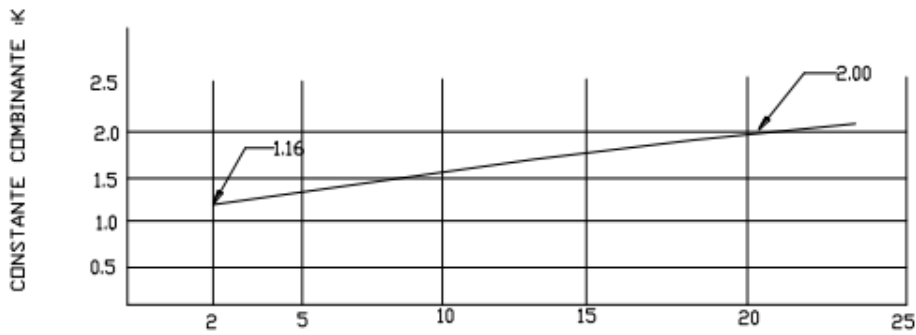
La resistencia de n varillas también se puede calcular con la fórmula 11.

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

Donde:

- K coeficiente según la gráfica 21.
- R_v resistencia de una varilla
- n número de varillas

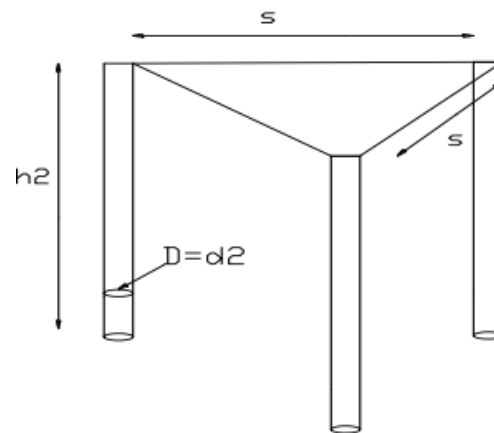
Figura 21. **Valores de la constante k**



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 22.

Figura 22. **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 $1.2 h_2$.

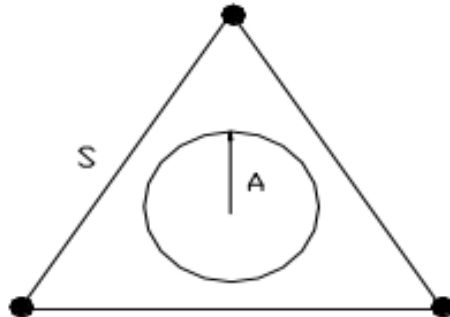
La resistencia del arreglo se calcula con la fórmula 12.

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

Donde:

A es la distancia media geométrica ver figura 23.

Figura 23. **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 de A corresponde a la 13:

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

7.2.2.7. 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 a 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 circule por su cuerpo según la siguiente tabla IV.

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

Corriente mA	EFEECTO	DAÑO INMEDIATO
< 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, infraestructuras metálicas y las tierras; esta tensión producirá una gradiente de tensión perjudicial para las personas y es por eso que es importante el análisis de ciertas corrientes sobre el suelo.

7.3. 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.

7.3.1. 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.

7.3.1.1. 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.

7.3.1.1.1. 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 la falla, la explicación para estos campos es proporcionados en la tabla del 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.

7.3.1.2. 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, etc., para determinar ciertas anomalías.

7.3.1.3. 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 al 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.

7.3.2. 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.

7.3.2.1. 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, etc. Es por eso que el mantenimiento preventivo e adelanta a la ocurrencia de fallas.

7.3.2.2. 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.

7.3.3. 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.

7.3.3.1. Mantenimiento a las características conductivas del suelo

Excelglen (2016), cita en la publicación “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 del mismo 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.

7.3.3.2. 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.

7.3.4. 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 a 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 perdidas de recurso y tiempo porque dentro del comercial cada técnico posee su propia manera de pensar y labora de acuerdo a 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 e 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.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Centro Comercial

1.1.1. Descripción del Centro Comercial

1.1.2. Evaluación del nivel de riesgo

1.2. Descargas eléctricas

1.2.1. Formación del rayo

1.2.2. Sistema de protección de tierras

1.2.2.1. Resistividad del suelo

1.2.2.2. Parámetros del suelo

1.2.2.3. Medición de la resistividad del suelo

1.2.2.4. Apantallamiento eléctrico

1.2.2.4.1. Esfera rodante

1.2.2.5. Elementos que conforman un sistema de apantallamiento

- 1.2.2.5.1. Elemento protector o captación pararrayo
 - 1.2.2.5.2. Conectores y conexiones entre los elementos de captación
 - 1.2.2.5.2.1. Elección del conductor
 - 1.2.2.5.2.2. Conexiones
 - 1.2.2.6. Elementos de una tierra física
 - 1.2.2.6.1. Electrodos
 - 1.2.2.6.1.1. Varilla simple
 - 1.2.2.6.1.2. Varillas múltiples
 - 1.3. Plan de mantenimiento del sistema de protección y apantallamiento eléctrico
 - 1.3.1. Tipos de mantenimiento
 - 1.3.1.1. Mantenimiento correctivo
 - 1.3.1.1.1. Reportes
 - 1.3.1.2. Mantenimiento predictivo
 - 1.3.1.3. Mantenimiento preventivo
 - 1.3.2. Necesidad de un plan de mantenimiento
 - 1.3.2.1. Beneficios del mantenimiento
 - 1.3.2.2. Bases de datos.
 - 1.3.3. Mantenimiento al SPT
 - 1.3.3.1. Mantenimiento a las características conductivas del suelo
 - 1.3.3.2. Buenas prácticas
 - 1.3.4. Evaluación de gestión y socialización
- 2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
 - 3. DISCUSIÓN DE RESULTADO

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
APÉNDICE
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La metodología de la investigación es la disciplina de conocimiento encargada de elaborar, definir y sistematizar el conjunto de técnicas, métodos y procedimientos que se deben seguir durante el desarrollo de un proceso de investigación.

9.1. Enfoque

El enfoque de la investigación es mixto por las siguientes razones: Cuantitativo porque se tomarán las mediciones de resistividad como el parámetro inicial, evaluación he indicador del funcionamiento. Cualitativo porque utilizará la revisión documental al estudiar los antecedentes del problema. Por último, longitudinal porque se obtendrán datos específicamente para este informe.

9.2. Diseño

El diseño de la investigación es no experimental porque no se manipula variables en laboratorio como parte de la información. Los datos necesarios serán obtenidos con herramientas de medición con el objetivo de hacer un análisis en los puntos donde se planteará efectuar mejoras.

9.3. Tipo

El tipo de estudio es descriptivo porque busca responder interrogantes expuestas por el planteamiento del problema, basado en los datos de registro y con la toma de datos actuales, realizar un análisis sobre las desviaciones de resultados para indicar la necesidad de implementar un diseño que mejoren los resultados.

9.4. Alcance

El alcance metodológico es solo una propuesta porque se cuenta con datos de registro (al realizar la instalación), que permiten evaluarla; además, se posee lo necesario para un estudio y determinar procedimientos operativos.

9.5. Variables e indicadores

Consiste en determinar el método a través del cual serán medidas o analizadas las variables de acuerdo con los indicadores y técnicas.

Tabla VII. Operativización de variables

Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicadores	Técnicas	Plan de tabulación
Identificar los valores de resistividad y dimensionamiento eléctrico que posee el sistema de tierra física utilizado como de protección de descarga instalada en el centro comercial.	Indicadores eléctricos	Independiente	Datos estandarizados en norma	Medición de resistividad utilizando meger	Uso de tabla Anexo 1
	Resistividad	Cuantitativa	Calidad energética	Medición de continuidad con tester	
	Estado de condición	Cardinal			
Determinar si el estado del sistema de puesta a tierra y su interconexión hasta la fecha de la investigación han sufrido variaciones.	Resistividad	Dependiente	Característica eléctrica del suelo. Revisión documental.	Observación	Registros
	Estado de condición.	Cualitativa	Reporte de mantenimiento.	Medición	
	Conducción	Nominal	Continuidad	comparación	
Establecer las actividades que conformaran el plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad, fiabilidad, vida útil y costes de los elementos de protección.	Resistividad	Dependiente	Diferencias de valores eléctricos.	Reporte de fallas	Registros
	Estado de condición.	Cualitativa	Disponibilidad de repuestos.	Inventario.	
		Nominal	Frecuencias. Composición y calidad del suelo donde se ubican los electrodos.	Análisis. observación	
Analizar los principales problemas para la gestión y ejecución de diversos tipos de mantenimiento, para minimizar el impacto y mejorar la gestión y socialización entre departamentos.	Información.	Dependiente	Falta de registros.	Diseñar políticas de responsabilidad y comprometer a los colaboradores difundiendo la misma información en el equipo.	Registros
	Apoyo.	Cualitativa	Falta de información,	Reuniones y charlas informativas	
	Plan de mantenimiento Registros.	Nominal			

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases

Fase 1: consiste en la revisión documental para realizar la investigación de antecedentes del problema y marco teórico relacionado al mismo.

Fase 2: corresponde al establecimiento de los valores de resistividad del suelo en áreas donde se encuentran instalada la tierra física y examinar el estado físico de la instalación, actividad que nos permitirá establecer un patrón de comparación con los datos existentes en los registros a la hora de la instalación.

Fase 3: deducir si el estado del sistema de puesta a tierra y su interconexión a la fecha de la investigación y los datos de registros han sufrido variaciones. Proceso que se debe realizar de manera minuciosa porque será un parámetro de comparación con los estándares establecidos en las normas existentes.

Fase 4: establecer un plan de actividades que conforman el plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad, fiabilidad, vida útil y costes de los elementos de protección. Corresponde al proceso final de la investigación y presentación del diseño.

9.7. Resultados esperados

El resultado esperado es establecer la base teórica como marco de referencia a través de mediciones de suelo y análisis visual el estado físico del sistema de tierras y su conexión para desarrollar el plan de mantenimiento preventivo.

Así mismo, se espera determinar las deficiencias de los resultados obtenidos y determinar la efectividad que tendría el diseño de un plan de mantenimiento para mejorar las anomalías detectadas en el transcurso de la investigación.

También se espera determinar el conjunto de actividades que son claves para la realización del diseño del plan de mantenimiento preventivo, establecer las causas de las deficiencias y obtener la evaluación y retroalimentación del diseño.

Finalmente, se espera poder establecer la propuesta del plan de mantenimiento que corresponde al trabajo final de investigación en base a las directrices establecidas por la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

9.8. Población y muestras

Se va a utilizar la población en su totalidad, todos los datos obtenidos durante el proceso de medición serán parte del análisis de resultados.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Durante el proceso de la investigación se obtendrán los datos a través de la observación directa, toma de datos (apéndice 1), entrevistas, revisión de documentos (si existieran), análisis de funcionamiento.

Los análisis de información se llevarán a cabo durante todos los procesos, también se recopilará, organizará, presentará, analizará e interpretará datos. Para ello se utilizará la siguiente herramienta de estadística descriptiva:

- Toma de datos
- Organizar datos
- Clasificación de actividades
- Tablas
- Gráficas
- Diagramas
- Cronogramas

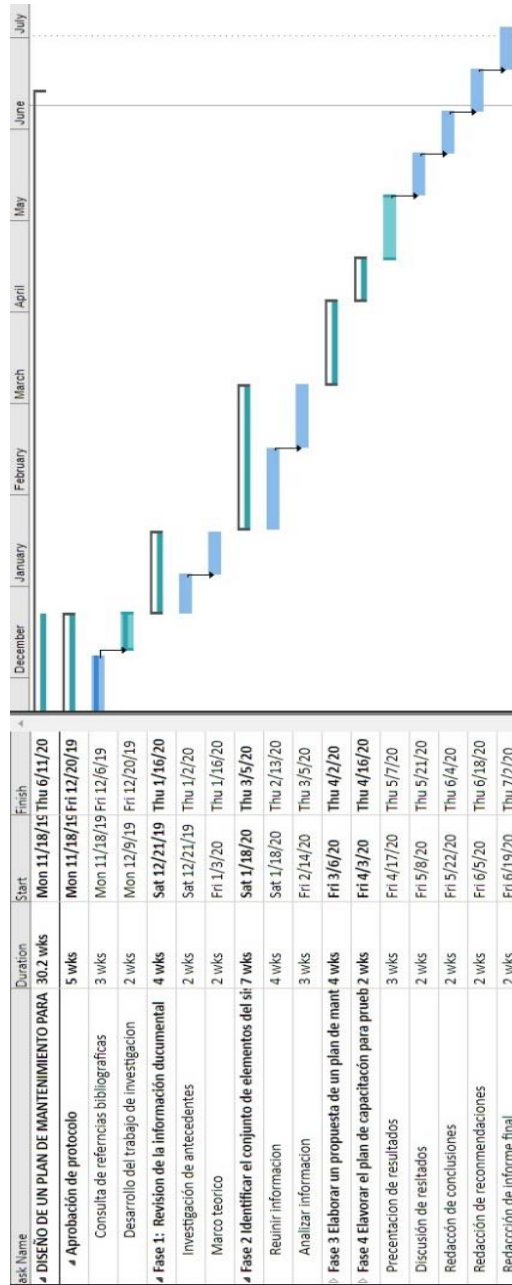
Las mediciones serán el punto de partida para establecer una referencia; primero si los valores concuerdan con los registros que se tienen de la instalación que actualmente se encuentra. Luego, utilizando un análisis visual y detallado a través de toda la infraestructura que parte desde el pararrayos hasta la conexión con la tierra física, una varilla. Dicho recorrido indicara si los elementos que la conforman satisfacen la necesidad de demanda y cumplen con los estándares. Así mismo, indicara si el deterioro corresponde al que debería tener.

Del segundo objetivo, al concluir la recopilación de datos como siguiente pasó, se estudiará si los procesos de verificación a los elementos que conforma el sistema de protección existente son los adecuados y cumplen su cometido.

Del tercer objetivo se analizarán los documentos y se harán los cambios pertinentes.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 24. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio de investigación para la gestión del mantenimiento del sistema de puesta a tierra como protección del centro comercial es factible porque se cuenta con todos los recursos necesarios para ejecutar cada una de las etapas logrando alcanzar los objetivos de este trabajo. El financiamiento del proyecto será compartido entre la jefatura y el investigador.

Para el recurso humano, será imprescindible el apoyo de la jefatura de mantenimiento para poder acceder a las instalaciones y que nos brinden información requerida como registros de fallas, manuales, diagramas, procedimientos, inventarios de equipos, como también se requiere el apoyo del área de mantenimiento como técnicos los cuales aportaran sus procedimientos y experiencia en la práctica, también se necesitara el ayuda del ingeniero de mantenimiento como apoyo para ejecutar ciertos procesos imposibles de ejecutar sin su prescencia.

Recursos Materiales y tecnológico, es necesario para llevar a cabo esta investigación disponer de planos de ubicación y equipo de medición específico (Megger, medidor de resistividad), también se contará con la disposición al acceso a las instalaciones del comercial.

Recurso financiero, establecido el recurso necesario material y humano para el desarrollo del trabajo de investigación es necesario definir los costos económicos que serán aportados por el investigador los cuales se definen en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Monto aproximado de la investigación**

No.	Recurso	Descripción	Monto
1	Humano	Tiempo invertido por el investigador	Q 3,000.00
2		Pago de asesoría	Q 2,000.00
3	Transporte	Combustible	Q 1,400.00
4	Material	Compuesto mineral	Q 450.00
5		Papelería y Útiles	Q 100.00
6	Equipo	Medidor de resistividad de suelo	Q 17,000.00
7	Varios	Imprevistos	Q 500.00
Veinticuatro mil cuatrocientos cincuenta quetzales			Q 24,450.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Chusin, E. O. (2008). *Mantenimiento Industrial*. Macas, Ecuador. Recuperado de <https://studylib.es/doc/467038/mantenimiento-industrial--autor-edwin-orlando-neto-chusin>. Consulta: junio de 2019.
2. Dr. Ing. Mario Vignolo, I. F. (2011). *Mallas de tierra en Alta Tension*. Chile. 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>. Consulta: junio de 2019.
3. Edd.Hg. (2011). *Blog del Ingeniero Civil*. [mensaje en el Blog del Ingeniero] Recuperado de <https://ingenieriaciviltips.blogspot.com>. Consulta: julio de 2019.
4. Edwin Yesid Arévalo Díaz, E. H. (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
5. Elsiscom. (2018). *Elsiscom Ingenieria*. Recuperado de <https://www.elsiscomingenieria.com>. Consulta: septiembre de 2019.
6. Excelglen. (2019). *BIRT LH*. Recuperado de <https://ikastaroak.ulhi.net>. Consulta: septiembre de 2019.

7. Gálvez, R. O. (2020). Revista de ingeniería del mantenimiento. *Revista de ingeniería del mantenimiento*(53). Recuperado de <https://www.revistaimg.com>. Consulta: julio de 2020.
8. Garrido, S. G. (2009). *Manual Práctico para la Gestión eficaz del mantenimiento*. Recuperado de <https://www.academia.edu/> Consulta: octubre de 2019.
9. GEDISA. (2007). *Manual de Sistemas de Puesta a Tierra*. Caracas, Venezuela. Recuperado de www.gedisa.com.ve. Consulta: marzo de 2020.
10. González, J. L. (2017). Electro Industria. *Revista electrónica* (22), 9-19. Recuperado de <http://www.emb.cl/electroindustria>. Consulta: mayo de 2020.
11. Ingesco. (2013). *Ingesco*. Recuperado de <https://www.ingesco.com/es/empresa>. Consulta: julio de 2019.
12. Institucional. (2016). *Educarex*. Recuperado de <http://eschoform.educarex.es>. Consulta: enero de 2020.
13. John J. Grainger, W. D. (1996). *Análisis de sistema de potencia* (2ª edición). doi: ISBN 970-10-0908-8. Consulta: noviembre de 2019.
14. López, R. D. (2004). *Técnica Industrial*. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es>.
15. Monroy, M. A. (2012). *Análisis 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>.

16. Montes, A. R. (2008). *Pararrayos-pdce*. Recuperado de : <https://www.pararrayos-pdce.com/tipos-de-auditorias-sistemas-de-proteccion-contra-rayos>.
17. Profesional, E. d. (2020). *Ingenium*. Recuperado <https://ingenium.edu.pe>.
18. Rafael David 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>.
19. Renovetec. (2009). *Mantenimiento*. Recuperado de <https://mantenimientopetroquimica.com>.
20. Ruelas, I. R. (2001). *Ruel SA*. Recuperado de <https://www.ruelsa.com>.
21. SAC, S. (2017). *Saamiseg*. Recuperado de <http://saamiseg.com>.
22. Sarco, J. P. (2010). *Testing en español*. 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 Protección de la Compañía* (tesis de licenciatura) Facultad de

ingeniería de ejecución en electromecánica. Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>.

24. Tavares, L. (1999). *Administración Moderna del Mantenimiento*. Sao Paulo, Brasil. Recuperado de <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>.
25. Tecno-Ferran. (2016). *Tecno Protect*. Recuperado de <http://www.tecnoprotect.com/es/referencias/tecnologia-pdce>.
26. Tecnológicas, A. (2018). *Aplicaciones Tecnológicas*. Recuperado de <https://at3w.com/inicio/s10>.
27. Torres, M. (1999). *Tierras Fisicas*. Jalisco, Mexico. Recuperado de www.totalground.com.
28. Torres-Sánchez, H. (2010). *El rayo: mitos, leyendas, ciencia y tecnologia*. Universidad Nacional de Bogotá, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/43069/6/9587012135_Parte%201.pdf.
29. Villa, L. I. (2010). *Diseño de Malla de Puesta a Tierra*. Proyecto de graduación. Facultad de Ingenierías. 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 (2ª edición.)*. Colombia. Recuperado de https://www.academia.edu/34461032/Subestalta_ext_alta_tension_carlos_felipe_ramirez_mejia_villegas. Consulta: agosto de 2019.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de operatividad**

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

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 2

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:		Número y Fecha:	
Dependencia Responsable:			
Descripción del equipo			
Área 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:		Número y/o Fecha:	

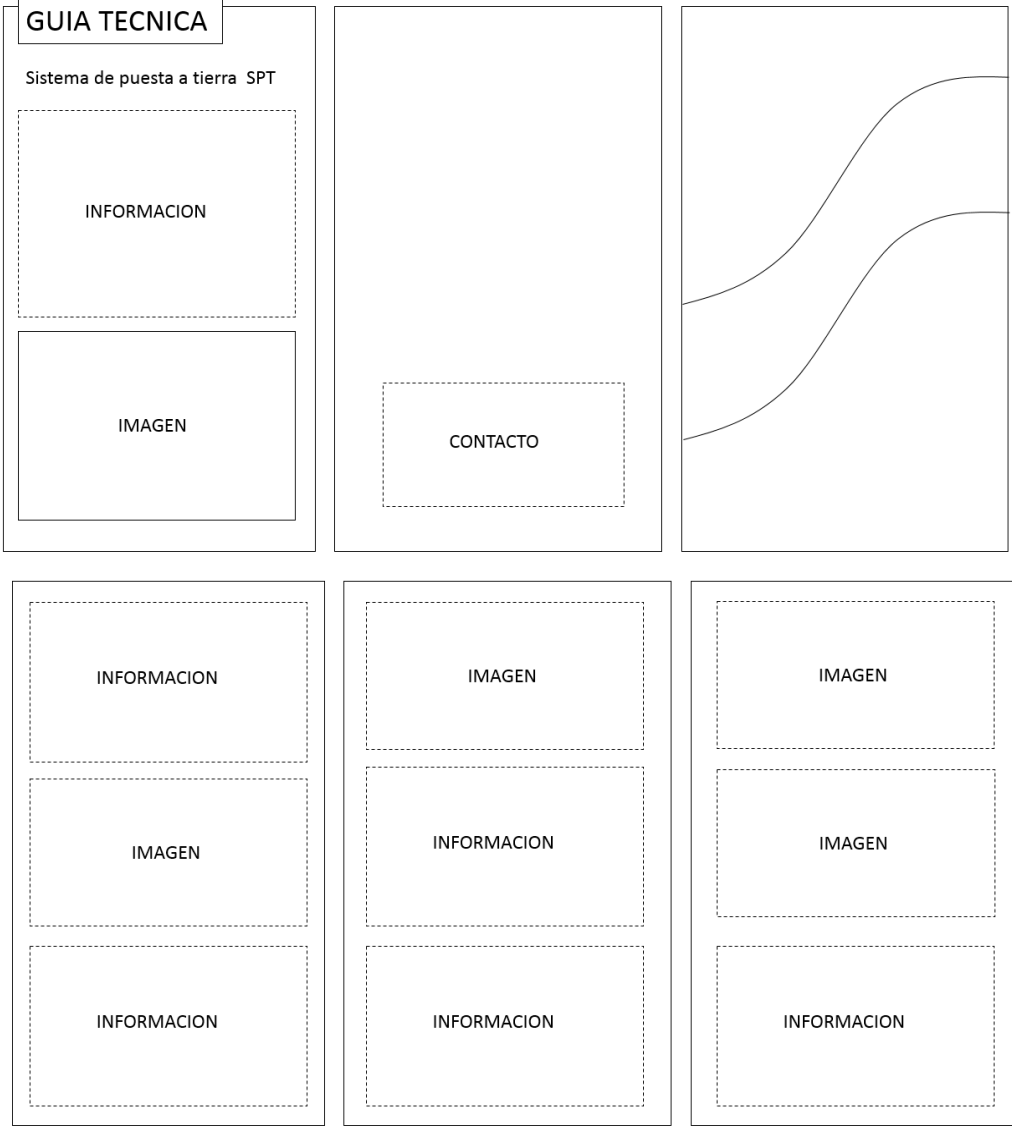
Fuente: elaboración propia.

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	Período Actual	Acumulado	No. Hr.	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.

