

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Propuesta de memoria de cálculo del pararrayo
con dispositivo cebado tipo PDC en la Minera
Antamina - Ancash**

Pierre Eduardo Tello Valera

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. César Quispe López

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco a Dios por darme la sabiduría, buena salud, vida y fortaleza para lograr este sueño tan anhelado.

Quisiera hacer manifiesto mi más profundo agradecimiento a mi alma mater, Universidad Continental, que me brindó los conocimientos para desempeñarme profesionalmente, así mismo, mi agradecimiento va para todos los catedráticos y a mis compañeros de estudio, todos comprometidos con el desarrollo del país.

Mi agradecimiento sincero al señor decano de la facultad de Ingeniería de la Universidad Continental, Dr. Felipe Gutarra Meza, por su valioso aporte al desarrollo de las ciencias de ingeniería y su constante preocupación para motivarnos en el desarrollo de la investigación científica y engrandecimiento de la Universidad.

Al Ing. César Quispe López, por sus acertadas sugerencias y orientaciones en el campo metodológico de la Ingeniería Eléctrica como asesor, quien con su destreza y habilidades nos conduce por el camino exitoso de la investigación.

DEDICATORIA

A mi querida madre María Elena, pilar fundamental de mi formación profesional, por su confianza y apoyo incondicional, a mis hijas Fabiana y Vania que me impulsaron a superarme.

ÍNDICE

Asesor	ii
Agradecimiento	iii
Dedicatoria	iv
Índice.....	v
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.1.2. Formulación del problema	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3. Justificación e importancia	15
1.3.1. Justificación social.....	15
1.3.2. Justificación técnica.....	16
1.3.3. Justificación económica.....	16
1.4. Hipótesis y descripción de variables	17
1.4.1. Hipótesis.....	17
1.4.2. Descripción de variables	17
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes del problema	19
2.2. Bases teóricas	23
2.2.1. Memoria de cálculo del pararrayo	23
2.2.2. Criterios de diseño.....	23
2.2.3. Tipos de pararrayo	29
2.2.4. Cálculo de pararrayos contra descargas atmosféricas.....	42

2.2.5. Instalaciones por proteger	49
2.2.6. Propuestas del sistema de pararrayos	49
2.3. Definición de términos básicos	50
CAPÍTULO III.....	53
METODOLOGÍA	53
3.1. Método y alcance de la investigación	53
3.1.1. Método de la investigación	53
3.1.2. Alcance de la investigación	54
3.2. Diseño de la investigación	54
3.3. Población y muestra	55
3.3.1. Población.....	55
3.3.2. Muestra	55
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
3.4.1. Técnicas	55
3.4.2. Instrumentos.....	56
CAPÍTULO IV.....	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	57
4.2. Comparativo de costos de tipos de pararrayos.....	57
4.3. Pararrayos PDC Ioniflash NG 60	57
4.4. Pararrayos PDC marca Uskuna modelo flash-L	60
4.5. Propuesta del sistema de protección de Antamina	62
4.6. Propuesta de pararrayo del investigador	64
4.7. Prueba de hipótesis	67
4.7.1 Hipótesis general.....	67
4.7.2 Hipótesis específica.....	73
Conclusiones.....	76
Referencias	78
Anexos	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pararrayos de óxido metálico.....	23
Figura 2. Esquema explicativo del pararrayos de punta simple o pasivos.	29
Figura 3. Descargas eléctricas atmosféricas.....	30
Figura 4. Pararrayo	30
Figura 5. Transformador.....	31
Figura 6. Esquema explicativo del pararrayos tipo puntas captadoras	32
Figura 7. Pararrayos puntas simples Franklin (PSF).....	32
Figura 8. Pararrayos de punta simple	33
Figura 9. Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC).....	33
Figura 10. Pararrayos con dispositivo de cebado.....	34
Figura 11. Pararrayos CTS.....	34
Figura 12. Pararrayos con jaula de Faraday	35
Figura 13. El pararrayos con sistema de Faraday (jaula).....	35
Figura 14. Pararrayos con Sistema de Hilos Tendidos (HT)	36
Figura 15. Pararrayos con dispositivo de cebado PDC	37
Figura 16. Pararrayo con dispositivo de cebado	39
Figura 17. Pararrayos con dispositivo de cebado DAT Controler.....	40
Figura 18. DAT Controler remote	41
Figura 19. Elementos de protección contra rayos	42
Figura 20. Protección externa PDC.....	43
Figura 21. Cálculo de radio de protección según normas EN 62305-2, NFC 17- 102	43
Figura 22. Punto de medida	44
Figura 23. Diagrama de flujo del número de potenciales descargas por año...	45
Figura 24. Mapa isoceraúnico del Perú.....	46
Figura 25. Cálculo del área equivalente	47
Figura 26. Diagrama de flujo para calcular el número tolerable de descargas.	48
Figura 27. Ubicación de 18138. Estructura de decantación Sidehill. Etapa III .	49
Figura 28. Graficas de correlación	69
Figura 29. Uso de SPSS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	18
Tabla 2. Locación relativa de la estructura.....	47
Tabla 3. Coeficiente de construcción C2.....	48
Tabla 4. Coeficiente de estructura C3.....	48
Tabla 5. Coeficiente de ocupación de la estructura C4.....	49
Tabla 6. Coeficiente de consecuencia de descargas sobre la estructura C5 ...	49
Tabla 7. Valores máximos (criterios de dimensionado).....	50
Tabla 8. Pararrayos PDC Ioniflash NG 60.....	59
Tabla 9. Pararrayos PDC marca Uskuna modelo flash-L.....	61
Tabla 10. Propuesta del sistema de protección de Antamina.....	63
Tabla 11. Propuesta de pararrayo del Investigador.....	65
Tabla 12. Minera Antamina – costo del pararrayo.....	67
Tabla 13. Correlaciones.....	70
Tabla 14. Correlaciones.....	72
Tabla 15. Eficiencia de respuesta de los sistemas de protección.....	73
Tabla 16. Requerimientos técnicos.....	74
Tabla 17. Funcionamiento del pararrayo tipo PDC.....	75

RESUMEN

La presente tesis titulada “*Propuesta de memoria de cálculo del pararrayo con dispositivo cebado tipo PDC en la minera Antamina – Ancash*” plantea el problema ¿Influye la memoria de cálculo del pararrayo con dispositivo cebado tipo PDC en la protección de la Casa de Fuerza – Taller, en la minera Antamina - Ancash?, como objetivo pretende determinar si la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye en la protección de la Casa de Fuerza – Taller, en la minera Antamina – Ancash; en la muestra investigada y como hipótesis se asume la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye en la protección de la SE H1 en la minera Antamina - Ancash. El diseño fue cuasiexperimental, en la muestra de un caso específico en la minera Antamina - Ancash, donde se aplicó la técnica de observación que permite obtener datos próximos a cómo está funcionando el objeto de investigación, se emplearon fichas de observación, hojas de registro y recibo de energía. Concluyendo que, la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye positivamente en la protección de la Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina – Ancash, que permite obtener niveles seguros de funcionamiento y protección dentro de cada área de trabajo de la Casa de Fuerza - Taller, también el estudio correlacional permitió confirmar una influencia positiva entre la propuesta de la memoria de cálculo tipo PDC y la protección de la Casa de Fuerza - Taller en la minera Antamina – Ancash.

Palabras claves: casa de fuerza taller, dispositivo de cebado PDC, pararrayo

ABSTRACT

The present thesis entitled "Proposal for the calculation memory of the lightning rod with a PDC-type primed device in the Antamina - Ancash mining company" raises the problem: does the calculation memory of the lightning rod with a PDC-type primed device influence the protection of the Powerhouse - Workshop, in the Antamina - Ancash? mining company, as an objective it aims to determine if the calculation memory of the proposed PDC type lightning rod influences the protection of the Power House - Workshop, in the Antamina - Ancash mining company; in the investigated sample and as a hypothesis, the calculation memory of the proposed PDC type lightning arrester is assumed to influence the protection of SE H1 in the Antamina - Ancash mine. The design was quasi-experimental, in the sample of a specific case in the Antamina - Ancash mining company, where the observation technique was applied that allows obtaining data close to how the object of investigation is working, observation sheets, record sheets and energy bill. Concluding that, the calculation memory of the proposed PDC type arrester positively influences the protection of the Powerhouse - Workshop, in the Antamina - Ancash mining company, which allows obtaining safe levels of operation and protection within each work area of the Powerhouse - Workshop, the correlational study also confirmed a positive influence between the PDC type calculation memory proposal and the protection of the Powerhouse - Workshop at the Antamina - Ancash mining company.

Keywords: lightning rod, PDC priming device, workshop powerhouse

INTRODUCCIÓN

La investigación realizada “*Cálculo del pararrayo con dispositivo cebado tipo PDC en la minera Antamina – Ancash*”, enfoca el problema de inconvenientes surgidos con respecto a la protección adecuada en la subestación, que es de mucha importancia para los equipos eléctricos de la minera Antamina, porque algunos fabricantes sugieren un sistema de puesta a tierra separado, solo para los equipos electrónicos, que son sensibles.

El objetivo general de la investigación fue determinar si la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye en la protección de la Casa de Fuerza – Taller, en la minera Antamina - Ancash.

El presente trabajo se justifica en la importancia de implementar equipos de protección, ya que cualquier tipo de daño puede ocasionar la interrupción en el servicio de una máquina y esto a su vez detener la operación de un proceso completo. En tal sentido, el trabajo que se presenta tiene como estructura lo siguiente:

Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, se determina la formulación del problema, la importancia y los alcances de la investigación.

Capítulo II, trata del marco teórico, donde abarca los antecedentes internacionales, nacionales y regionales, asimismo, las bases teóricas de la investigación que comprenden temas relacionados a las variables Memoria de cálculo para el pararrayo tipo PDC y Protección de la subestación H1. En las bases teóricas se desarrollaron temas relacionados a los pararrayos modelos, características, dimensiones y las definiciones, finalmente, se encuentra en este capítulo la definición de los términos básicos.

Capítulo III, se describe la metodología de la investigación, alcance, diseño de la investigación, población y muestra. Asimismo, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV, se describen los resultados del tratamiento y análisis de la información. Asimismo, se encuentra la prueba de hipótesis y la discusión de resultados de la minera Antamina - Ancash. Finalmente, se presentan las conclusiones en relación a las hipótesis, problemas y objetivos de investigación. También se presentan las recomendaciones, las referencias y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En las últimas décadas han surgido inconvenientes con respecto a la protección adecuada en la subestación que es de mucha importancia para los equipos eléctricos; con la gran pregunta que se hacen los proyectistas de las SS. EE. de la minera Antamina, ¿se conectan o no a la puesta a tierra principal?; por lo que algunos fabricantes sugieren un sistema de puesta a tierra separado, solo para los equipos electrónicos, que son sensibles. La respuesta fue encontrada en trabajos de tesis de diferentes países del porqué se tienen que conectar todos los equipos eléctricos y electrónicos a un solo sistema de puesta a tierra (SPT), y no en puesta a tierra (PAT) diferentes. Porque se trata de conseguir una equipotencialidad casi perfecta en todo el sistema, necesaria para evitar que surja diferencia de potenciales, inducidos por corrientes estáticas y atmosféricas, contribuyendo a la inseguridad del personal y equipo. El concepto válido es el uso de una tierra única y equipotencial, con la unión de todas las partes metálicas al sistema.

La equipotencialidad asegura que todos los objetos conductores, no vinculados eléctricamente, estén a un mismo potencial, manteniendo un nivel de seguridad requerido y necesario para el personal y equipo de trabajo. Sin la

equipotencialidad apropiada, y el requerimiento mínimo del valor de la resistencia los sistemas de protección no trabajan adecuadamente.

Una señal eléctrica de alimentación es comúnmente afectada por causas como ruido eléctrico, descargas electromagnéticas, descargas electrostáticas y atmosféricas, que interfieren con el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos afectando a la fuente que los alimenta. Como ejemplo: una señal limpia es de gran importancia para la alimentación de equipos electrónicos, que si no trabajan con su tensión nominal podrían variar su funcionamiento y, como consecuencia, los resultados darán falsas lecturas y un mal proceso de la planta industrial. Un buen sistema de puestas a tierra en conjunto con otros métodos, como la instalación de pasivos en paralelo, blindaje en el cableado y dispositivos PDC, reducirían la deformación de las señales eléctricas que degradan el buen funcionamiento del sistema de control.

Estos fenómenos electromagnéticos son en la mayoría de los casos, perturbaciones causadas por descargas electroestáticas y atmosféricas, ambas básicamente producto de cargas acumuladas ya sea por la presencia eléctrica estacionaria de los mismos o a su interacción con otros equipos eléctricos; esto lleva a diseñar y desarrollar un sistema de protección adecuado contra cualquier tipo de interferencia electromagnética que se presente en el sistema. Con una mala instalación al SPT se puede ocasionar daños irreparables en los equipos, o un mal funcionamiento entre ellos, pero lo más importante es que pueda ocasionar accidentes personales.

De continuar operando en estas condiciones, las empresas tendrán pérdidas económicas por el deterioro de sus equipos y pérdidas económicas por afectar la producción con un personal expuesto al riesgo.

Como se observa en el presente trabajo, los sistemas de conexión a tierra requeridos actualmente difieren de las épocas anteriores y requieren una actualización constante tanto en su desarrollo tecnológico, de los especialistas y constructores.

Con la relación oportuna de datos e información proporcionada por los fabricantes de equipos e instituciones especializadas en esta actividad, es posible obtener resultados importantes en la protección de equipos electrónicos.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Influye la memoria de cálculo del pararrayo con dispositivo cebado tipo PDC en la protección de la casa de fuerza - taller, en la minera Antamina - Ancash?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash?
- ¿Cuáles son los elementos de protección en la minera Antamina - Ancash?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar si la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye en la protección de la Casa de Fuerza – Taller en la minera Antamina - Ancash.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash.
- Evaluar los elementos de protección en la minera Antamina - Ancash.
- Evaluar si con la propuesta de memoria de cálculo amerita la instalación del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina – Ancash.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación social

La seguridad humana en instalaciones eléctricas es un requisito primordial para cualquier institución seria que se interesa por la seguridad de personas ante cualquier eventualidad que signifique un riesgo para la salud. Un riesgo que

fácilmente podría causar la muerte si no pensamos en un buen SPT, que proteja de estos fenómenos electromagnéticos que, en la mayoría de los casos, son perturbaciones causadas por descargas electroestáticas y descargas atmosféricas.

Contribuir a un mejor desempeño de los sistemas de protección, evita incendios provocados por cortocircuitos, adición de materiales volátiles o la combustión de gases; entonces, se debe proveer un camino efectivo y seguro para la circulación de corrientes de falla, descargas atmosféricas, estáticas, arcos eléctricos y elevadas temperaturas en los equipos eléctricos que pueden provocar tales incendios ocasionando pérdidas humanas y materiales.

1.3.2. Justificación técnica

La presencia de alta cantidad de componentes electrónicos como microprocesadores y transistores en los equipos eléctricos ha incrementado su susceptibilidad a disturbios eléctricos como lo son los transitorios. La importancia de implementar equipos de protección radica en que cualquier tipo de daño puede ocasionar la interrupción en el servicio de una máquina y esto, a su vez, detener la operación de un proceso completo.

En cuanto a equipos, como forma de protección es importante utilizar dispositivos de protección que ayuden a mantener la vida útil de estos y evitar efectos por variaciones de tensión eléctricas de diversos orígenes, que ocasionan falsas lecturas, mal funcionamiento, deterioro inmediato y sustitución de algún equipo electrónico deteriorado o defectuoso, ocasionado por descargas atmosféricas o diferencia de potencial, por lo que, se tiene que detener parte del proceso o toda la planta industrial, generando pérdidas económicas; por lo tanto, para evitar todo lo descrito anteriormente se tiene que realizar un buen sistema de puesta a tierra.

1.3.3. Justificación económica

El deterioro electrónico es el desgaste de componentes electrónicos debido al efecto acumulativo y paulatino de las sobretensiones eléctricas de bajo y alto nivel. Por lo general, estos daños o deterioros se producen en

subestaciones de potencia que carecen de protección adecuada contra sobretensiones.

Sin embargo, con frecuencia, los circuitos industriales se encuentran contaminados, severamente con perturbaciones eléctricas producidas por descargas tanto de máquinas eléctricas estáticas, motores de potencia industrial, como por descargas atmosféricas que ocasionan la apertura de circuitos y la paralización inesperada de equipos de control.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis

1.4.1.1. Hipótesis general

La memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye en la protección de la Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina - Ancash.

1.4.1.2. Hipótesis específicas

- a. Los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash es deficiente.
- b. Los elementos de protección en la minera Antamina - Ancash es regular.
- c. La propuesta de memoria de cálculo amerita la instalación del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash

1.4.2. Descripción de variables

1.4.2.1. Variable independiente (x)

Memoria de cálculo para el pararrayo tipo PDC

1.4.2.2. Variable dependiente (y)

Casa de Fuerza - Taller

1.4.2.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Memoria de cálculo para el pararrayo tipo PDC	Las memorias de cálculo son los procedimientos descritos de forma detallada de cómo se realizaron los cálculos de las ingenierías que intervienen en el desarrollo de un proyecto de construcción.	Energía eléctrica	kilowatts hora	Multímetro Analizador de redes
		Amperaje	Ampere	Multímetro Analizador de redes
		Voltaje	voltios	Multímetro Analizador de redes
		Costos de energía	Consumo mensual Consumo en horas punta	Pliego tarifario regulado por Osinergmin
Variable dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Casa de Fuerza - Taller	Se entiende como los centros de generación de energía eléctrica en los centros mineros donde se identifican componentes como dínamos generadores de electricidad y elementos de protección.	• Transformador	Potencia	Watímetro
		• Interruptor principal	Nivel de accionamiento	Watímetro
		• Cuchillas desconectoras	Arcos eléctricos	Watímetro
		• Protecciones	Puestas a tierra	Terrómetro

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Se revisaron diferentes tesis de páginas web acerca del tema, para así obtener mayor información y ver diferentes puntos de vista, a nivel nacional e internacional.

Lapuerta manifiesta que, “El estudio sobre mallas de tierra tiene por objeto encontrar o facilitar el conocimiento sobre sistemas de puesta a tierra, ya que es de importancia en los análisis de los sistemas eléctricos” (1).

Morales dice que, “Los sistemas de puesta a tierra se diseñan para asegurar, durante una falla a tierra, los potenciales en terreno y en los conductores conectados al electrodo de tierra o en conductores expuestos en la vecindad, que están bajo límites apropiados” (2).

En el trabajo de investigación titulado “Diseño del sistema de puesta a tierra del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana - sede Guayaquil” (3), con el propósito de presentar el diseño de la malla puesta a tierra de la subestación eléctrica del nuevo campus de la Universidad en mención, donde las condiciones del terreno, del medio ambiente o temperatura y principalmente de la estacionalidad del año influyen directamente en el valor

medido de la resistividad del suelo, es decir, se comporta muy variable con respecto a estas características, así, en los días calurosos (valores altos), con humedad o lluviosos (valores bajos). El sector del nuevo campus tiene suelos con valores de resistividad relativamente medios, con un promedio de resistividad de $61\Omega\cdot m$, determinados en tres casos de mediciones distribuidos alrededor de la orilla del río Guayas. Al efectuar mediciones de resistividad se observó también que mientras se aumentó la distancia de cada pica de medición, disminuyó la resistividad del terreno, siendo que, esta acción es inversamente proporcional. El diseño y el cálculo de la resistencia realizado para la subestación eléctrica presentan una resistencia de puesta a tierra de 0.95Ω cumpliendo con la norma según CEN Covenin 200 para puestas a tierra que debe ser menor a 25Ω . Para una subestación eléctrica la máxima resistencia de tierra no debe de pasar los 5Ω . Con la finalidad de disminuir los picos de voltaje (ya sean de contacto o de paso), reduciendo así el peligro en el área de la malla; aumentando el número de varillas, elevándose al mismo tiempo los costos de diseño, es así como, los costos son sumamente superiores a los calculados para pequeñas puestas de tierra (3).

Canales sustenta acerca de la subestación aplicada en la industria minera: es una práctica común de la minería comprar toda o la mayor parte de energía eléctrica a las empresas de servicios públicos. La subestación principal corresponde a la que se alimenta directamente de las líneas de transmisión, y reduce la tensión a valores menores para la alimentación de los sistemas de subtransmisión o redes de distribución. Puede variar su capacidad desde 500 kVA con suministro de 380 V solo para las bombas y cintas transportadoras, hasta 50000 kVA para la operación de minas de gran superficie y plantas de procesamiento (4).

En el estudio a profundidad sobre *Cálculo de la malla de puesta a tierra de una subestación* donde “se desarrolla la metodología para el cálculo de la malla de una subestación”, se muestra detalladamente cómo se construye el algoritmo. Se presenta un ejemplo de aplicación manual y otro desarrollado mediante software (5).

En el libro *Sistemas de puesta a tierra: diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*, trata lo siguiente: “precisar el modelo y la medición del sistema de puesta a tierra en una subestación es de vital importancia para garantizar la operación del sistema” (6). Las reglas enumeradas en la forma IEEE 80 y la introducción al método de los elementos finitos para el cálculo de la distribución son el centro del análisis de este libro. Actualmente es de suma importancia entregar las curvas de distribución de potencial en los electrodos del sistema para la correcta evaluación del valor de la resistencia del sistema. Los científicos basan el actual modelo de la estructura de los puntos medidos sobre el sólido, tratamiento que se ha intentado narrar en el texto (6).

La Comisión Federal de Electricidad realizó un estudio sobre el sistema de tierra para plantas y subestaciones eléctricas donde llegaron al resultado (7):

Los valores obtenidos de resistencia se grafican contra la distancia, como se muestra en la tesis. En esta curva, la parte plana u horizontal indica la resistencia real (R_t) de la red de tierra que se ha probado (por experiencia, la resistencia óhmica real obtenida mediante este método se aproxima al 62% de la distancia total L). El valor obtenido se checa contra el valor de ohm de la red de tierra que debe tener la planta o subestación. Es importante, antes de realizar la medición de la malla de tierra, realizar un barrido dentro de la planta o subestación para verificar que haya continuidad y no se encuentre fracturada la malla o red (7).

El trabajo de investigación titulado “*Sistema de red de tierras en subestaciones eléctricas de potencia*” (8), con el propósito de: 1) Como se mencionó a través de este documento, la cantidad de material utilizado (cobre) en el diseño de una instalación de puesta a tierra es directamente proporcional con en el nivel de corto circuito que exista en el punto donde se construya la subestación, por lo que resulta económicamente incosteable si se pretende proporcionar el nivel de seguridad que las normas lo especifican. Con los valores de corto circuito actuales, y aún más, los esperados para los próximos cinco años, se tendrían que diseñar mallas con cuadrículas de menos de un metro,

que según el manual de la IEEE resulta peligroso por los voltajes de paso que se alcanzarían. 2) La solución para el problema de instalar mallas de tierra sobredimensionadas, derivado del incremento del valor de corto circuito en las principales ciudades de México, en especial de la ciudad de Monterrey Nuevo León, es establecer un límite como tope para los niveles de falla; lo anterior puede lograrse si se reconfigura la red eléctrica y se crean subanillos a nivel de su transmisión (principalmente 115 kV), esto es rompiendo enlaces mallados con lo cual se pierde confiabilidad del sistema, pero se evita el reemplazo de equipo de seccionamiento, como interruptores de potencia por baja capacidad interruptora, y el rediseño de las redes de tierra tanto para instalaciones de la propia CFE como servicios particulares conectados en 115 kV (8).

En el trabajo de investigación titulado "*Diseño del sistema de puesta a tierra del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana - sede Guayaquil*" (9), con el propósito de presentar el diseño de la malla puesta a tierra de la subestación eléctrica del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana, llegando a lo siguiente: 1) Las condiciones del terreno, del medio ambiente o temperatura y principalmente de la estacionalidad del año influyen directamente en el valor medido de la resistividad del suelo, es decir se comporta muy variable con respecto a estas características, así sea en los días calurosos (valores altos), con humedad o lluviosos (valores bajos). 2) El sector del nuevo campus tiene suelos con valores de resistividad relativamente medios, con un promedio de resistividad de $61\Omega\cdot m$, determinados en tres casos de mediciones distribuidos alrededor de la orilla del río Guayas. 3) Al efectuar mediciones de resistividad se pudo observar también que, mientras se aumentó la distancia de cada pica de medición, disminuyó la resistividad del terreno; esta acción es inversamente proporcional. 4) El diseño y el cálculo de la resistencia realizado para la subestación eléctrica presenta una resistencia de puesta a tierra de 0.95Ω cumpliendo con la norma según CEN Covenin 200 para puestas a tierra que debe ser menor a 25Ω . 5) Para una subestación eléctrica la máxima resistencia de tierra no debe de pasar los 5Ω . 6) Con la finalidad de disminuir los picos de voltaje (ya sean de contacto o de paso), reduciendo así el peligro en el área de la malla, se aumentan el número de varillas, elevándose al mismo tiempo

los costos de diseño, es así que en este caso los costos son sumamente superiores a los calculados para pequeñas puestas de tierra (9).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Memoria de cálculo del pararrayo

Los pararrayos son dispositivos previstos para limitar las sobretensiones transitorias que aparecen en la red. Están constituidos por discos de óxido de zinc y con óxido de otros metales (Bi, Sb, Mn, Co, etc.), protegidos por una envolvente de porcelana o de material de goma silicona. Durante su fabricación se consigue la mezcla de polvo de los óxidos constituyentes debidamente compactados y sintetizados, tal y como se puede contemplar en la siguiente figura.



Figura 1. Pararrayos de óxido metálico

2.2.2. Criterios de diseño

La selección de los pararrayos que protegen a las líneas de alta tensión se debe realizar siguiendo el siguiente procedimiento:

a) Paso 1: Selección de la tensión de servicio continuo

Los pararrayos deben ser capaces de soportar, en permanencia, la máxima tensión de servicio que pueda aparecer en la red:

✓ Para redes con eliminación automática de los defectos a tierra:

$$U_c \geq 1.05 \cdot \frac{U_s}{\sqrt{3}}$$

- ✓ Para redes con neutro aislado o puesta a tierra por una bobina de compensación sin eliminación automática de los defectos a tierra:

$$U_c \geq 1.05 \cdot U_S$$

Nótese que el factor de 1,05 se aplica para tener en cuenta la presencia de armónicos de tensión en la red.

b) Paso 2: Selección de la tensión asignada

La tensión asignada de un pararrayos debe elegirse en función de las sobretensiones temporales de la red previstas en su lugar de instalación, teniendo en cuenta sus amplitudes y sus duraciones. Se recomienda estudiar tanto las debidas a faltas a tierra como las debidas a pérdidas de carga. Cuando aparecen sobretensiones temporales las protecciones convencionales (relés de sobreintensidad, de distancia, diferencial, etc.), deben ser capaces de despejarlas en un tiempo breve (normalmente inferior a 1 s). Los pararrayos son capaces de limitar sobretensiones transitorias de frente rápido o de frente lento, pero no así las temporales, que deben ser soportadas por los pararrayos hasta la actuación de las protecciones. Para poder comparar las sobretensiones temporales de distinta amplitud y duración que puede aparecer en la red a fin de valorar la capacidad del pararrayos para soportarlas, la norma UNE establece la siguiente expresión empírica para determinar la amplitud de una sobretensión temporal equivalente de 10 s de duración.

$$U_{equ} \geq U_t \cdot \left(\frac{T_t}{10}\right)^{md}$$

Donde:

- U_t** : amplitud de la sobretensión temporal representativa de duración T_t
U_{equ} : amplitud de la sobretensión temporal representativa equivalente de 10 s de duración
md : coeficiente que caracteriza la curva de sobretensión-duración del pararrayos (según el diseño del pararrayos que varía entre 0,018 y 0,022).

La tensión asignada del pararrayos U_t , debe ser superior a la sobretensión temporal equivalente más elevada, obtenida aplicando un margen de seguridad entre el 5% y el 15% a fin de tener en cuenta posibles imprecisiones en el cálculo.

Nótese que si el nivel de protección que se obtiene en el paso 5 resultase insuficiente, es posible elegir un pararrayos de una tensión asignada, U_t , inferior al valor resultante mediante el criterio anterior, a condición de que el pararrayos sea capaz de absorber la energía producida por las sobretensiones.

c) Paso 3: Selección de la corriente nominal I_n

La corriente nominal de descarga se elige en función de la corriente tipo rayo prevista. Para redes de $U_s \leq 72,5$ kV se suelen utilizar pararrayos de 5 o 10 kA, siendo necesario emplear la corriente nominal mayor cuando la tensión nominal de la red es más elevada o la probabilidad de impacto de rayos es alta (> 1 impacto /año·km²). Para redes de mayor tensión nominal se utilizan pararrayos de 10 o 20 kA aplicando los mismos criterios.

d) Paso 4: Capacidad de absorción de energía

Los pararrayos de óxidos metálicos deben ser capaces de absorber la energía W , causada por las sobretensiones transitorias de la red, debidas a la conexión y reenganche de las líneas de gran amplitud, la descarga de un banco de condensadores o de un cable; esto, si se produce el recebado en la maniobra de los interruptores o la energía debida a impactos de rayo en conductores de líneas aéreas.

Aunque la forma más apropiada para determinar la energía absorbida por un pararrayos es mediante estudios numéricos con la simulación del sistema y analizando la energía puesta en juego a través del pararrayos para las diferentes solicitudes, la norma UNE EN 60099-5, establece tres expresiones analíticas simplificadas para estimar la energía de cada una de estas solicitudes:

✓ Energía debido a la conexión y reenganche de líneas de alta tensión:

$$W = 2U_{ps}(U_t - U_{ps}) \cdot \frac{T_w}{|Z_0|}$$

Donde:

U_{ps}: nivel de protección del pararrayos frente a onda maniobra.

U_t: amplitud de la sobretensión a tierra debida a la conexión y reenganche de la línea evaluada.

T_w: tiempo de propagación de la sobretensión a lo largo de línea, calculado como cociente entre la longitud de línea que recorre la sobretensión y la velocidad de propagación de la onda por la línea.

|Z_o|: módulo de la impedancia característica de la línea.

✓ Energía debido a la maniobra de condensador o cable:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \left((3U_o)^2 - (\sqrt{2}U_r)^2 \right)$$

Donde:

C: capacidad del banco de condensadores o del cable

U_o: cresta de la tensión de servicio entre fase y tierra

U_r: tensión asignada del pararrayos

✓ Energía debida al impacto de un rayo:

$$W = \left[2 \cdot U_f - N_l \cdot U_{pl} \left(1 + \ln \left(\frac{U_f}{U_{pl}} \right) \right) \right] \cdot \frac{U_{pl} T_r}{|Z_o|}$$

Donde:

U_{pl}: nivel de protección a impulsos tipo rayo del pararrayos

U_f: tensión de cebado en polaridad negativa del aislamiento de la línea

Z_o: módulo de la impedancia característica de la línea

N_l: número de líneas conectadas al pararrayos

T_r: duración equivalente de la corriente de un rayo que comprende la descarga principal y las descargas subsiguientes, habitualmente se toma 300 μs

Si la absorción de energía requerida es mayor a la capacidad de absorción de energía del pararrayos seleccionado se incrementará la clase del pararrayos, en caso de no existir clase energética suficiente para la corriente nominal

elegida, se elegirá un pararrayos con un valor superior de corriente nominal I_n y en caso de no ser posible, la última opción sería aumentar la tensión asignada del pararrayos U_f , a condición de que los niveles de protección sean aceptables.

e) Paso 5: Niveles de protección, tensiones soportadas de coordinación y márgenes de protección

El nivel de protección a impulsos tipo rayo U_{pl} , es el valor de la tensión residual U_{res} , en bornes del pararrayos para la corriente nominal de descarga I_n . Sin embargo, la sobretensión máxima que puede llegar al objeto a proteger y que debe ser soportada por este es U_{cw} (tensión soportada de coordinación), puede ser muy superior debido al efecto de ondas viajeras y reflexiones por cambio de impedancia característica en el punto de conexión de la línea aérea con el equipo o material protegido (cable aislado, transformador, etc.). Consecuentemente, la tensión soportada de coordinación U_{cw} , depende de la distancia al pararrayos, o lo que es lo mismo, depende del tiempo que el rayo tarda en llegar desde el pararrayos al aislamiento que protege.

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{N_l} \frac{l}{(L_{sp} + L_f)}$$

Donde:

U_{pl} : nivel de protección a impulsos tipo rayo

l : distancia de separación hasta el pararrayos

N_l : número de líneas

L_{sp} : longitud del vano en cuyo extremo está conectado el pararrayos

L_f : tramo de longitud de línea para que la tasa anual de fallos corresponda con la tasa marcada como aceptable R_a , calculada según la fórmula siguiente:

$$L_f = \frac{R_a}{N_{cb}}$$

Donde:

R_a : tasa de fallo aceptable (fallos / año)

N_{cb} : tasa anual total de cebados (fallos / año.km)

A: parámetro que viene dado según la naturaleza de la línea

✓ **Líneas de distribución**

- Con crucetas puestas a tierra 900
- Líneas con apoyos de madera 2700

✓ **Líneas de transporte**

- De un solo conductor 4500
- De doble haz 7000
- De cuádruple haz 11000
- De haz con seis u ocho conductores 17000

Partiendo de la tensión soportada de coordinación obtenida U_{cw} , el aislamiento del material a proteger debe aguantar una tensión soportada especificada mayor U_{rw} , con el propósito de tener un cierto margen de protección. El margen mínimo de protección exigido por la norma es 1,15. A nivel práctico la mayor parte de compañías exigen que el valor de la tensión soportada U_w por los aislamientos sea, al menos, 1,2 veces de la tensión soportada de coordinación calculada.

$$\frac{U_{rw}}{U_{cw}} \geq 1,15$$

$$\frac{U_w}{U_{cw}} \geq 1,2$$

f) Paso 6. Elección de la línea de fuga

Debe seleccionarse el nivel de contaminación más apropiado según el lugar de instalación del pararrayos. La línea de fuga mínima l_t , para un nivel de contaminación determinado se obtiene multiplicando la línea de fuga específica l_e , correspondiente al nivel de contaminación considerado por la tensión más elevada de la red U_s :

$$l_t = l_e \cdot U_s$$

La línea de fuga del aislamiento externo del pararrayos debe ser igual o superior a la línea de fuga determinada.

2.2.3. Tipos de pararrayo

Sea cual sea la forma o tecnología utilizada, todos los pararrayos tienen la misma finalidad: ofrecer al rayo un camino hacia tierra de menor resistencia que si atravesara la estructura del edificio. Existen dos tipos fundamentales de pararrayos: los pararrayos punta simple o pasivos y pararrayos ionizantes o activos:

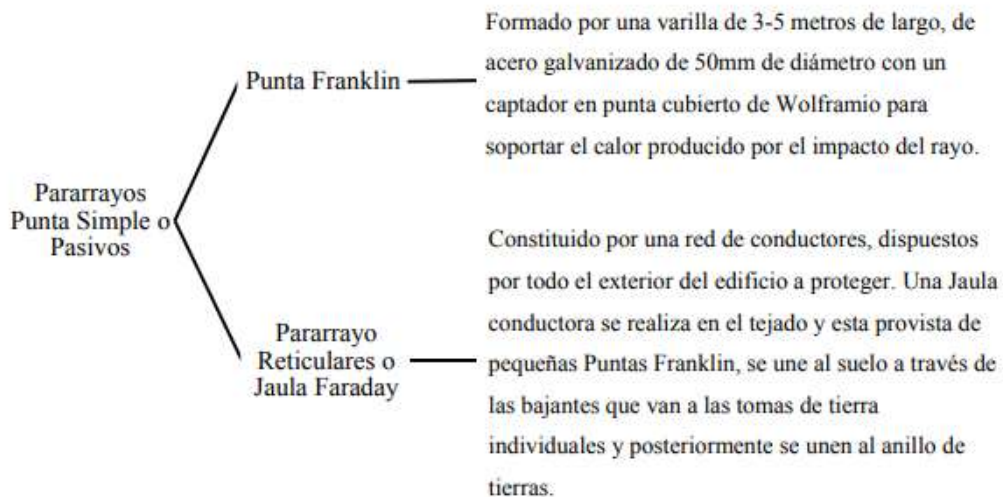


Figura 2. Esquema explicativo del pararrayos de punta simple o pasivos. Tomada de Core.ac.uk

2.2.3.1. Pararrayos autovalvulares

Trata sobre la regulación de determinadas variables eléctricas para mantener unos valores prefijados en determinados puntos o zonas, tales como tensión en barras, potencia activa o reactiva transportada por las líneas, etc., acciones para las que se requieren de frecuentes maniobras.

Como ejemplo, los FACTS son útiles en asuntos tales como:

a. Protección contra sobretensiones en redes de energía

Uno de los agentes externos que produce las sobretensiones en las redes aéreas de alta tensión son las descargas eléctricas atmosféricas, las cuales, si no son despejadas adecuadamente, pueden destruir instalaciones. Desconexiones que dejan sin energía a industrias interrumpiendo la cadena de su producción, viviendas, incendios y, en el peor de los casos, pérdidas humanas. En estas líneas no solamente afectan las sobretensiones por

tormentas, también afectan sobretensiones producidas por maniobras o por fallas del sistema dentro de la misma instalación.



Figura 3. Descargas eléctricas atmosféricas

Es así como, para evitar las nefastas consecuencias de las sobretensiones, se utilizan pararrayos, los cuales permiten conservar las instalaciones en condiciones adecuadas de servicio y seguridad, además de mantener los valores de tensión dentro de los límites que fijan las Normas Técnicas.



Figura 4. Pararrayo

b. ¿Dónde se instalan los pararrayos autovalvulares?

- En la entrada de los centros de transformación de intermedia tensión para proteger al transformador de sobretensiones.
- Entradas y salidas de subestaciones, protegiendo transformadores de subestaciones.
- Paso de una línea a subterránea
- Torres de tendido eléctrico
- Líneas aéreas de tracción para tranvías, trenes, etc.

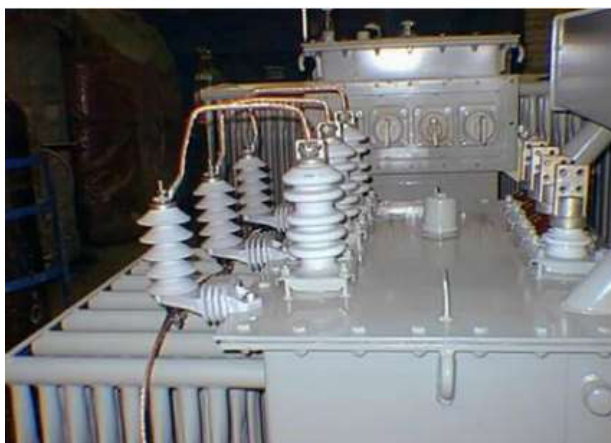


Figura 5. Transformador

c. Aplicaciones más usuales de las autoválvulas

Existen autoválvulas que con una descarga se tienen que cambiar, algunos modelos que debe tomar la resistencia eléctrica sin servicio y si está por debajo de unos valores prefijados se deberá cambiar, así como también existen fabricantes que dan un número de descargas que puede efectuar la autoválvula. En redes de MT usualmente suelen ser 500 descargas, ¿cómo se conoce el número de descargas realizadas?, para esto se recomienda instalar un contador de descargas, por ende, es muy importante hacer la consulta al fabricante para poder realizar una instalación y mantenimiento adecuados.

2.2.3.2. Pararrayos tipo puntas captadoras

Los pararrayos o puntas de descarga son dispositivos de protección para la subestación, edificios y de toda la instalación en general contra descargas atmosféricas. Consisten en una varilla de material conductor con terminación en punta. Estas varillas se conectan a la red de tierras. El método de los pararrayos es que, al existir descargas en la atmósfera, se debe proporcionar un camino de muy baja impedancia a fin de que se garantice que, en caso de ocurrir una descarga, esta se vaya a tierra a través de las puntas y no a través de otros elementos en donde pudieran ocurrir desgracias lamentables.

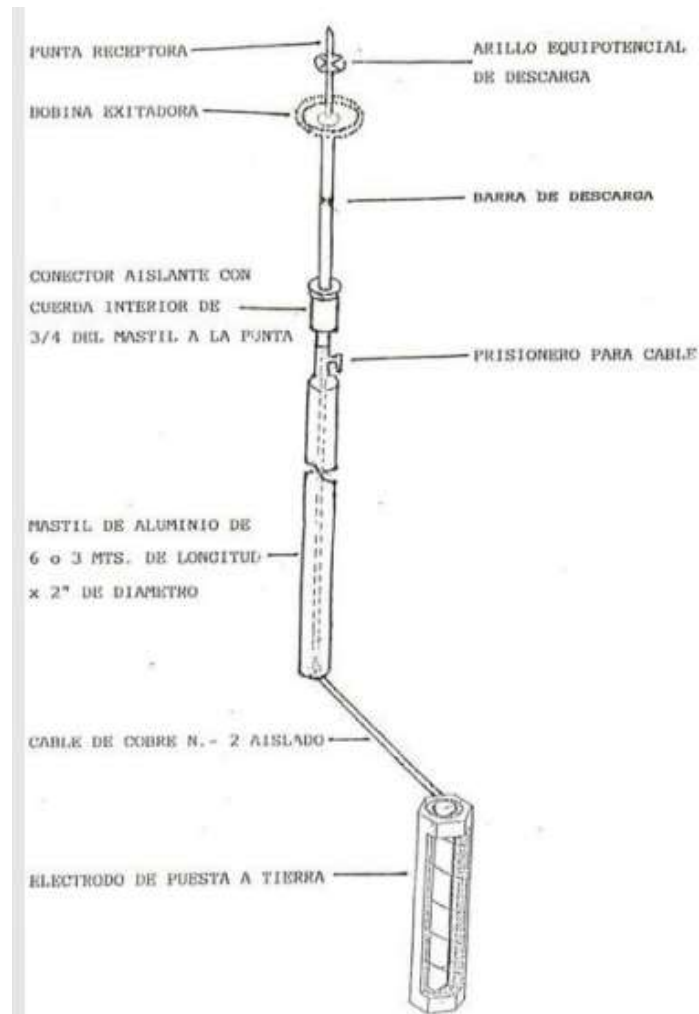


Figura 6. Esquema explicativo del pararrayos tipo puntas captadoras

2.2.3.3. Pararrayos puntas simples Franklin (PSF)

Son electrodos de acero o de materiales similares acabados en una o varias puntas, denominados “*Punta simple Franklin*”, los cuales no tienen ningún dispositivo electrónico ni fuente radioactiva.



Figura 7. Pararrayos puntas simples Franklin (PSF)

Alrededor de la punta o electrodo aparece la ionización natural o efecto corona, resultado de la transferencia de energía. Este fenómeno es el principio de excitación para trazar un canal conductor que facilitará la descarga del fenómeno rayo.

También conocidos como pararrayos Franklin, en honor a su inventor. Este tipo de pararrayos consta de una barra sencilla con una punta metálica. Se instalan con una altura mínima de 2 metros sobre la estructura que se desea proteger y están conectados como mínimo a dos puestas a tierra.

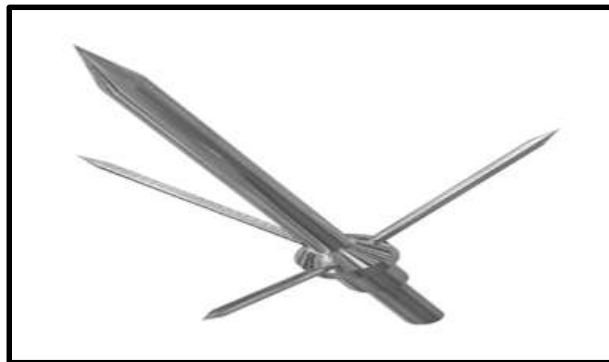


Figura 8. Pararrayos de punta simple

2.2.3.4. Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

Están formados por electrodos de acero o de materiales similares acabados en una punta. Incorporan un sistema electrónico que genera un avance teórico del trazador; otros incorporan un sistema piezoeléctrico que genera un efecto similar. Los dos sistemas se caracterizan por anticiparse en el tiempo en la captura del rayo, una vez que se produce la carga del dispositivo electrónico de excitación (cebador). No incorporan ninguna fuente radioactiva y su principio de funcionamiento sigue siendo el mismo que los pararrayos tipo Franklin con la diferencia tecnológica de que estos equipos están en el sistema electrónico.



Figura 9. Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

Dentro de estos pararrayos se encuentran los siguientes:

- ✓ Los de tipo ion corona solar
- ✓ Los de tipo piezoeléctrico

Un pararrayos con dispositivo de cebado conocido también por la abreviatura PDC o por el nombre de pararrayos ionizante, es un sistema de protección externa contra el rayo de alta tecnología. El objetivo del pararrayos es convertirse en el punto de descarga del rayo para conseguir un impacto controlado y sin daños.

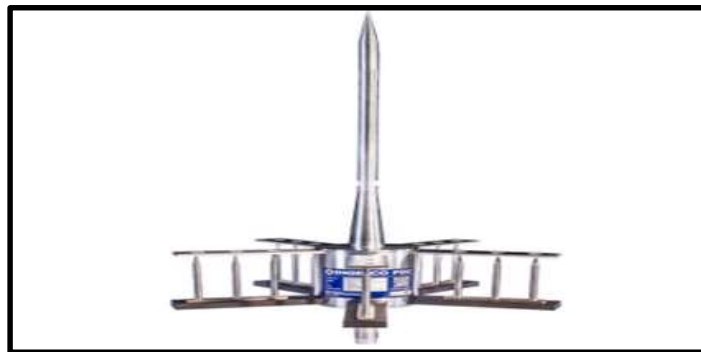


Figura 10. Pararrayos con dispositivo de cebado

2.2.3.5. Pararrayos CTS

Pararrayos CTS (*Charge Transfer System*) basan su principio en la desionización del aire. El objetivo es evitar la saturación de carga electrostática entre la instalación de tierra y la atmósfera que rodea, busca compensar pacíficamente la diferencia de potencial eléctrico de la zona durante el primer proceso de la formación del rayo.



Figura 11. Pararrayos CTS

2.2.3.6. Pararrayos con jaula de Faraday

Es una caja metálica cuya finalidad es proteger los campos eléctricos estáticos, ya que en su interior el campo es nulo y se utiliza para proteger de descargas eléctricas. Realiza su construcción en el año 1836.



Figura 12. Pararrayos con jaula de Faraday

El pararrayos con sistema de Faraday (jaula), está constituido por una red de conductores, dispuestos por todo el exterior del edificio a proteger. Una jaula conductora se realiza en el tejado y está provista de pequeñas puntas Franklin.

Se une al suelo a través de las bajantes que van a las tomas de tierra individuales y posteriormente unidas al anillo de tierras. El número de conductores de bajada y de puestas a tierra, confiere a este sistema una gran fiabilidad de protección contra campos electromagnéticos.

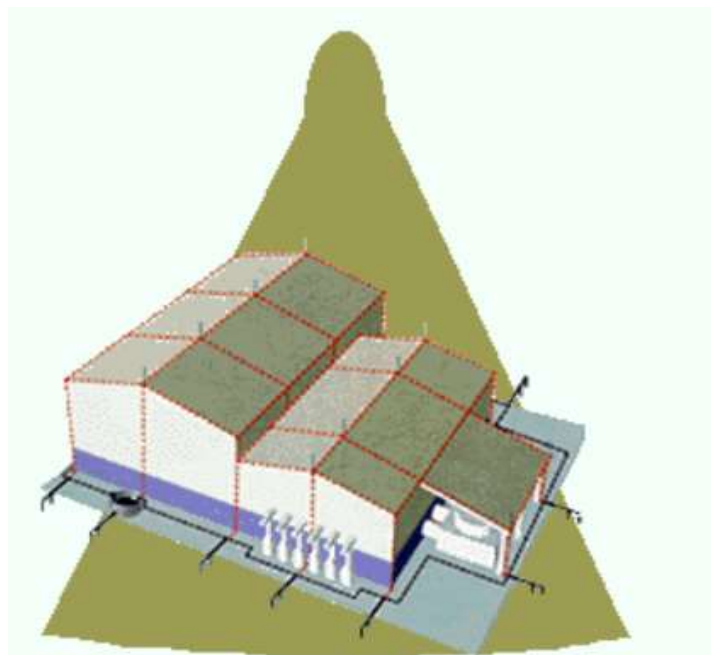


Figura 13. El pararrayos con sistema de Faraday (jaula)

2.2.3.7. Pararrayos de hilos armados

Se constituye de una malla de conductores, a modo de red a cierta distancia de la instalación a proteger. Tiene el objetivo de hacer a modo de escudo y evitar que la corriente del rayo consiga contactar con la instalación o estructura a la que protege.

El Sistema de Hilos Tendidos (HT) se utiliza ocasionalmente en edificios muy singulares, de extraña o irregular configuración, así como en zonas abiertas.

Calificado como "aislado" de la estructura a proteger, consiste en tender por encima de la zona a proteger una red de hilos conductores fijados sobre postes independientes.

La medida de las mallas está definida por la aplicación del modelo electrogeométrico (teoría de la esfera ficticia).

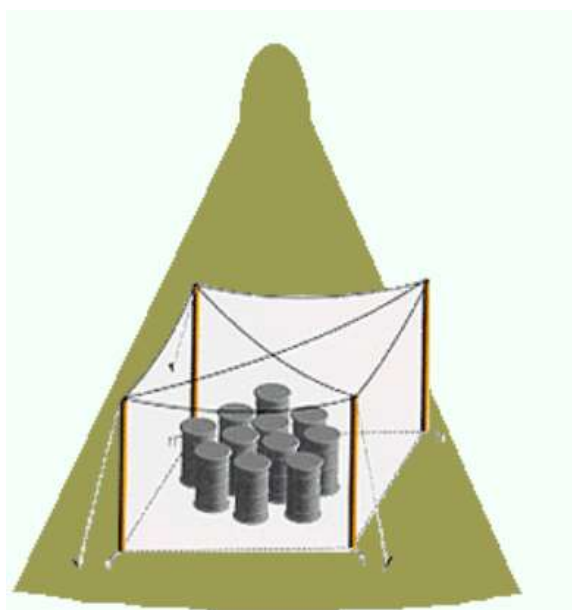


Figura 14. Pararrayos con Sistema de Hilos Tendidos (HT)

2.2.3.8. Pararrayo con dispositivo cebado tipo PDC

El PDC es un pararrayos con dispositivo de cebado y está compuesto por:

1. Una punta captadora
2. Un dispositivo de cebado
3. Un elemento de fijación
4. Una conexión al conductor de bajada

El PDC se instalará preferentemente en la parte más elevada de la estructura que lo soporta. Será en todo momento el punto más elevado de la zona que protege.

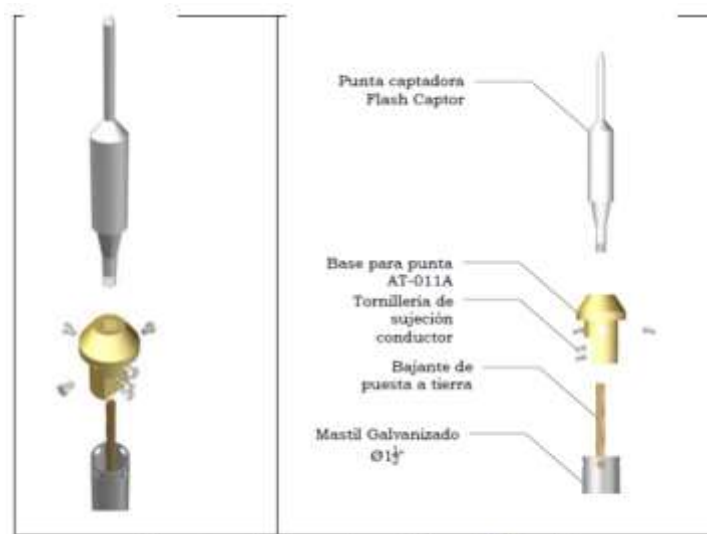


Figura 15. Pararrayos con dispositivo de cebado PDC

La punta del PDC debe estar situada al menos 2 m por encima de la zona que protege, incluyendo antenas, torres de enfriamiento, techos, depósitos, etc.

En el momento del diseño de un sistema de protección contra el rayo, se debe tener en cuenta aquellos puntos de la arquitectura, propicios para la ubicación del PDC. Estos lugares son los puntos altos de la estructura, como:

- ✓ Casetas situadas en terrazas
- ✓ Cumbres
- ✓ Chimeneas metálicas o de albañilería

Aquellos PDC que protejan zonas abiertas (campos de deporte, golf, piscinas, campings u otros similares) serán instalados sobre soportes específicos tales como postes de iluminación, pilares o cualquier otra estructura cercana que permita al PDC cubrir la zona a proteger.

Los PDC pueden estar ubicados ocasionalmente sobre mástiles autónomos. En caso de sujeción mediante vientos conductores, estos deben

estar unidos, en sus puntos de anclaje a nivel del suelo, a los conductores de bajada mediante conductores según la Norma UNE-EN 50164-2.

La zona protegida por un PDC se determina según su eficacia nominada como ΔT , en $[\mu s]$ y esta es obtenida con ensayos de evaluación, además su eficacia contempla que el valor máximo admisible de ΔT es 60 $[\mu s]$ que puede ser equivalente a 60 metros.

Un pararrayo con dispositivo de cebado, conocido también por la abreviatura PDC o por el nombre de pararrayo ionizante, es un sistema de protección externa contra el rayo de alta tecnología. Estos pararrayos tipo PDC se conocen también como pararrayos activos.

Al inicio, el rayo se desplaza mediante un trazador descendente que se propaga a saltos en cualquier dirección. Cuando el rayo se aproxima a tierra, puede impactar sobre cualquier objeto. El objetivo del pararrayo es convertirse en el punto de descarga del rayo, para conseguir un impacto controlado y sin daños. El pararrayo con dispositivo de cebado emite un trazador ascendente continuo con un tiempo de avance, para anticiparse al descenso del rayo y captarlo antes que cualquier otro objeto dentro de su radio de protección. El tiempo de avance en el cebado determina el radio de protección de PDC: cuanto más se adelante su trazador ascendente, a mayor altura, captura el trazador descendente del rayo y evita la caída del rayo en un área mayor.

Para el sistema de protección atmosférica más crítica se considera el nivel I, que cuenta con un radio de protección de 79 m y una eficacia de protección del 98%, según la normativa: NFC17 – 102:2011, UNE 21186:2011

El pararrayo PDC, Prectron 3, viene operando en distintas unidades mineras, protegiendo a las personas en campamentos mineros, personal operativo en campo, hospitales, grifos, tanques de combustibles o químicos, torres, antenas, infraestructura y equipos en talleres, entre otros.



Figura 16. Pararrayo con dispositivo de cebado

Los PDC de aplicaciones tecnológicas contienen en su interior un generador electro pulsante, esto es, que emite impulsos eléctricos. En condiciones normales, el generador se encuentra en modo de espera. Cuando se inician las condiciones de tormenta se activa y permanece en estado de precontrol. En el momento en el que el trazador descendente se encuentra dentro del alcance del dispositivo, se forma el trazador ascendente, formando el camino para la descarga. La corriente del rayo pasa por el exterior de la armadura y a través del gap para conducirse hacia tierra, sin dañar el circuito interno.

Los pararrayos con dispositivo de cebado, a diferencia de otros PDC, son dispositivos totalmente autónomos y libres de mantenimiento. Además, debido a su diseño se caracterizan por soportar condiciones ambientales extremas:

- ✓ Certificado de aislamiento en condiciones de lluvia superior al 95%
- ✓ Sometido con éxito a ensayos de niebla salina y atmósfera húmeda sulfurosa
- ✓ Funcionamiento en el rango de temperaturas comprendidas entre -25 °C y 88 °C



Figura 17. Pararrayos con dispositivo de cebado DAT Controller

Los tiempos de avance en el cebado (ΔT) de los PDC de aplicaciones tecnológicas varían en los diferentes modelos disponibles:

- ✓ AT-2515: DAT Controller® remote 15 con un avance de 15 μs
- ✓ AT-2530: DAT Controller® remote 30 con un avance de 30 μs
- ✓ AT-2545: DAT Controller® remote 45 con un avance de 45 μs
- ✓ AT-2560: DAT Controller® remote 60 con un avance de 60 μs

Con los tiempos de avance se calcula el radio de protección para cada altura y cada nivel de protección, siguiendo los cálculos gráficos o analíticos descritos en las normativas.

DAT Controller® remote, comprueba diariamente de manera autónoma el estado del cabezal o cabezales cuando se trata de un sistema de protección con varios dispositivos instalados. Los resultados obtenidos de esta comprobación se envían a una aplicación web donde se pueden monitorear los pararrayos instalados para su adecuado mantenimiento, así como gestionar alarmas, notificaciones e informes.

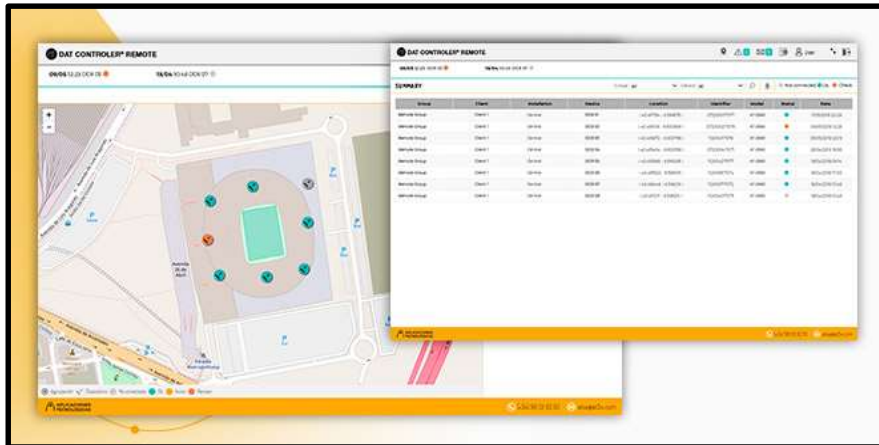


Figura 18. DAT Controller remote

Los pararrayos con dispositivo de cebado electrónico DAT Controller® y DAT Controller remote pueden instalarse en cualquier tipo de estructura, proporcionando un punto preferente y controlado de impacto del rayo.

Además, los pararrayos con dispositivo de cebado permiten proteger las zonas abiertas, así como los objetos sobre la cubierta del edificio y en los alrededores gracias a que el tiempo de avance proporciona un mayor volumen de protección.

Existen normativas específicas para la protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado. Muchos países tienen sus propias normativas sobre PDC que conviven a su vez con otras normativas de protección contra el rayo, nacionales e internacionales. A continuación, se enumeran algunas de las normas más completas de protección contra el rayo que se refieren a pararrayos con dispositivo de cebado:

- ✓ UNE 21186:2011: «Protección contra el rayo: pararrayos con dispositivo de cebado» (España).
- ✓ NF C 17-102:2011: «Protection contre la foudre – Systèmes de protection contre la foudre à dispositif d’amorçage» (Francia).
- ✓ NP 4426:2013: «Proteção contra descargas atmosféricas – Sistemas com dispositivo de ionização não radioativo» (Portugal).
- ✓ NA 33:2014: «Proteção contra descargas atmosféricas» (Angola).

- ✓ NC 1185:2017: «Protección contra rayos – Seguridad integral frente al rayo» (Cuba).
- ✓ IRAM 2426:2015: «Pararrayos con dispositivo de cebado para la protección de estructuras y de edificios» (Argentina).

2.2.4. Cálculo de pararrayos contra descargas atmosféricas

2.2.4.1. Protección externa contra los rayos

La protección externa contra los rayos protege personas y estructuras contra el impacto directo de un rayo. Los pararrayos son las responsables de atraer y derivar a tierra la corriente del rayo de una manera controlada, se debe aclarar que no protege equipos dentro del área protegida de los daños causados por sobrecorriente (10).

2.2.4.2. Sistema de protección integral contra rayos

Se debe recordar que la protección integral de rayos va mucho más allá que la protección externa, como se muestra en la imagen.

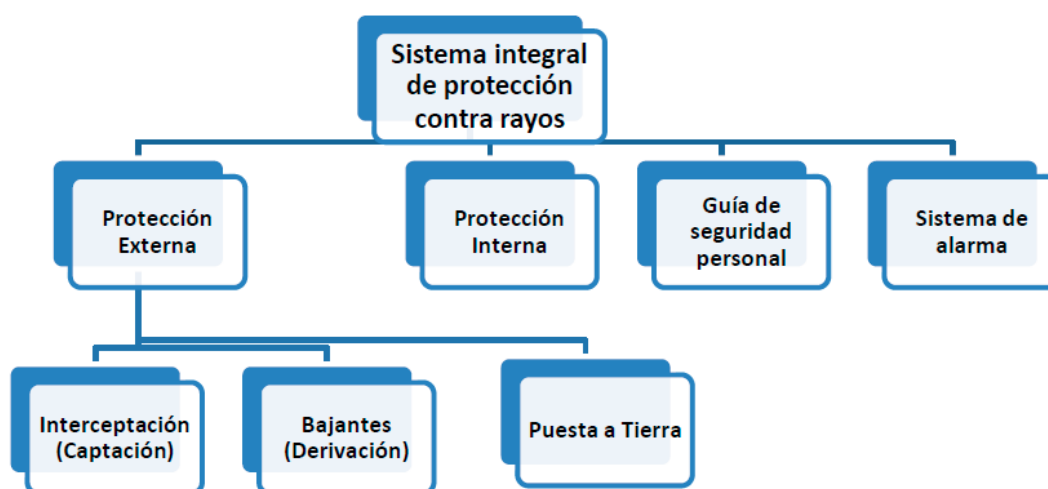


Figura 19. Elementos de protección contra rayos

Se debe aclarar que solo la protección externa es la desarrollada en la presente memoria, y no los demás puntos del sistema de protección.

a. Sistema de protección externa

Sus funciones son:

- Recibir el impacto del rayo.
- Conducir con seguridad la corriente del rayo a tierra (derivadora).

- Dispersar las corrientes del rayo en el terreno (puesta a tierra).

b. Instalación captadora

La misión es de impedir las descargas directas de rayos sobre el volumen a proteger.

- **Protección exterior mediante pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)**

Basado en la norma NFC 17102.

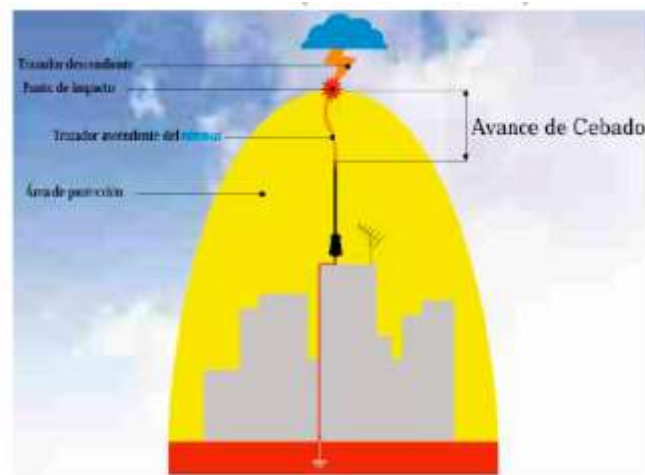


Figura 20. Protección externa PDC

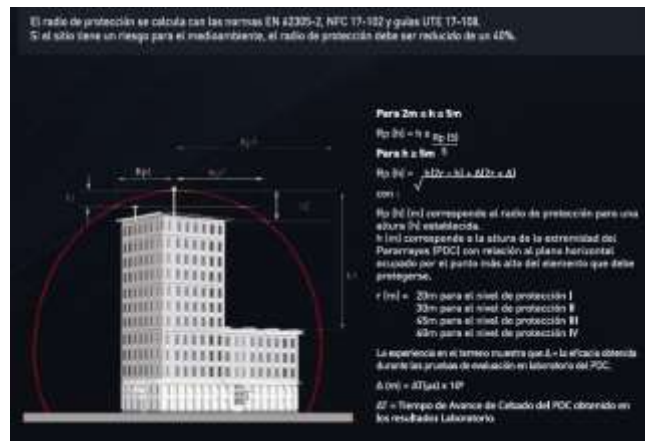


Figura 21. Cálculo de radio de protección según normas EN 62305-2, NFC 17-102

Utiliza un elemento básico como el pararrayo, en este sistema la puesta a tierra y el mantenimiento son elementos claves para el buen funcionamiento del sistema.

- **Instalación derivadora**

Es la unión eléctrica entre la instalación captadora y el sistema de pozo a tierra. Debe conducir la corriente del rayo a la poza a tierra sin que haya fenómenos que dañen la estructura, como por ejemplo el aumento de temperatura. Debe cumplir la siguiente indicación:

- Las bajantes deben ser rectas, verticales, no tener bucles (11).

- **Punto de medida**

Se instala un punto de medida que sirva para poder hacer la medida de los parámetros, requeridos en un sistema de protección atmosférica.

- Los puntos de medida deberán estar señalizados y deben abrirse solo con la ayuda de herramientas y queda terminantemente prohibido el acceso de personal no calificado.



Figura 22. Punto de medida

2.2.4.3. Consideración por tomar según el Código Nacional de Electricidad

- La puesta a tierra y el enlace equipotencial deben ser hechos de tal manera que sirvan con el propósito de limitar las sobretensiones, debido a descargas atmosféricas.
- Cada electrodo artificial de puesta a tierra debe ser separado por lo menos 2 m de cualquier otro electrodo, incluyendo a los que se utilizan para circuitos de señales de radio, pararrayos o cualquier otro propósito.
- Los conductores de la varilla o captador de rayos para descargas atmosféricas, varillas y elementos usados como puesta a tierra del captor de

rayos no debe ser usado como puestas a tierra del sistema de alambrado y otros equipos.

- Las interconexiones de todas las puestas a tierra tienen que incluir la tierra de todos los dispositivos de red primaria y secundaria. Contra descargas atmosféricas.
- La conexión entre el pararrayo y el conductor de línea debe ser con conductor de cobre no menor a 16 mm, tan recto como sea posible.
- Si lo que se va a proteger es una subestación los pararrayos deben conectarse a la maya de tierra de la subestación con cable de cobre no menor a 70 mm, tan recto como sea posible.

2.2.4.4. Diseño del sistema de protección atmosférica externo bajo normas NFPA780- UNE 21.186

a. Potencial de descargas en un año

El potencial de descargas se define bajo la siguiente ecuación:

$$N_d = (N_g) * (A_e) * (C_1) * (10^{-6}) = \text{eventos potenciales/año}$$

Donde:

N_d = promedio de descargas en el año, esto se hallará en la ecuación anterior.

N_g = descargas en zona geográfica por año, se obtiene del mapa isoceraúnico.

A_e = área colectiva equivalente de la estructura

C₁ = coeficiente del ambiente

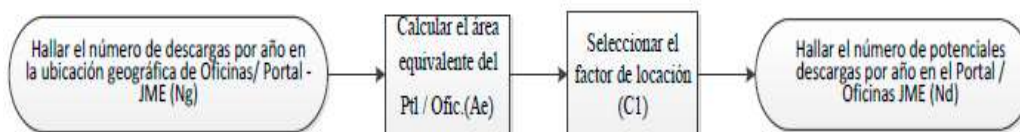


Figura 23. Diagrama de flujo del número de potenciales descargas por año

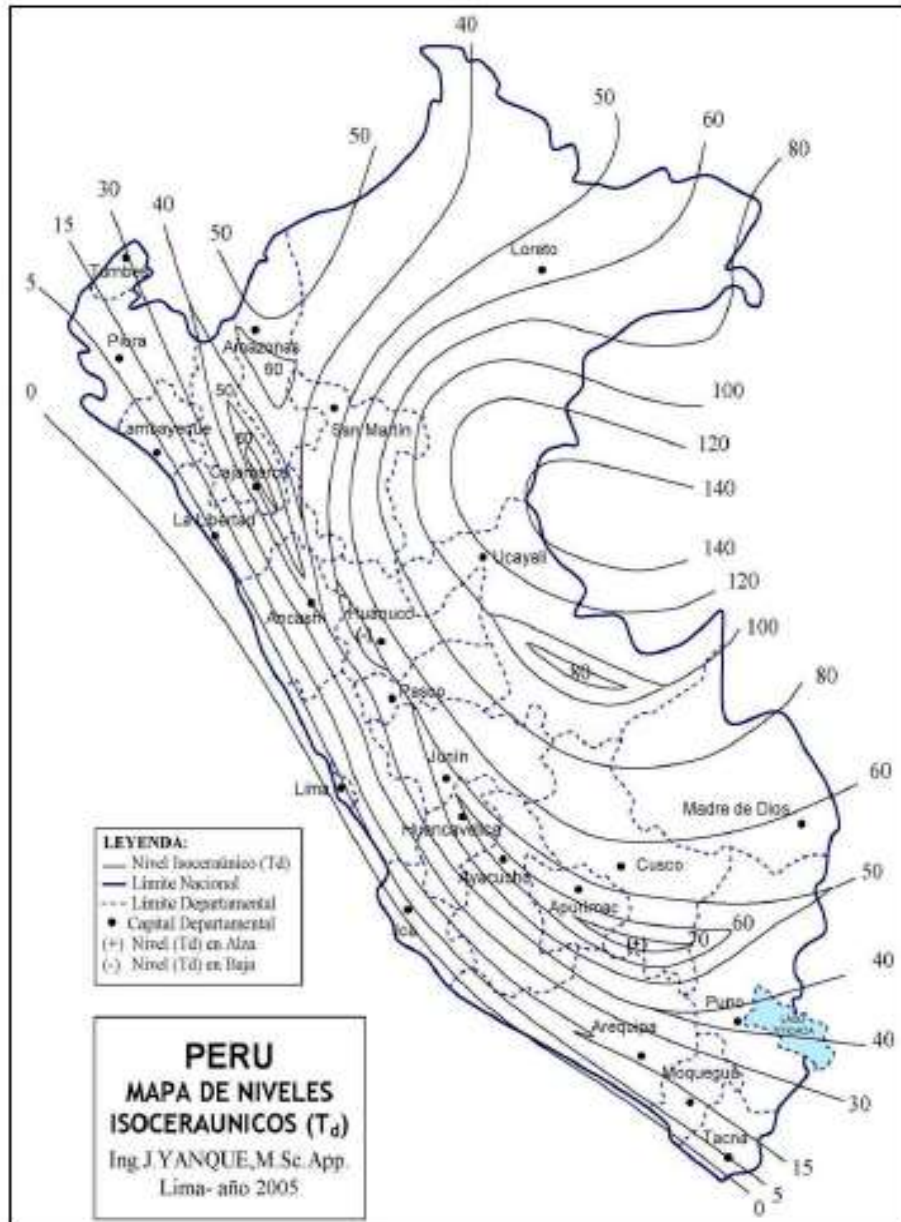


Figura 24. Mapa isoceraúnico del Perú

b. Área colectiva equivalente

Se refiere al área equivalente que haría vulnerable la instalación si cayera en esta, se obtiene de forma matemática o gráficamente. (NFPA 780,2014 anexo L.)

$$A_e = LW + 6H(L + W) + \pi 9H^2$$

Donde L y W, son los lados laterales de la edificación y H es la altura.

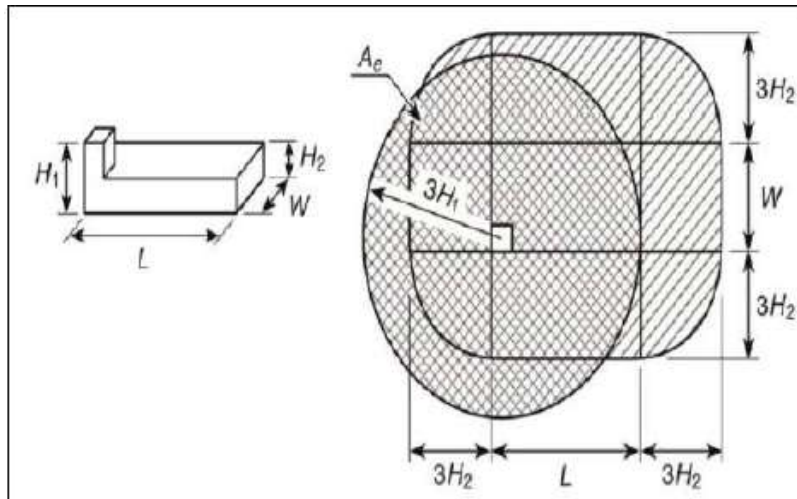


Figura 25. Cálculo del área equivalente

c. Factor de locación

Para elegir el factor de locación la NFPA 780 proporciona una tabla con posición relativa de la estructura, de acuerdo a esto se elige el coeficiente según la característica.

Tabla 2.
Locación relativa de la estructura

Locación relativa de la estructura	Coefficiente (C1)
Estructura rodeada por edificios o árboles más altos que ella, en un radio de 3 veces la altura de la estructura a proteger.	0.25
Estructura rodeada por edificios o árboles de igual o menor altura que ella, en un radio de 3 veces la altura de la estructura a proteger.	0.5
Estructura sola, con ninguna otra ubicada como mínimo en un radio de 3 veces la altura de ella.	1
Estructura sola en distancia y altura.	2

d. Densidad de cargas toleradas en un año

La medida de riesgo o daño a la estructura se calcula con la siguiente formula:

$$N_c = \frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{C} \text{ eventos/año}$$

Cuando

$$C = (C_2) \cdot (C_3) \cdot (C_4) \cdot (C_5)$$

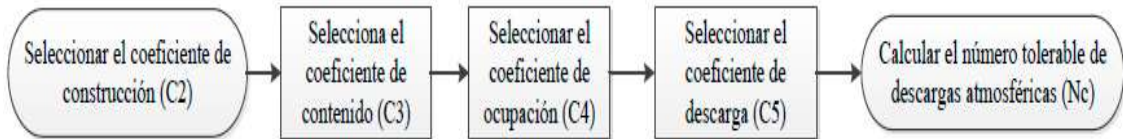


Figura 26. Diagrama de flujo para calcular el número tolerable de descargas

Como se puede apreciar, se deben seleccionar los coeficientes, los cuales se tratan a continuación, cada uno debe seleccionarse de las tablas que brinda la NFPA 780.

**Tabla 3.
Coeficiente de construcción C2**

Estructura	Coeficiente de construcción		
	Techo metálico	Techo no metálico	Techo combustible
Metálica	0.5	1	2
No metálica	1	1	2.5
Combustible	2	2.5	3

Tomada de NFPA 780, 2014, p. 68, anexo L

**Tabla 4.
Coeficiente de estructura C3**

Contenido de la estructura	C3
Bajo valor y no combustible	0.5
Valor estándar y no combustible	1
Alto valor y moderada combustión	2
Valor excepcional, líquidos inflamables, computadores o electrónicas.	3
Valor excepcional, íconos históricos y culturales irremplazables.	4

Tomada de NFPA 780, 2014, p. 68, anexo L

Tabla 5.
Coefficiente de ocupación de la estructura C4

Ocupación de la estructura	C4
Desocupado	0.5
Normalmente ocupado	1
Difícil de evacuar o riesgo de pánico	3

Tomada de NFPA 780, 2014, p. 68, anexo L

Tabla 6.
Coefficiente de consecuencia de descargas sobre la estructura C5

Consecuencia de una descarga	C5
No se requiere de la continuidad de su servicio, sin impacto ambiental.	1
Se requiere la continuidad de su servicio, sin impacto ambiental.	5
Consecuencias al ambiente.	10

Tomada de NFPA 780, 2014, p. 68, anexo L

2.2.5. Instalaciones por proteger



Figura 27. Ubicación de 18138. Estructura de decantación Sidehill. Etapa III

2.2.6. Propuestas del sistema de pararrayos

Según los cálculos realizados se determina el uso de pararrayos de nivel 1, Pararrayo PDC, por sus ventajas.

- Pararrayos marca **Uskuna modelo Flash-L**
- No ofrece resistencia al paso de la descarga.
- Mantiene sus características después de la descarga.
- Para alcanzar un radio de al menos 79 m en el nivel 1, se instala un mástil de 12 m en el punto indicado, la protección es para una corriente de 200 kA. Teniendo en cuenta los valores máximos de criticidad en los cálculos.

Tabla 7.
Valores máximos (criterios de dimensionado)

Nivel de Protección	Valores máximos (Criterios de dimensionado)	
	Valor cresta máximo de la corriente de rayo	Probabilidad de que la efectivamente ocasionada sea inferior al valor de cresta máximo de la misma
I	200 kA	99%
II	150 kA	98%
III	100 kA	97%
IV	100 kA	97%

2.3. Definición de términos básicos

- **Corriente de malla:** es una técnica de análisis de mallas que funciona asignando arbitrariamente la corriente de una malla en una malla esencial. Una malla esencial es un lazo que no contiene a otro lazo.
- **Área arenosa:** son terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, generalmente desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de matorral ralo y bajo.
- **Conducción eléctrica:** es el movimiento de partículas eléctricamente cargadas a través de un medio de transmisión (conductor eléctrico). El movimiento de las cargas constituye una corriente eléctrica.
- **Granulometría:** es el tamaño de un grano, clasto o partícula, no siempre fácil de determinar cuando son irregulares, se suele definir como el diámetro de una esfera de su mismo volumen, y se expresa en milímetros.
- **Electrodos:** es un electrodo, un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo un semiconductor, un electrolito, el vacío (en una válvula termoiónica), un gas (en una lámpara de neón), etc.
- **Electrodo de puesta a tierra:** conductor o grupo de ellos en íntimo contacto con el suelo, para proporcionar una conexión eléctrica con el terreno. Puede ser una varilla, tubo, placa, cinta, cable o malla de conductores.
- **Sistema de puesta a tierra (SPT):** conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que unen los equipos eléctricos con el suelo o terreno.
- **Suelo:** sistema natural, resultado de procesos físicos, químicos y biológicos, con componentes principalmente minerales y sólidos inertes que le dan

estabilidad, en conjunto con líquidos y gases, que definen su comportamiento eléctrico.

- **Tierra:** para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a sistemas de puesta a tierra.
- **Conductor del electrodo de puesta a tierra:** conductor que es intencionalmente conectado a una puesta a tierra, sólidamente para distribuir la tierra a diferentes sitios de una instalación.
- **La resistividad eléctrica (ρ):** es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo. Es la resistencia específica de una sustancia. Numéricamente es la resistencia ofrecida por un cubo de 1 m x 1 m x 1 m, medida entre dos caras opuestas.
- **Resistividad aparente:** es la resistividad obtenida con una medida directa en el suelo natural, bajo el esquema geométrico especificado por el método de cuatro electrodos, aplicado con circuitos independientes de corriente y potencial, solo es representativo para un punto de la característica del suelo estratificado.
- **Resistencia mutua de electrodos:** fenómeno resistivo que aparece entre electrodos de puesta a tierra o puntos próximos en el suelo, mediante el cual, la corriente que se dispersa a través de uno de ellos modifica el potencial del otro. Su unidad es el Ohm.
- **Potencial eléctrico:** diferencia de potencial entre el punto y alguna superficie equipotencial, usualmente la superficie del suelo, a quien, arbitrariamente, se le asigna potencial cero (tierra remota).
- **Tierra remota:** es una zona lo suficientemente alejada con respecto a la puesta de tierra considerada, donde se puede asumir que su potencial es cero y que no cambia, incluso habiendo inyección de corriente en la puesta a tierra bajo estudio.
- **Acero inoxidable martensítico:** aceros al cromo (11.5% a 18%) con alto contenido de carbón (0.15% a 1.2%). Presentan elevada dureza y resistencia mecánica, se endurecen por tratamiento térmico y son magnéticos.
- **Malla a tierra:** la malla de tierra es un conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra.

- **Conductores de protección:** los conductores de protección unen las masas de una instalación y los elementos metálicos que puedan existir, como cañerías, calderas, etc. y cualquier otra masa importante del edificio, con las líneas de tierra.
- **Subestación eléctrica:** una subestación eléctrica es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador. Normalmente está dividida en secciones, por lo general tres principales (medición, cuchillas de paso e interruptor), y las demás son derivadas. Las secciones derivadas normalmente llevan interruptores de varios tipos hacia los transformadores.
- **Instalación de puesta a tierra:** es la unión eléctrica con la tierra de una parte de un circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo, definida también como el conjunto formado por electrodos y malla de tierra que conecta a los elementos que deban estar puestos a tierra en una instalación eléctrica, que para este caso será el de una subestación eléctrica de distribución tipo exterior.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

- **Método universal**

El método universal utilizado en la investigación es el método dialéctico. El método dialéctico constituye el método científico de conocimiento del mundo. Proporciona al hombre la posibilidad de comprender los más diversos fenómenos de la realidad. El método dialéctico al analizar los fenómenos de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento permite descubrir sus verdaderas leyes y las fuerzas motrices del desarrollo de la realidad.

- **Método general**

En la investigación se utilizó el método científico de la prospectiva, esta metodología se caracteriza por ser un proceso holístico que permite la participación en la planeación de futuros aplicables a una sociedad, una institución o una organización, compuesto por la vinculación y la significación constante de los componentes políticos, sociales y económicos frente a una relación de variables tanto del presente como del futuro. El intercambio de ideas entre un grupo experto permite establecer estrategias acciones y recursos para la toma de decisiones.

3.1.2. Alcance de la investigación

Debido a que la investigación descriptiva tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad (12). Aquí se plantea el estudio del fenómeno o hecho ya sea en su forma natural o en forma artificial a través de la preparación deliberada de las condiciones que actúan sobre el hecho o fenómeno y las posibilidades de tener un menor o mayor control y manipulación sobre las variables de estudio.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño metodológico es el cuasiexperimental.

Esquema:

GE: A X O₁

GC: A X O₂

Donde:

GE = es el grupo experimental

A = señala que las muestras han sido tomadas en forma aleatoria.

X = es el tratamiento aplicado al grupo experimental (variable independiente)

O₁ = es la observación o medición de los sujetos después del experimento o tratamiento (postest)

GC = es el grupo control.

O₂ = es la observación al grupo control.

Los diseños preexperimentales ilustran la forma en que las variables extrañas pueden influir en la validez interna (principalmente) de un diseño, es decir, informan lo que no se debe hacer y lo que se deberá hacer. Pueden ser: diseño de un grupo solo después. Diseño pretest y postest con un solo grupo. Diseños de comparación estática o comparación de grupos solo después (12).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población es el conjunto de todos los individuos (objetos, personas, eventos, situaciones, etc.) en los que se desea investigar algunas propiedades. La población es el conjunto de individuos que tienen una o más propiedades en común, se encuentran en un espacio o territorio y varían en el transcurso del tiempo (13).

Entonces, la población, es el total de elementos sobre el cual se quiere hacer una inferencia basada en la información relativa de la muestra (14).

En esta investigación, la población está definida por el alcance y cobertura correspondiente en la minera Antamina – Ancash.

3.3.2. Muestra

La muestra es el conjunto de casos extraídos de una población, seleccionados por algún método de muestreo, la muestra es una parte de la población (13).

Por lo que, la muestra es un subgrupo de la población del cual se colectan los datos y debe ser representativa de dicha población (15).

La investigación se realizará a un caso específico en la minera Antamina - Ancash.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

- Observación: porque permitirá obtener datos próximos a como está funcionando el objeto de investigación en el presente.
- Encuestas: es una técnica que permitirá obtener información de primera mano para describir o explicar un problema

3.4.2. Instrumentos

Para la variable independiente y dependiente se utilizará como instrumentos.

- Fichas de observación
- Hojas de registro
- Registro anecdótico
- Recibo de energía

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

En el presente capítulo se describe la funcionabilidad de la propuesta de sistema de pararrayos tipo PDC, en la protección de Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina para lo cual se estudió el sistema propuesto por dicha minera, quien presenta un presupuesto elevado, del mismo modo requiere mayor tiempo en su instalación.

4.2. Comparativo de costos de tipos de pararrayos

Considerando que en la minera de Antamina se realizaba la extracción y cargado de mineral, es necesario garantizar el trabajo continuo de la Casa de Fuerza, para ello, es condición que los sistemas eléctricos no sean interrumpidos, por lo que se realizaron los comparativos de los diferentes sistemas de protección como: pararrayos PDC Ioniflash NG 60, Pararrayos PDC marca Uskuna modelo flash-L, propuesta de protección de Antamina y la propuesta de cálculo del investigador.

4.3. Pararrayos PDC Ioniflash NG 60

Precio unitario S/ 1037.70 soles, para su instalación se requiere de un poste con un costo de S/ 106.50 soles, incluye ferretería; se adhiere la base del poste con un costo de S/ 383.40 soles, el pararrayo requiere del cable desnudo

con un costo total de S/ 903.60; para la atenuación de las descargas en necesaria la barra de cobre de un costo de \$ 57.23 dólares; los otros insumos se componen de gel conductor, cemento conductor, caja de registro, finalmente se requiere contador de rayos electromecánicos y el vía chispas para equipotenciales que hacen un total de S/ 13, 510. 44 soles.

Tabla 8.

Pararrayos PDC Ioniflash NG 60

Pararrayos PDC Ioniflash NG 60					Pararrayos SAC	
					RUC	20201744737
					Cotización	17242
					Contacto	Wilber Cárdenas
					Email	wcardenas@para-rayos.com
					Teléfono	960250678
					Moneda	dólares
					Forma de pago	contado
Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Entrega	Precio unitario	Total
1	Pararrayos PDC Ioniflash mach NG 60	Und.	4	Inmediato	1,037.70	4,150.80
2	Poste de Fe GLV. DE 12 m de 2 x 3 m, 21/2 x 3 m, 3 x 6 m poste de Fe. GLV. de 12 m de 2 x 3 m, 21/2 x 3 m, 3 x 6 m + Acople 2A 3/4 en Fe GLV. (Incluye pernería)	Jgo.	4	2 semanas	706.50	2,826.00
3	Base poste de 12 m, de 3/8 x 0.40 x 0.40 m + dado de 1/2" base poste de 12 m, de 3/8x0.40 x 0.40m+ dado de 1/2"	Jgo.	4	Inmediato	383.40	1,533.60
4	Cable CU 50mm, desnudo/blando	Mlt.	180	Inmediato	5.02	903.60
5	Barra de Cu. 3/4 X 2.40 c/punta barra de Cu. 3/4 X2.40 c/punta	Und.	12	Inmediato	57.23	686.76
6	Conector de barra Br de 5/8-3/4 Conector de barra Br de 5/8-3/4	Und.	12	Inmediato	4.59	55.08
7	Gel conductivo Thor gel 5 kg gel conductivo Thor gel 5 kg	Und.	36	Inmediato	22.33	803.88
8	Cemento conductivo Thorcem premium X 11.5 cemento conductivo Thorcem premium X 11	Sci.	64	Inmediato	14.85	950.40
9	Caja de registro de polipropileno con tapa amarilla	Und.	12	Inmediato	8.01	96.12
10	30002 Contador de rayos electromecánico (<i>france paratonnerres</i>)	Und.	4	Inmediato	270.75	1,083.00
11	BF PC 250/20 (vía chispas) para equipotencializar SPAT	Und.	4	Inmediato	105.30	421.20
Total sin IGV						13,510.44

4.4. Pararrayos PDC marca Uskuna modelo flash-L

Precio unitario S/ 513.46 soles, para su instalación se requiere de un poste con un costo de S/ 532.89 soles, incluye ferretería, se adhiere la base del poste con un costo de S/ 88.81 soles, el pararrayo requiere del cable desnudo con un costo total de S/ 716.07, para la atenuación de las descargas es necesaria la barra de cobre de un costo de \$ 57.23 dólares, los otros insumos se componen de gel conductor, cemento conductor, caja de registro, finalmente se requiere contador de rayos electromecánicos y el vía chispas para equipotenciales que hacen un total de S/ 8170.97 soles.

Tabla 9.

Pararrayos PDC marca Uskuna modelo flash-L

Pararrayos PDC marca Uskuna modelo flash-L				Grupo Soles SAC	
				RUC	20555512865
				Cotización	111220646
				Contacto	José Martínez
				Email	ventas6@eruposole.com
				Teléfono	983404946
				Moneda	dólares
				Forma de pago	contado
	Cant.	Soles	Entrega	Precio unitario	Total
Pararrayos PDC marca Uskuna modelo flash- L	4.00	1,850.00	Inmediato	513.46	2,053.84
Poste metálico de 12 m construido en fierro ASTM en 3 secciones + mástil <ul style="list-style-type: none"> • 1 tramo de 4" x 3 mm x 6 m • 1 tramo de 3" x 3 mm x 4 m • 1 tramo de 2" x 2 mm x 2 m • 1 mástil de 1 4/2" x 2 mm x 1.5 m 	4.00	1,920.00	6 días	532.89	2,131.56
Estructura de fierro para base de poste	4.00	320.00	Inmediato	88.81	355.26
Cable de cobre desnudo de 70 mm ²	120.00	21.50		5.97	716.07
Pozo a tierra libre de mantenimiento <ul style="list-style-type: none"> • 1 electrodo de 3/4" x 2.40 m de cobre • 1 conector tipo AB • 2 bolsas de cemento conductor marca Thorgem x 25 kg • 2 sacos de sal industrial x 50 kg • 2 bolsas de bentonita sódica x 30 kg • 1 caja de registro de concreto de 0.40 x 0.40 	12.00	420.00	Inmediato	116.57	1,398.83
	4.00	680.00	Inmediato	188.73	754.93
	4.00	685.00	Inmediato	190.12	760.48
				Total	8,170.97

En las tablas 8 y 9 se puede apreciar la variación en los costos de los pararrayos de un mismo modelo, esto para poder definir el modelo y la marca del pararrayo que se usa, para después poder hacer el comparativo con el modelo de sistema contra descargas atmosféricas que se propone a la minera Antamina.

4.5. Propuesta del sistema de protección de Antamina

La propuesta de la minera es el sistema de protección contra descargas atmosféricas de hilos tendidos, que consiste en cerrar toda el área a proteger con un tejido de hilos de cobre, asemejando una jaula de Faraday, que se compone de un precio unitario de S/ 1037.70 soles, para su instalación se requiere de un poste con un costo de S/ 706 .50 soles, incluye ferretería; se adhiere la base del poste con un costo de S/ 383.40 soles, el pararrayo requiere del cable desnudo con un costo total de S/ 4518, para la atenuación de las descargas es necesaria la barra de cobre de un costo de \$ 57.23 dólares, los otros insumos se componen de gel conductor, cemento conductor, caja de registro, finalmente se requiere contador de rayos electromecánicos y el vía chispas para equipotenciales que hacen un total de S/ 17124.84 soles.

Tabla 10.

Propuesta del sistema de protección de Antamina

Propuesta del sistema de protección de Antamina					Antamina	
					RUC	20101744737
					Cotización	17242
					Contacto	Wilber Cárdenas
					Email	wcardenas@antamina.pe
					Teléfono	960250678
					Moneda	dólares
					Forma de pago	contado
Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Entrega	Precio unitario	Total
1	Pararrayos PDC Ioniflash Mach NG 60	Und.	4	Inmediato	1,037.70	4,150.80
2	Poste de Fe glv. de 12 m de 2 x 3 m, 2 ½ x 3 m, 3 x 6 m poste de Fe glv. de 12 m. de 2 x 3 m, 2 ½ x 3m, 3 x 6 m + acople 2a ¾ en Fe glv. (incluye pernería)	Jgo.	4	2 semanas	706.50	2,826.00
3	Base poste de 12 m, de 3/8 x 0.40 x 0.40 m + dado de ½" base poste de 12 m, de 3/8 x 0.40 x 0.40 m + dado de 1/	Jgo.	4	Inmediato	383.40	1,533.60
4	Cable Cu 50 mm, desnudo/blando	Mlt.	900	Inmediato	5.02	4,518.00
5	Barra de Cu. 3/4 x 2.40 c/punta barra de Cu 3/4 x 2.40 c/punta	Und.	12	Inmediato	57.23	686.76
6	Conector de barra Br. de 5/8-3/4 conector de barra Br. de 5/8-3	Und	12	Inmediato	4.59	55.08
7	Gel conductivo Thor gel 5 kg gel conductivo Thor gel 5 kg	Und.	36	Inmediato	22.33	803.88
8	Cemento conductivo Thorcem premium x 11.5 Cemento conductivo Thorcem premium x 11	Sco.	64	Inmediato	14.85	950.40
9	Caja de registro de polipropileno con tapa amarilla	Und.	12	Inmediato	8.01	96.12
10	30002 contador de rayos electromecánico (<i>france paratonnerres</i>)	Und.	4	Inmediato	270.75	1,083.00
11	BF PC 250/20 (vía chispas) para equipotencializar spat	Und.	4	Inmediato	105.30	421.20
Total sin IGV						17,124.84

4.6. Propuesta de pararrayo del investigador

De acuerdo al análisis, se consideró, para la investigación del pararrayo PDC con un costo unitario de S/ 515.46 soles, también se consideró el poste de soporte con el costo unitario de S/ 532.89, del mismo modo se adhiere la base del poste con el costo de S/ 88.81, cable de cobre desnudo de 70 mm² que hace un total de S/ 417.71 soles, se considera un conjunto de elementos seleccionados que involucra a la barra de Cu, conector de barra, gel conductivo, cemento conductivo y la caja de registro que asciende a un costo de S/ 1398.83 soles, adicionalmente se toma en cuenta el contador de rayos a un precio de S/ 188.73 soles, y para el sistema equipotencial con un costo de S/ 190.12, este sistema planteado y analizado en la investigación hace un total de S/ 3350.56 soles.

Tabla 11.

Propuesta de pararrayo del Investigador

Propuesta de pararrayo del Investigador							Propuesta Pierre Tello	
							DNI	41746050
							Cotización	111220646
							Contacto	JME
							Email	pierre.tello@consorciojme.pe
							Teléfono	964081555
							Moneda	dólares
							Forma de pago	contado
Ítem	Descripción	Und.		Cant	Soles	Entrega	Precio unitario	Total
1	Pararrayos PDC Ioniflash Mach NG 60	Und.	Para rayos PDC marca Uskuna modelo flash-I	1	1,850.00	Inmediato	513.46	513.46
2	Poste de Fe glv. de 12mt de 2x3m, 2 1/2x3m, 3x6m poste de fe. glv. de 12mt. de 2x3m, 2 1/2x3m, 3x6m + acople 2a 3/4 en Fe glv. (incluye pernería)	Jgo.	Poste metálico de 12m construido en fierro ASTM en 3 secciones + mástil *1 tramo de 4" x 3mm x 6m * 1 tramo de 3" x 3mm x 4m *1 tramo de 2" x 2mm x 2m *1 mástil de 1 1/2" x 2mm x 1.5m	1	1,920.00	6 días	532.89	532.89
3	Base poste de 12m, de 3/8x0.40x0.40m.+ dado de 1/2" base poste de 12m, de 3/8x0.40x0.40m+ dado de 1/2"	Jgo.	Estructura de fierro para base de poste	1	320.00	Inmediato	88.81	88.81
4	Cable Cu 50mm, desnudo/blando	Mlt.	Cable de cobre desnudo de 70mm2	70	21.50		5.97	417.71
5	Barra de Cu 3/4 x 2.40 c/punta	Und.	Pozo a tierra libre de mantenimiento *1electrodo de 3/4" x 2.40m de cobre *1 conector tipo ab *2 bolsas de cemento conductivo marca Thorgem x 25 kg *2 sacos de sal industrial x 50kg	12	420.00	Inmediato	116.57	1,398.83
6	Barra de Cu 3/4 x2.40 c/punta	UND						
7	Conector de barra Br. de 5/8-3/4	Und.						
8	Conector de barra Br. de 5/8-3	Sco.						
	Gel conductivo Thor gel 5kg gel conductivo Thor gel 5k							
	Cemento conductivo Thorcem premium x 11.5 Cemento							

	conductor Thorcem premium x 11		*1 caja de registro de concreto de 0.40 x 0.40					
9	Caja de registro de polipropileno con tapa amarilla	Und.						
10	30002 contador de rayos electromecánico (<i>france paratonnerres</i>)	Und.		1	680.00	Inmediato	188.73	188.73
11	BF PC 250/20 (vía chispas) para equipotencializar spat	Und.		1	685.00	Inmediato	190.12	190.12
Total sin IGV								3,330.55

4.7. Prueba de hipótesis

4.7.1 Hipótesis general

Para la prueba de hipótesis general se sometió a una prueba estadística denominada Coeficiente de correlación (“ r_s ” de Spearman), con la finalidad de determinar la influencia de la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la protección de la Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina – Ancash, a través de los datos generales.

Tabla 12.
Minera Antamina – costo del pararrayo

	Valor unitario	Cantidad de material	Costo total
Pararrayos PDC Ioniflash NG 60	4,637	92.72%	13,510.44
Propuesta de pararrayo del investigador	3.272	87.11%	3,330.55

Estadístico de la rho Spearman

Para obtener este estadístico se eligió el programa SPSS con el enlace de Estadísticas > Tablas > Tabulación cruzada y Rho Spearman.

Se utilizó la rho de Spearman para evaluar la asociación entre dos variables que tienen categorías ordinales, estas categorías ordinales tienen un orden natural, el coeficiente puede variar de -1 a +1. Mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación entre las variables y, por lo tanto, una influirá en la otra. Un valor absoluto de 1 indica una relación perfecta y un valor de cero indica ausencia de una relación ordinal. El hecho de que un valor intermedio se interprete como débil, moderado o fuerte depende de sus metas y requisitos.

Consideraciones importantes sobre la rho de Spearman

La correlación implica causalidad, por lo tanto, influencia, por ello se utilizó el Coeficiente de correlación de Spearman, este estadístico ρ (rho) es una medida de la correlación (la asociación o dependencia) entre dos variables aleatorias continuas. Para calcular ρ , los datos son ordenados y reemplazados por su respectivo orden.

El estadístico ρ viene dado por la expresión:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

r_s = coeficiente de correlación de Spearman

d = diferencia entre los rangos

n = número de datos

La interpretación de coeficiente de Spearman depende del resultado que estará en la oscilación entre -1 y +1, indicando asociaciones negativas o positivas respectivamente, 0 cero, significa no correlación con independencia.

Usos del coeficiente de correlación de Spearman

A partir de un conjunto de n puntuaciones, la fórmula que permite el cálculo de la correlación entre dos variables X e Y, medidas al menos en escala ordinal, es la siguiente:

$P \neq 0$ no hay correlación con dependencia

$P = 0$ hay correlación con dependencia

Ventajas de Spearman

Al ser una técnica no paramétrica, es libre de distribución probabilística. Para aplicar el coeficiente de correlación de Spearman se requirió que las variables estén medidas al menos en escala ordinal; es decir, de forma que las puntuaciones que la representan puedan ser colocadas en dos series ordenadas.

Propiedades del coeficiente de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman se encuentra siempre comprendido entre los valores -1 y 1. Es decir, $-1 < r_s < 1$. Cuando todos los sujetos se sitúan en el mismo puesto para la variable X y para la variable Y, el valor de r_s es 1. Si ocupan valores opuestos; es decir, al primer sujeto en X le

corresponde el último lugar en Y, al segundo en X le corresponde el penúltimo en Y, etc. Entonces el valor de rs es -1.

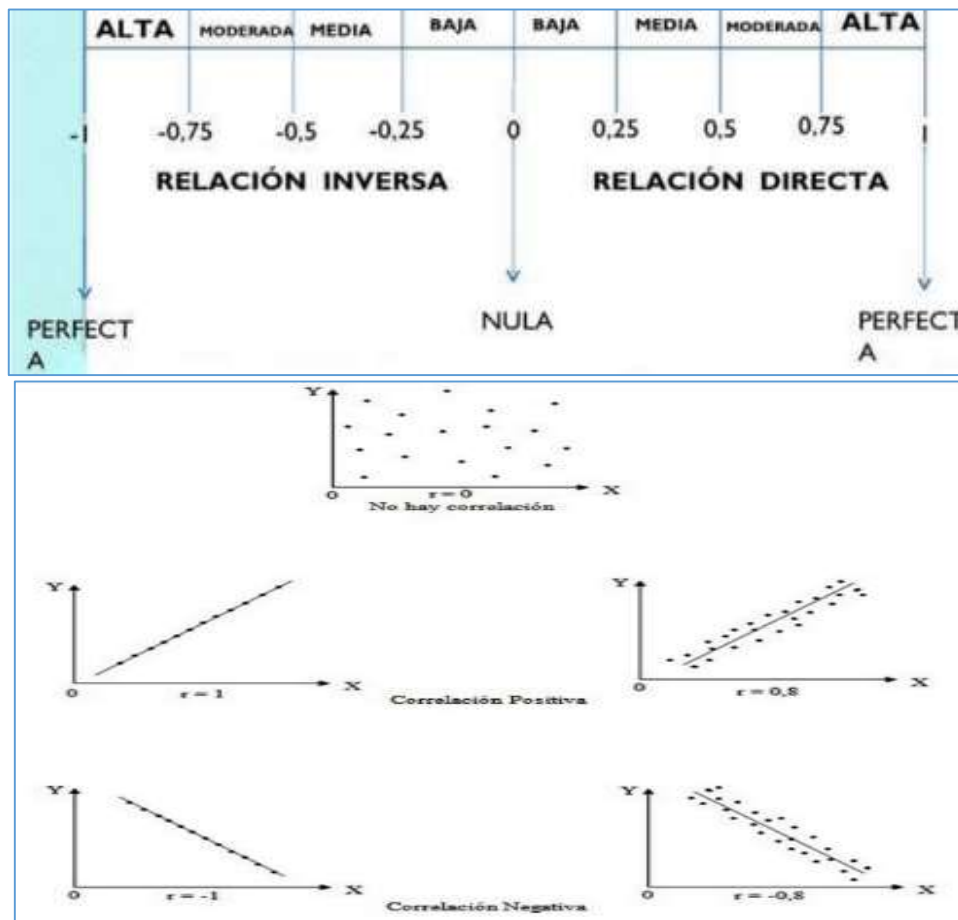


Figura 28. Graficas de correlación

Coefficiente de Spearman

La función de la correlación de Spearman es determinar si existe una relación lineal entre dos variables a nivel ordinal y que esta relación no sea debida al azar; es decir, que la relación sea estadísticamente significativa. Si una de las variables es intervalar y la otra ordinal también se utiliza Spearman.

Spearman en SPSS

El coeficiente de asociación Spearman se realizó en el paquete estadístico SPSS, el cual se encuentra en el menú Analizar / Correlaciones / Bivariadas.

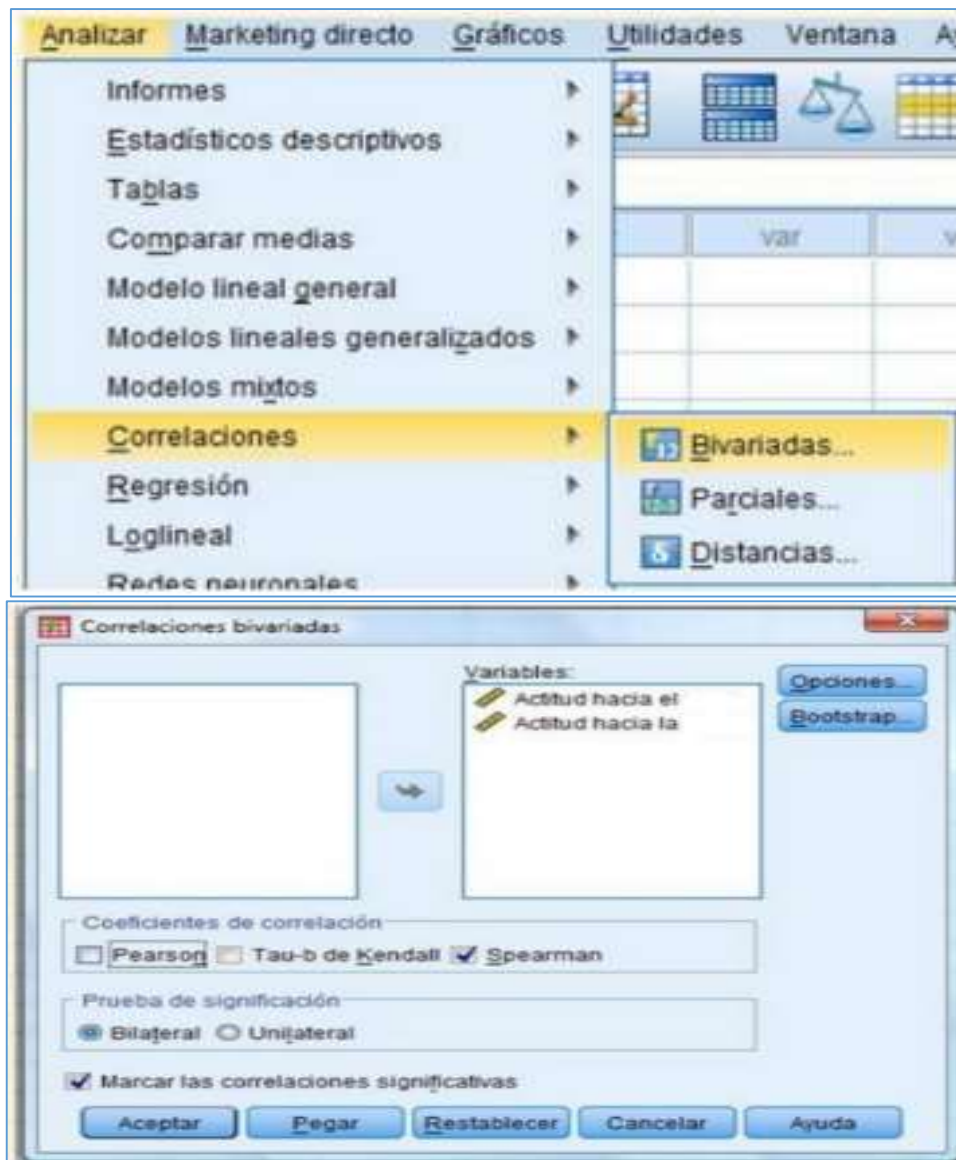


Figura 29. Uso de SPSS

Tabla 13.
Correlaciones

Correlaciones			Automatización	Optimización
Rho de Spearman	Memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC	Coefficiente de correlación	1.000	.248**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Disponibilidad (optimización)	Coefficiente de correlación	.248**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones

		Automatización	Confiabilidad
Rho de Spearman	Protección de la casa de fuerza taller	1.000	.871**
	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)	.	.000
	N	371	371
	Utilización (confiabilidad)	.871**	1.000
	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)	.000	.
	N	371	371

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

La matriz de correlación presenta por pares de variables el coeficiente de Spearman y el nivel de significancia obtenido, además del número de casos, la correlación entre cada pareja de variables se repite dos veces, se pueden tomar los resultados de cualquiera de las dos. En el presente ejemplo, el nivel de significancia (0.000) es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, entonces: existe relación lineal y, por lo tanto, dependencia entre la optimización y la confiabilidad hacia la propuesta del sistema de protección de Antamina. Además, la **correlación** es moderada (está en el rango entre 0.2 y 0.8) y directamente proporcional (tiene signo positivo).

Planteamiento de hipótesis general

Hipótesis nula:

H₀: la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto no influye positivamente en la protección de la Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina – Ancash.

Hipótesis alterna:

H₁: la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye positivamente en la protección de la Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina – Ancash.

a. Análisis estadístico: al tratar de correlacionar los valores del cambio hacia el funcionamiento de los sistemas de protección tipo PDC, se decide hacer uso del estadístico Rho-Spearman, calculando que tan correlacionados están estos dos tipos de variables, que genera dependencia. Así se puede apreciar en el cuadro de correlaciones que el coeficiente de correlación Rho

de Spearman tiene un valor de 0.871 para el caso de la confiabilidad y para el caso de la optimización es de 0.248, donde ambos tienen una significancia al 5% y un p–valor de esta prueba igual a 0.

Tabla 14.
Correlaciones

Correlaciones			Automatización	Optimización
Rho de Spearman	Memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC	Coefficiente de correlación	1.000	.248**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Disponibilidad (Optimización)	Coefficiente de correlación	.248**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones			Automatización	Confiabilidad
Rho de Spearman	Protección de la casa de fuerza taller	Coefficiente de correlación	1.000	.871**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Utilización (Confiabilidad)	Coefficiente de correlación	.871**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Para la validación de la hipótesis general se consideró un nivel de confiabilidad 95%, siendo la significancia 5% (0.05), entonces para aceptar la hipótesis alterna el valor de p (sigma) debe ser menor de 0.05 ($p < 0.05$). Teniendo de esta manera que el valor de $p = 0.000 < 0.05$, aceptando la hipótesis alterna. Del mismo modo, se determinó el nivel de relación entre las variables teniendo un valor de Rho de Spearman de 0.871; es decir sí existe una relación alta y directa entre las variables optimización y confiabilidad con un nivel de relación de 88% y 25.5% respectivamente, es decir, se da la protección de la Casa de Fuerza - Taller a través de la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC.

b. Conclusión estadística: la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye positivamente en la protección de la Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina - Ancash.

4.7.2. Hipótesis específica

a. Hipótesis específica 1:

Ho: los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash, no es deficiente.

Hi: los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash es deficiente.

Tabla 15.
Eficiencia de respuesta de los sistemas de protección

	Costo en S/	% de eficiencia
Propuesta del sistema de protección de Antamina	17,124.84	49.8
Propuesta de pararrayo del investigador	3,330.55	50.2
Total	20, 455.39	100

En la tabla 15 se observa que, en la minera de Antamina en Ancash, respecto a los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC se encuentra que, un 50.2% de eficiencia, en el aspecto técnico, representa la propuesta de pararrayo del investigador, mientras que 49.8% de eficiencia, en el aspecto técnico, representa la propuesta del sistema de protección de Antamina. De acuerdo a los datos encontrados, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Hi); la cual menciona que los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash es deficiente.

b. Hipótesis específica 2

Ho: los elementos de protección en la minera Antamina - Ancash no es regular.

Hi: los elementos de protección en la minera Antamina - Ancash es regular.

Tabla 16.
Requerimientos técnicos

	Costo S/	% de rendimiento
Protección de la casa de fuerza con el pararrayo de Antamina	13,510.44	49.8
Protección de la casa de fuerza con la propuesta del investigador	3,330.55	50.2
Total	20,455,39	100

En la tabla 16 se observa observar que, en la minera de Antamina de Ancash, respecto a los requerimientos técnicos del pararrayo, un 49,8% representa el rendimiento de los requerimientos técnicos a un costo de S/ 13, 510.44 soles con un funcionamiento regular, mientras que un 50.2% representa el rendimiento de los requerimientos técnicos a un costo de S/ 3,330.55 soles con un funcionamiento aceptable.

De acuerdo a los datos encontrados, se rechaza la hipótesis nula H_0 , y se acepta la hipótesis alterna H_i ; indicando que los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash es deficiente.

c. Hipótesis específica 3

H₀: la propuesta de memoria de cálculo no amerita la instalación del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash.

H_i: la propuesta de memoria de cálculo amerita la instalación del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash.

Tabla 17.
Funcionamiento del pararrayo tipo PDC

	Efectividad de respuesta	% eficiencia
PDC del investigador	3.272	89
PDC de la minera	4.637	95
Promedio total	3,834	100

En la tabla 17, de acuerdo a los datos encontrados, se observa que el promedio efectivo del tiempo de respuesta de protección de la Casa Taller es de 3.834 microsegundos, que representa un 100%, como se observa en la propuesta de cálculo del investigador tiene un tiempo de respuesta de protección de 3.272 microsegundos representando un 89%, es decir, 11% de déficit, mientras que el sistema de protección implementado por la minera de Antamina tiene un tiempo de respuesta de 4.637 microsegundos efectivo representando un 95%, es decir, con 5% de déficit en la minera de Antamina. Por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 ; y se acepta la hipótesis alterna H_1 , la cual menciona que la propuesta de memoria de cálculo amerita la instalación del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash.

CONCLUSIONES

- El sistema de pararrayo para la protección de la Casa de Fuerza - Taller, propuesto por el investigador, tiene un rendimiento y eficiencia acorde con lo requerido por el cliente en la protección contra descargas atmosféricas, además en referencia a los costos es beneficioso para la empresa contratista *Mas Errazuriz de Perú*.
- Los costos de la propuesta de sistema de pararrayos tipo PDC son más accesibles en los aspectos técnicos, disponibilidad y rendimiento acorde a los requerimientos de la contratista *Mas Errazuriz de Perú*.
- Se concluye que a partir de la r - Spearman permitió confirmar que la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC propuesto influye positivamente en la protección de la Casa de Fuerza - Taller, en la minera Antamina - Ancash.
- Del mismo modo, se concluye que, en la minera de Antamina en Ancash, respecto a los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC se encuentra que un 50.2% de eficiencia en el aspecto técnico representa la propuesta de pararrayo del investigador, mientras que 49.8% de eficiencia en el aspecto técnico representa la propuesta del sistema de protección de Antamina. De acuerdo a los datos encontrados, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1); mencionando que los requerimientos técnicos para la memoria de cálculo del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash es deficiente.
- Se concluye que, en la minera de Antamina de Ancash, respecto a los requerimientos técnicos del pararrayo, un 49,8% representa el rendimiento de los requerimientos técnicos a un costo de S/ 13,510.44 soles, con un funcionamiento regular, mientras que un 50.2% representa el rendimiento de los requerimientos técnicos a un costo de S/ 3,330.55 soles, con un funcionamiento aceptable en la minera de Antamina de Ancash; respecto a los requerimientos técnicos del pararrayo, un 49,8% representa el rendimiento

de los requerimientos técnicos a un costo de S/ 13,510.44 soles con un funcionamiento regular, mientras que un 50.2% representa el rendimiento de los requerimientos técnicos a un costo de S/ 3, 330.55 soles con un funcionamiento aceptable.

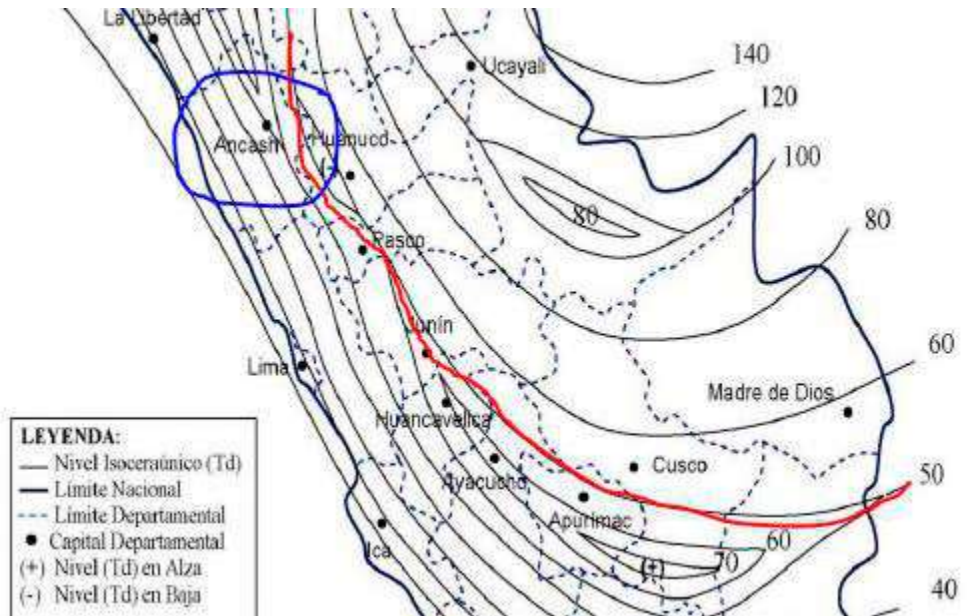
- Se concluye que, de acuerdo a los datos encontrados, se observa que el promedio efectivo del tiempo de respuesta de protección de la casa taller es de 3. 834 microsegundos el cual representa un 100%, como se observa la propuesta de cálculo del investigador tiene un tiempo de respuesta de protección de 3.272 microsegundos representando un 89%; es decir, 11% de déficit, mientras que el sistema de protección implementado por la minera de Antamina tiene un tiempo de respuesta de 4.637 microsegundos efectiva representando un 95%; es decir, con 5% de déficit en la minera de Antamina. Por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 , quien menciona que la propuesta de memoria de cálculo amerita la instalación del pararrayo tipo PDC en la minera Antamina - Ancash.

REFERENCIAS

1. **LAPUERTA, Nelson.** *Estudio, cálculo y diseño de mallas de tierra para subestaciones de alto voltaje.* 259, Quito : Procobre, 1974.
2. **MORALES OSORIO, Nelson.** *Mallas de mallas.* Chile : PRIEN, 1999.
3. **SERRANO HUETE, Manuel Enrique.** *Diseño del sistema de puesta a tierra del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana - sede Guayaquil.* 146, Guayaquil : s.n., 2008.
4. **CANALES PÉREZ, Félix Sebastián.** *Nociones específicas para puesta a tierra en instalaciones mineras.* 30, Santiago de Chile : Repositorio Universitario, 2011.
5. **HERRERA, Jhon y CASTRO, Omar.** *Cálculo de la malla de puesta a tierra de una subestación.* Pereira Colombia : s.n., 2003.
6. **RAMÍREZ, José y CANO, Eduardo.** *Sistemas de puesta a tierra: diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF.* Colombia : Blanecolor Ltda, 2010. 122.
7. **COMISIÓN FEDERAL de Electricidad.** *Sistema de tierra para planta y subestaciones eléctricas.* México : s.n., 2004.
8. **JÁUREGUI RODRÍGUEZ, Guillermo.** *Sistema de red de tierras en subestaciones.* San Nicolás de la Garza, México : s.n., 2002. ISBN-1 0 2 0 1 4 8 2 5 5.
9. **FLORES HINOSTROZA, Mario y FIERRO ROMERO, Richard.** *Diseño del sistema de puesta a tierra del nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana - sede Guayaquil.* Guayaquil : s.n., 2010. Tesis de grado.
10. **CIRPROTEC.** *Seminario de protección contra sobretensiones.* Talara : s.n., 2007. p. 108.
11. **DEHN, D., SÖHNE, S. y BLITZPLANER, B.** *Manual de protección contra rayos.* Madrid : Ibergraphi, 2007.
12. **SÁNCHEZ, H. y REYES, C.** *Metodología y Diseños en la Investigación Científica.* Lima : Visión Universitaria, 2006.
13. **ARIAS, F.** *El Proyecto de Investigación.* 6.º. Caracas : Epistema C. A., 20112.
14. **TACILLO, T.** *Metodología de la Investigación Científica.* Perú : Universidad Jaime Bausate y Meza, 2015.
15. **CARRASCO DÍAZ, Sergio.** *Metodología de Investigación Científica.* Lima : Editorial San Marcos, 2009.

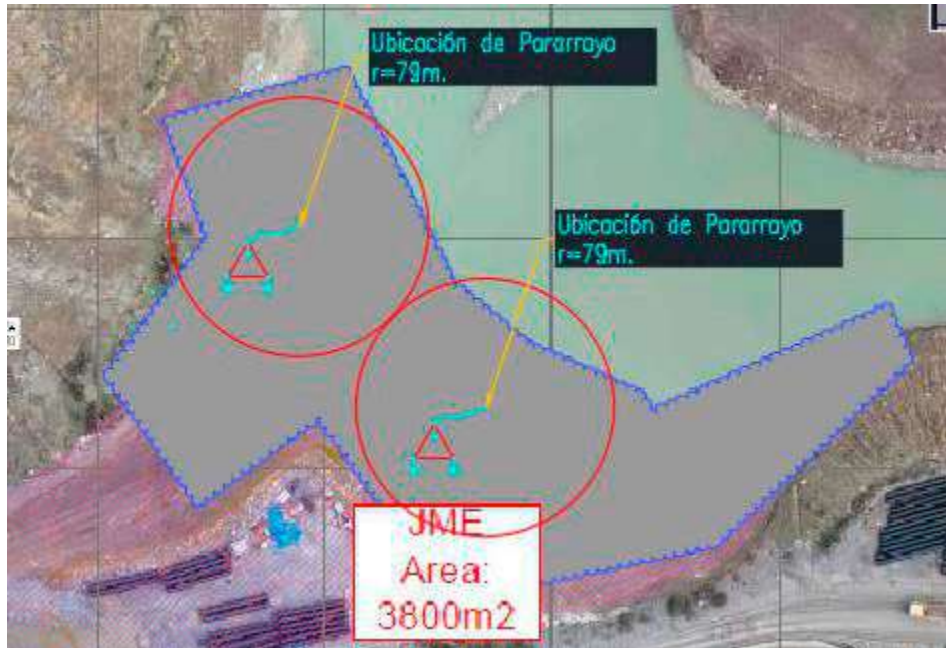
ANEXOS

Anexo 1



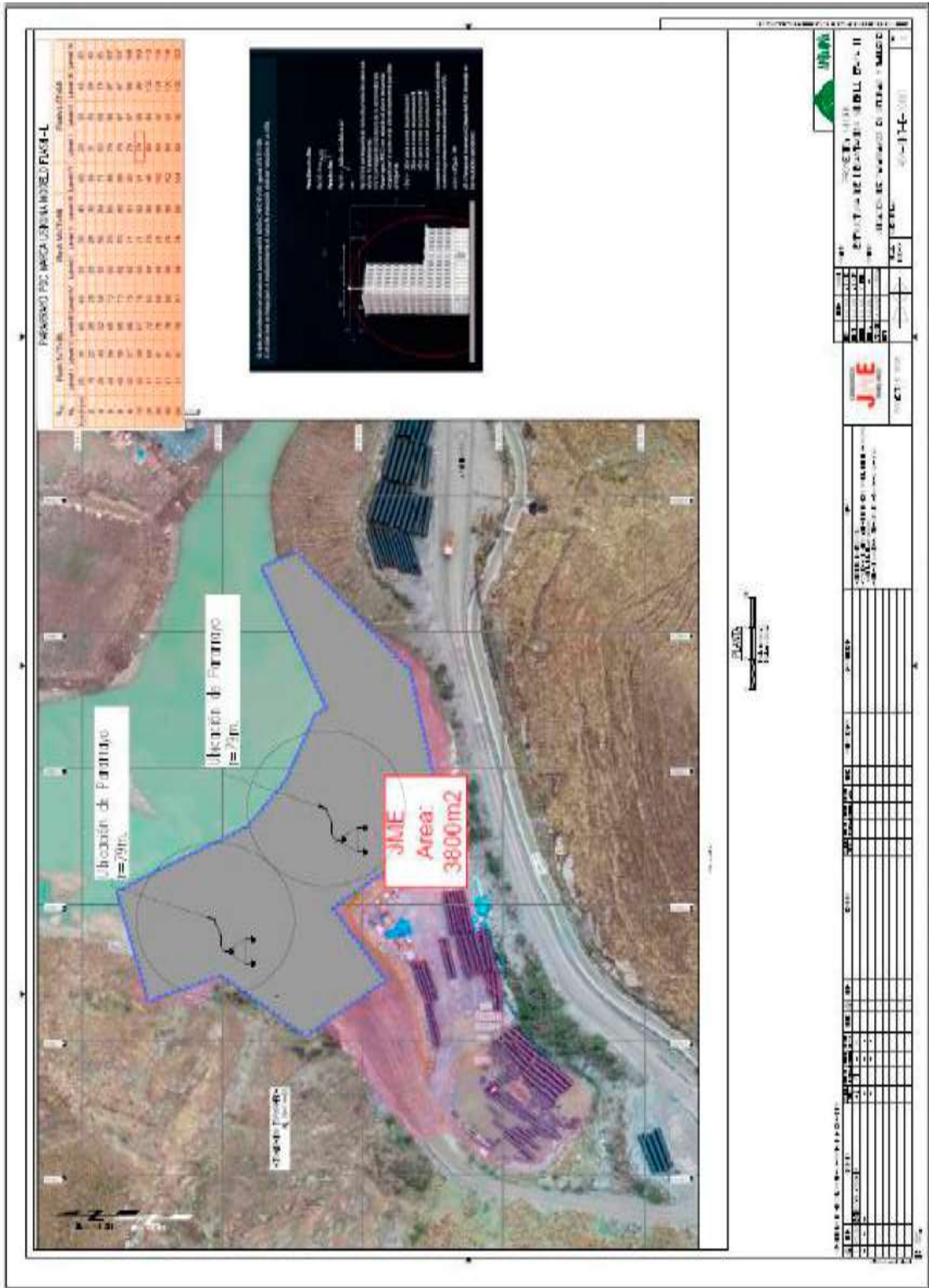
Selección de nivel Isoceraúnico.

Anexo 2



Dimensiones por proteger

Anexo 3



Ubicación de pararrayos en taller - oficinas

