



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
ELECTRONICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS POR EL MÉTODO DE LA
ESFERA RODANTE PARA UNA PLANTA ENVASADORA DE GLP
DE 5700 M2, UBICADA EN EL DISTRITO DE CALAPUJA**

TESIS

PRESENTADA POR:

ALAIN RAI OLIVERA CANAHUA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS POR EL MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE PARA UNA PLANTA ENVASADORA DE GLP DE 5700 M2, UBICADA EN EL DISTRITO DE CALAPUJA

AUTOR

ALAIN RAI OLIVERA CANAHUA

RECuento DE PALABRAS

13406 Words

RECuento DE CARACTERES

73921 Characters

RECuento DE PÁGINAS

95 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.1MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 26, 2024 11:19 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 26, 2024 11:20 AM GMT-5

● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Felipe
Vº Bº Sub Dirección de Investigaciones
Mrc. Felipe Condoni Chambrillo
EPIME

Resumen



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis familiares, por su apoyo incondicional en todo momento de mi vida, a mis padres por haberme criado, cuidado y educado con valores para llegar a ser una persona de bien, a mis hermanos, por ser mi apoyo incondicional y vivir los mejores momentos a su lado y a mi ángel de la guarda papá Meko que siempre guías y iluminas mi camino desde el cielo.

Alain Rai Olivera Canahua



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a dios, a la vida y a todas las personas que me apoyaron con la realización de esta tesis.

En primer lugar, a mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, a mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por formarme como profesional.

Agradezco a mi asesor de tesis al Dr. Fredy Bernardo Coyla Apaza, por orientarme y apoyarme en el proceso de la elaboración de mi tesis para lograr los objetivos propuestos.

También agradecer a todos mis docentes de mi querida escuela profesional por las enseñanzas compartidas que me brindaron.

Alain Rai Olivera Canahua



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3. JUSTIFICACIÓN	16
1.4. OBJETIVOS.....	16
1.4.1. Objetivo General.....	16
1.4.2. Objetivos Específicos	16
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	17
2.2. MARCO TEÓRICO	21
2.2.1. Historia.....	21
2.2.1.1. Evolución histórica de los pararrayos.	21
2.2.1.2. Estado actual de las normativas	22
2.2.1.3. La asociación nacional de protección contra el fuego	23



2.2.1.4. Origen y desarrollo de NFPA 780.....	23
2.2.2. Efectos de los Rayos Sobre los Bienes	25
2.2.3. Efectos de los Rayos Sobre las Personas	26
2.2.4. Descarga Atmosférica.....	27
2.2.4.1. Tipos de Descargas Atmosféricas.....	28
2.2.4.2. Características de las Descargas Atmosféricas	29
2.2.5. El Pararrayo	29
2.2.6. Pararrayos de Puntas Convencionales	32
2.2.7. Pararrayos Ionizantes o No Convencionales	34
2.2.8. Pararrayo de Tipo Radioactivo	34
2.2.9. Pararrayo Tipo Ión-Corona Solar	35
2.2.10. Pararrayo de Tipo Piezoeléctrico	35
2.2.11. Sistema de Protección Atmosférica	35

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.2. DATOS DE ENTRADA Y CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA PROTECCIÓN EXTERNA	37
3.3. MEMORIA DE CALCULO	39
3.3.1. Cálculo de Índice de Riesgo	39
3.3.1.1. Densidad anual de rayos (Ng).....	41
3.3.1.2. Área equivalente colectiva (Ae).....	41
3.3.1.3. Coeficiente Ambiental (C1).....	44
3.3.1.4. Cálculo de la frecuencia de descargas tolerables (Nc).....	45
3.3.2. Selección del Nivel de Protección	48
3.3.2.1. Zona de protección.....	50
3.4. MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE PARARRAYOS ...	52



3.4.1. Determinación del Método de Cálculo a Emplear	52
3.4.1.1. El método de la esfera giratoria o rodante.	53
3.4.1.2. Conceptos para el caso 1	56
3.4.1.3. Conceptos para el caso 2	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	60
4.1.1. Determinación del nivel de protección	60
4.1.2. Determinación de la eficiencia necesaria.....	61
4.1.3. Cálculo de la sección lateral izquierda	63
4.1.4. Cálculo de la selección superior izquierda (tanques de almacenamiento y cisterna de abastecimiento):	65
4.1.5. Cálculo de la sección central (plataforma de envasado).....	67
4.1.6. Cálculo de la Sección Lateral Derecha (Patio de Maniobras)	68
4.1.7. Cálculo de la Sección Lateral Derecha e Izquierda (Cuarto De Bombas SCI, Salada De Tableros, Almacén Y Sala De Máquinas)	71
4.2. DISCUSIÓN	73
4.2.1. Selección de Pararrayos a Utilizar	74
4.2.2. Para el Sistema de Captación.....	75
4.2.3. Para el Conductor Bajante y Sistema de Puesta a Tierra	76
4.2.4. Mantenimiento	76
V. CONCLUSIONES	78
VI. RECOMENDACIONES	79
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	82

Área: Ingeniería Eléctrica

Tema: Pararrayos

Fecha de sustentación: 30 de enero del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Tipos más comunes de descargas atmosféricas.....	28
Figura 2 Asignación de las intensidades de caídas de las descargas atmosféricas. El 95% de los rayos no supera los 6KA, mientras que solo un 5% supera los 100KA	29
Figura 3 Distintas zonas de protección utilizadas a través de los años por distintos autores.....	31
Figura 4 Dispositivo de pararrayos con punta de Franklin.....	32
Figura 5 Zona protegida por un dispositivo de pararrayos con Punta de Franklin....	33
Figura 6 Zona de protección de un pararrayos radioactivo.	35
Figura 7 Mapa Ceráunico del Perú	38
Figura 8 Supervisión de Electricidad - Mapa Ceráunico del Perú.....	39
Figura 9 Calculo alternativo del área de captación equivalente para la estructura en la que una parte prominente comprende todos los sectores de la parte inferior de la estructura.....	42
Figura 10 Cálculo del área de captación equivalente para una estructura en la que una parte prominente comprende todos los sectores de la parte inferior de la estructura.	43
Figura 11 Cálculo del área de captación equivalente para una estructura en la que una parte prominente comprende todos los sectores de la parte inferior de la estructura.	44
Figura 12 Determinación de los Sistemas de Protección.....	49
Figura 13 Nivel de la Eficacia Necesaria	50
Figura 14 Corte transversal de una esfera, que describe una circunferencia.....	54



Figura 15	Aplicación del método de la esfera rodante	55
Figura 16	Altura protegida h_p	56
Figura 17	Altura protegida y separación protegida en superficies	58
Figura 18	Determinación de los Sistemas de Protección por tablas en Excel	60
Figura 19	Nivel de la Eficacia Necesaria	61
Figura 20	Instalación eléctrica de cuatro pararrayos – Vista lateral.....	62
Figura 21	Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral	62
Figura 22	Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral	64
Figura 23	Instalación eléctrica de dos pararrayos – Vista lateral	66
Figura 24	Instalación eléctrica de dos pararrayos de 7m de altura – Vista lateral	68
Figura 25	Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral	70
Figura 26	Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral	73



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Determinación del Coeficiente C1 ambiental	45
Tabla 2 Determinación de Coeficiente Estructural C2	46
Tabla 3 Determinación del Contenido de la Estructura Coeficiente C3	47
Tabla 4 Determinación del Contenido de la Estructura Coeficiente C4	47
Tabla 5 Determinación del Contenido de la Estructura Coeficiente C5	48
Tabla 6 Cuadro de mantenimientos	77



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica del pararrayo punta dipolo corona a utilizar.	82
ANEXO 2: Cronograma de ejecución y presupuesto.	86
ANEXO 3: Planos.	87
ANEXO 4: Declaración jurada de autenticidad de tesis	94
ANEXO 5: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional	95



ACRÓNIMOS

GLP:	Gas Licuado de Petróleo
OSINERGMIN:	Organismo Supervisor de la Investigación en Energía y Minería
NFPA:	National Fire Protection Association
Nd:	Densidad anual de rayos
Ae:	Área equivalente Colectiva
Nc:	Frecuencia de descargas tolerable



RESUMEN

En el distrito de Calapuja existe gran cantidad de incidencias de rayos según los registros de los mapas de niveles isoceráunicos, por lo cual es necesario el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas que asegurara la protección tanto al personal como a los componentes de la planta envasadora de GLP. Se plantea el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, que abarca y protege toda el área del establecimiento, tomando como recomendaciones a la normativa NFPA 780, aplicando la metodología de protección de la esfera rodante, para realizar los cálculos correspondientes que garantizaran la protección del establecimiento. Finalmente Se logro abarcar y proteger toda el área del establecimiento mediante la instalación de cuatro pararrayos tipo Franklin Tetra puntales dipolo corona los cuales se plantean ubicar en puntos estratégicos para la protección deseada y así cumplir con la protección del área de $5700 m^2$ que ocupa el establecimiento.

Palabras Claves: Descargas Atmosféricas, Esfera Rodante, Pararrayos, Planta Envasadora, Protección.



ABSTRACT

In the district of Calapuja there is a large number of lightning strikes according to the records of the isoceraunic level maps, so it is necessary to design a system of protection against lightning strikes to ensure the protection of both personnel and components of the LPG bottling plant. The design of a system of protection against atmospheric discharges is proposed, which covers and protects the whole area of the establishment, taking as recommendations the NFPA 780 standard, applying the methodology of protection of the rolling sphere, to make the corresponding calculations that will guarantee the protection of the establishment. Finally, it was achieved to cover and protect the entire area of the establishment through the installation of four lightning rods type Franklin Tetra crown dipole struts which are planned to be located at strategic points for the desired protection and thus comply with the protection of the area of 5700 m^2 that occupies the establishment.

Key words: Atmospheric Discharges, Rolling Sphere, Lightning Rod, Packaging Plant, Protection.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El distrito de Calapuja, ubicado en la región de Puno, es una zona con alta incidencia de rayos según el registro de datos del nivel cerámico, el cual genera un peligro constante contra la vida y salud de los habitantes.

En la construcción de un establecimiento que almacenará combustibles inflamables, es preciso contar con un sistema de protección contra descargas atmosféricas, dado que por su ubicación geográfica y por la naturaleza de la zona, es muy propensa a sufrir daños por la caída de un rayo, lo cual sería un riesgo para la estructura y sus componentes.

Por recomendaciones de la norma NFPA 780, se optará por aplicar el método de la esfera giratoria o rodante el cual nos permite hacer los cálculos específicos y determinar el comportamiento de un sistema de protección antes de su implementación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible proteger una planta envasadora de GLP instalada en la intemperie con una incidencia de descargas atmosféricas altas en el distrito de Calapuja?

¿Es posible diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas de acuerdo a las recomendaciones de la normativa NFPA 780 para la instalación de pararrayos por el método de la esfera rodante?

¿Es posible salvaguardar la integridad del personal que trabajara en el establecimiento y a los componentes instalados en el mismo?



1.3. JUSTIFICACIÓN

El diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas tiene como fin, en primer lugar, salvaguardar la integridad del personal que laborará dentro del establecimiento y en segundo lugar los componentes del mismo, ya que el distrito de Calapuja está dentro de una zona con niveles altos de incidencia electrostática, por lo cual es necesario instalar un sistema de protección contra descargas atmosféricas para el funcionamiento de la planta envasadora de GLP.

El diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas, reducirá el riesgo de que el área de la planta envasadora de GLP.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas por el método de la esfera rodante para una planta envasadora de GLP de 5700 m², ubicada en el distrito de Calapuja.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar y evaluar los elementos a proteger en la planta envasadora de GLP.
- Evaluar los requerimientos técnicos para la elaboración del sistema de protección por el método de la esfera rodante.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Existe un estudio realizado por Huancollo, 2018; que analizo las soluciones alternativas para evitar fallas en transformadores de distribución por rayos. Usualmente, Las compañías eléctricas de nuestro país no consideran que la avería de los transformadores de distribución sea un problema grave desde el punto de vista económico, ya que las medidas preventivas pueden resultar más costosas. En ese sentido, Se ha pospuesto la política pertinente sobre investigación de fallas de transformadores. En este contexto, la información existente sobre fallas del transformador puede omitir datos importantes. Sin embargo, las nuevas regulaciones para las empresas de energía son más estrictas y les exigen operar de manera más eficiente. En este nuevo escenario, el análisis de fallas en transformadores es necesario y será utilizado como herramienta para investigar tales casos. Al análisis de fallas de los transformadores mencionados se agregarán nuevas pruebas y ensayos como resistencia de aislamiento, índice de absorción dieléctrica y mediciones de polarización para mejorarlos. Por otra parte, el pararrayos y la puesta a tierra, siendo parte del sistema de protección de transformadores de distribución, también son estudiados con el objetivo de verificar posibles defectos de instalación y desafíos que serán superados. (Huancollo Huancollo, 2018)

Por otro lado, (Landeo Mallasca, 2023), analizó el diseño de apantallamiento para la protección contra las descargas atmosféricas en la ampliación de la subestación de Chupaca, mediante la utilización de cálculos para dimensionar el cable protector y determinar la capacidad de corriente de cortocircuito admitida por el conductor. Por razones sociales, este estudio propone la posibilidad de ampliar el diseño de subestaciones



eléctricas blindadas para garantizar un suministro confiable de energía a las personas y brindarles una mayor sensación de seguridad a la hora de realizar negocios. Para verificar el diseño de protección se utiliza el programa Sparkta 2.0, donde se utilizan dos métodos para simular el diseño (método de corriente única y método probabilístico). Como resultado, esto no afecta la ampliación de la estación con un nuevo diseño de seguridad, garantizando una buena protección de la estación contra descargas eléctricas.

Por otro lado, otro estudio estudió El pararrayos tipo PDC con dispositivo de cebado no electrónico es adecuado para el módulo de capacitación porque está separado de la estructura protegida por un amplio rango de seguridad, lo que garantiza que el pararrayos esté a una distancia segura del módulo de capacitación, por lo que este tipo de pararrayos se selecciona y no se selecciona ningún otro tipo de pararrayos para su uso. Se desarrolla la solución haciendo uso del captador activo o con sistema de cebado no electrónico, el captador seleccionado tiene la característica de adelantarse a la descarga atmosférica, este proceso se da teniendo un nivel de altura adecuado y con su dispositivo de cebado se traza una línea ionizada, así atrayendo el rayo al captador y no al módulo educativo, la cualidad de tener el sistema de cebado es una gran ventaja en proteger contra la descarga atmosférica, tiene un radio de protección amplio en comparación a otros tipos de pararrayos, en los cálculos usamos el cálculo por ángulo de protección.(Mansilla Yanqui, 2021)

En cuanto a la instalación de pararrayos lineales, este es el método que mejores resultados técnicos da en la reducción de la frecuencia de fallas durante la descarga del rayo. La ubicación exacta de los pararrayos lineales es un factor determinante en los costes de instalación ya que pueden ser necesarios para reducir la frecuencia de las descargas de rayos. La realización de un estudio de las tasas de flameo por descargas atmosféricas y una óptima ubicación de los pararrayos de línea , por lo que se realizó un



análisis de la geografía presente en cada estructura de la línea determinándose una pendiente ortogonal en la estructura para luego evaluar un modelo electro-geométrico modificado que considera esta pendiente ortogonal del cual se obtuvo las probabilidades de impacto en el cable de guarda y conductor de fase, se determinó la probabilidad de flameo calculando las corrientes críticas para el flameo del aislador con ayuda del ATP Draw, se obtuvo la densidad de descargas atmosféricas para cada estructura con ayuda del Mapa Ceraúnico del Perú disponible en la página de OSINERMIN, y se determinó la cantidad de impactos de las estructuras frente a vano adelante de cada estructura, con lo que se pudo calcular la tasa de flameo por descarga atmosférica en cada estructura y la tasa de flameo total para la línea. (Oscanoa Guadalupe, 2020)

Asimismo, los sistemas de puesta a tierra son cruciales para la seguridad de la maquinaria, los componentes del sistema de energía eléctrica y, en particular, para la protección de las personas que se encuentran cerca de estructuras que podrían verse afectadas por descargas atmosféricas o en caso de defectos de la instalación eléctrica. En numerosas normas y estándares, incluido el IEEE 80, la eficacia de las redes de puesta a tierra para la disipación de las corrientes de defecto está bien establecida desde hace décadas. Sin embargo, el análisis del comportamiento de estas redes ante corrientes de frentes rápidos, como lo son las descargas atmosféricas, es más complicado y se encuentra en desarrollo modelos que permitan representar de manera adecuada a los sistemas de puesta a tierra ante este tipo de eventos. (Moreno Zarate, 2018)

De modo similar, (Mansilla Yanqui, 2021) refiere un estudio sobre el desarrollo de un proyecto enfocado en el sector educativo lo cual es fundamental en estos tiempos, el proyecto brinda un ambiente amigable en zona de clima extremo, el módulo educativo instalado, está hecho de metal para mantener una temperatura idónea dentro del módulo educativo para el alumno, pero este tipo de material es una atracción para las descargas



atmosféricas es por eso que se diseña este tipo de pararrayo activo así desviando la descarga atmosférica al terreno natural dando seguridad ante estos fenómenos

El estudio de Luján Bravo, 2018, tiene como objetivo reunir las normas de diseño para elegir un sistema de protección contra rayos para cualquier instalación eléctrica exterior. Al minimizar el daño ambiental causado por la filtración de aguas residuales, este estudio ayudará a la Compañía Minera Antamina y a la población local. Asimismo, el presente estudio beneficiará a la compañía Minera Antamina y a cualquier empresa o profesional que quiera proteger una instalación eléctrica contra las descargas atmosféricas al ser instaladas a la intemperie donde se produzca este fenómeno natural. (Lujan Bravo, 2018)

En la edición de 2011 se añadieron dos capítulos significativos a la edición actual de la NFPA 780. En el primero, se analiza cómo defender edificios con municiones o explosivos, y en el segundo, se especifica cómo defender aerogeneradores utilizados para producir electricidad. También se adicionaron los requerimientos para proteger estructuras conteniendo vapores y gases inflamables, así como tanques de hidrocarburos con techo flotante.(NFPA 780, 2020)

Debido a la naturaleza de los productos procesados en las plantas procesadoras (hidrocarburos y sus derivados), así como a las condiciones ambientales de diversas instalaciones, incluyendo edificios industriales y de oficinas, fábricas y hospitales, Petróleos Mexicanos y sus subsidiarias distribuyen electricidad a cada región. especificaciones. Como el conducto que conecta las subestaciones alimentadoras o centrales generadoras con los centros abastecidos y suministra a la maquinaria la energía requerida para su operación, las instalaciones eléctricas juegan un papel crucial en este contexto. Por lo anterior, así como para cumplir con los requisitos de diseño eléctrico,



asegurar la calidad de las herramientas y materiales utilizados en las instalaciones, y ejercer las atribuciones que le confiere la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFSMN), Petróleos Mexicanos da a conocer esta norma de referencia que combina el conocimiento que la empresa ha adquirido a través del desarrollo de obras recientes con los avances tecnológicos modernos. (ANTEPROY-M1-NRF-048-PEMEX, 2007)

Seleccionar adecuadamente la instalación y los equipos eléctricos y electrónicos para PEMEX y organismos subsidiarios, establecer los criterios para clasificar las áreas peligrosas por la presencia de concentraciones de gases o vapores explosivos o combustibles, definir las áreas donde estas concentraciones son susceptibles de explosión o ignición, y apoyar la identificación de riesgos para designar las instrucciones de seguridad durante la planeación de los trabajos de mantenimiento en áreas peligrosas. (NRF-036-PEMEX, 2003)

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Historia

2.2.1.1. Evolución histórica de los pararrayos.

Los pararrayos se utilizaron por primera vez para proteger edificios en 1752, primero en Francia y luego en Estados Unidos. En este último país se popularizó su instalación en casas, iglesias y edificios debido al fuerte impacto de las tormentas. En Europa se protegieron importantes edificios como el St. Paul's y el Queen's Palace de Inglaterra. (Flores Guerrero, 2019)

En 1772, ocurrió un incidente en la Torre de Brescia en Italia, donde un rayo destruyó el edificio. A partir de aquí, la Real Sociedad Inglesa forma un



comité técnico, comenzando una discusión acerca de la conveniencia de las puntas del pararrayos, si debían ser agudas o redondeadas. (Flores Guerrero, 2019)

En los doscientos años posteriores a que Franklin nombra la palabra "Lightning Conductor" para referirse a un pararrayos, no se lograron muchos avances en el campo de la protección contra rayos. Se emprendieron caminos equivocados como las investigaciones sobre los efectos de las diversas conductividades del material del pararrayos en su efectividad, que luego se probó que eran creencias infundadas, mientras que la importancia de factores determinantes en un sistema de protección, como el aseguramiento de una buena tierra y una excelente bajada, fue reconocida solo tardíamente. (Flores Guerrero, 2019)

Una idea que fascina a los principales investigadores, dice Golden, es la existencia de determinar en una zona un área limitada y formas de cuantificarla.

Comenzaron a discutir la relación protectora entre el ancho de la estructura y la altura del pararrayos, así como otras opciones, como la de Franklin, quien resolvió el problema geoméricamente, con el objetivo de encontrar la distancia mínima, llamada La distancia entre la punta del eje conductor y el extremo inferior de la viga es "distancia de impacto" o "Striking distance". Este último concepto sigue siendo base para las normativas de interés como la NFPA 780 o la IEC 61024. (Flores Guerrero, 2019)

2.2.1.2. Estado actual de las normativas

A medida que se fundamentó mejor las teorías y con la experimentación de los distintos profesionales, muchos países empezaron a normalizar la utilización de pararrayos.(Flores Guerrero, 2019)



Desde 1905, en Estados Unidos existe la norma NFPA denominada “Standard for The Installation of Lightning Protection Systems”, que utiliza el método de la “Esfera Rodante”, similar a la norma británica BS 6651. En Alemania se basa en VDE 185 para definir la superficie mediante un cono con el vértice en el extremo superior de la guía en un ángulo de 45 grados. La norma IEC 61024 propone una combinación de los dos métodos antes mencionados dependiendo de la estructura a proteger, con la salvedad de que el cono tiene ángulos de entre 20 y 60 grados. (Flores Guerrero, 2019)

2.2.1.3. La asociación nacional de protección contra el fuego

El acrónimo NFPA significa “National Fire Protection Association”, que es una asociación no gubernamental fundada en 1896 para investigar y gestionar la prevención y extinción de incendios. Su influencia intelectual y técnica les dio una posición importante en varios países de América. Su misión es reducir el riesgo sobre la calidad de vida promoviendo y suministrando de manera consensuada códigos de construcción e instalación y desarrollo de tecnologías y políticas sobre el problema del incendio y sus peligros asociados. (Flores Guerrero, 2019)

2.2.1.4. Origen y desarrollo de NFPA 780

La National Fire Protection Association publicó por primera vez especificaciones para la protección contra rayos en edificios en 1904. Estas normas fueron revisadas en 1905, 1906, 1925, 1932 y 1937. En 1945, el comité de la NFPA junto con el comité de protección contra rayos de ASA se reorganizaron y fusionaron bajo los auspicios de la NFPA, la Oficina Nacional de Estándares y el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos (ahora IEEE). En



1946, la NFPA comenzó a escribir la Parte III y en 1947 se publicó una edición revisada que la añadía. Los cambios recomendados por el comité fueron implementados y adoptados posteriormente por NFPA en 1949, 1950, 1951, 1952, 1957, 1959, 1963, 1965, 1968, 1975, 1977, 1980, 1983, 186, 1989 y 1992. (NFPA 780, 2020)

Comenzando con la edición de 1992, edición del Código de la Protección contra descargas atmosféricas, la NFPA cambió la designación numérica del documento que pasó de NFPA 78 a NFPA 780. (NFPA 780, 2020)

Con el lanzamiento de la edición de 1995, el título del documento se cambió de "Código de Protección contra descargas atmosféricas" a "Norma para la Instalación de los Sistemas de Protección contra descargas atmosféricas". Se junto las normas y realizar este cambio para que el título fuera más preciso y claro, lo que se refleja en el título del documento. Además, el concilio dirigió ciertos cambios sobre el alcance del documento para clarificar que el documento no cubre los requisitos de la instalación de protecciones contra descargas atmosféricas para sistemas con dispositivos de cebado o de sistemas de disipadores de rayo. (NFPA 780, 2020)

La edición de 1997 incorporó cambios en el documento para hacerlo más amigable a la lectura. Al emitirla, el consejo de la norma señaló que el rayo es un proceso natural caprichoso, sin el comportamiento entendido exactamente, por lo que aclara que la norma NFPA 780 está destinada a proporcionar requisitos dentro de los conocimientos y experimentos actuales. (NFPA 780, 2020)

La edición del 2000 se ajustó para incluir proyectos en entornos abiertos como campos de golf. Además, el mapa isométrico de 1972 se actualizó al mapa



de 1998. En 2004, se agregaron tres capítulos administrativos al inicio de la norma: “Administración”, “Publicaciones de Referencia” y “Definiciones”; también hay algunos cambios técnicos, como permitir el uso de conectores de titanio agregado a un conductor principal de núcleo sólido para estructuras de más de 75 pies de altura o más. La del año 2008 proporcionó requisitos para que las protecciones contra sobretensiones sean incluidas en todas las entradas de potencia, comunicación y antenas; también incluyó que todos los medios de conexión a tierra deben estar interconectados para proporcionar un potencial de tierra común. (NFPA 780, 2020)

La edición de 2011 añadió dos capítulos importantes a esta norma. La primera parte se refiere a la protección de estructuras contra municiones o explosivos, y la segunda parte establece los requisitos para la protección de turbinas eólicas para la generación de electricidad. También se adicionaron los requerimientos para proteger estructuras conteniendo vapores y gases inflamables, así como tanques de hidrocarburo con techo flotante. (NFPA 780, 2020)

En la edición 2014, se incluyeron edificios que tienen objetos de metal, como observatorios, grúas de construcción, platos de radar, paneles solares, etc. (NFPA 780, 2020)

2.2.2. Efectos de los Rayos Sobre los Bienes

Los daños en instalaciones, edificios e industrias, así como la presencia de dispositivos y sistemas electrónicos en nuestra vida diaria son cada vez más habituales. Estos sistemas son particularmente vulnerables a los efectos de la caída de un rayo, los cuales generan sobretensiones. (Flores Guerrero, 2019)



2.2.3. Efectos de los Rayos Sobre las Personas

Existen dos causas principales de muerte por impacto de rayo:

- Fibrilación Ventricular: La corriente eléctrica que pasa por el corazón hace que las fibras musculares del órgano pierdan coordinación y detengan la circulación sanguínea, provocando la muerte en unos 4 minutos. Relación entre la duración del impacto y la corriente que produce la Fibrilación (Lee, 1977): (Flores Guerrero, 2019)
- Paro respiratorio: Se afecta la respiración de dos maneras:
 - Paro respiratorio que continua después de que la corriente deja de fluir.
 - La corriente eléctrica puede hacer que los músculos del pecho se contraigan, reduciendo así los movimientos respiratorios cuando hay corriente presente. Este efecto es despreciable debido a la poca duración del paso de la corriente. (Flores Guerrero, 2019)

Para que se produzca el primer medio, la corriente eléctrica debe pasar a través del centro respiratorio del cerebro hasta su parte inferior. Hay 4 formas en que los rayos pueden dañar a las personas:

- Impacto directo: Una persona conduce toda la corriente eléctrica a través del cuerpo, desde la cabeza hasta el suelo. En este caso, la persona se comporta como cualquier pararrayos u objeto punzante. Se produce un arco exterior al cuerpo que puede o no producir fibrilación (Lee, 1977). (Flores Guerrero, 2019)



- Tensión de contacto: Se produce cuando el sujeto está tocando un objeto conductor que es impactado por el rayo. Una persona se ve afectada por la diferencia de potencial entre el punto de contacto y el suelo. El análisis es similar al concepto de “tensión de contacto” en el diseño de puesta a tierra (véase Arcioni, 1987). (Flores Guerrero, 2019)
- Impacto lateral: Sucede cuando una persona se encuentra cerca de un objeto en donde impacta el rayo, por lo que una parte de la corriente puede cruzar el espacio de aire entre el objeto y la persona, descargándose a través de su cuerpo hacia tierra. (Flores Guerrero, 2019)
- Tensión de paso: Tal como sucede en un cortocircuito de grandes proporciones, cuando un rayo cae, crea un perfil de potencial sobre la tierra por lo que una persona puede estar sometida a una diferencia de potencial entre sus pies mientras camina. Es muy raro que este efecto cause la muerte del sujeto debido a las bajas corrientes que circulan entre sus piernas, frente a la caída de un rayo en sus cercanías. (Flores Guerrero, 2019)

2.2.4. Descarga Atmosférica

Según la definición para descarga atmosférica por el Diccionario de la Real es “Chispa eléctrica de gran intensidad producida por una descarga entre dos nubes o entre una nube y la tierra “. (Lujan Bravo, 2018)

Por otra parte, en electricidad se entiende por descarga atmosférica como el paso de un flujo de intensidad eléctrica de un punto a otro, lo anterior se da debido a que entre ambos puntos hay una diferencia de potencial y a su vez existe un medio por el cual se transmite, ya sea sólido, líquido o gaseoso. (Lujan Bravo, 2018)

2.2.4.1. Tipos de Descargas Atmosféricas

Entre los tipos de descargas más utilizados se encuentran:

- Descarga intranube
- Descarga nube a tierra
- Descarga al aire
- Descarga nube a nube

La descarga se produce cuando las cargas entre las nubes se separan, provocando que el aire se ionice y supere la constante dieléctrica, permitiendo el paso de la descarga. Los rayos se producen principalmente en nubes de tormenta o cúmulos. Sin embargo, también se pueden dar en tormentas de nieve o en nubes que se forman cerca de los volcanes debido a las erupciones. (Lujan Bravo, 2018)

Figura 1

Tipos más comunes de descargas atmosféricas



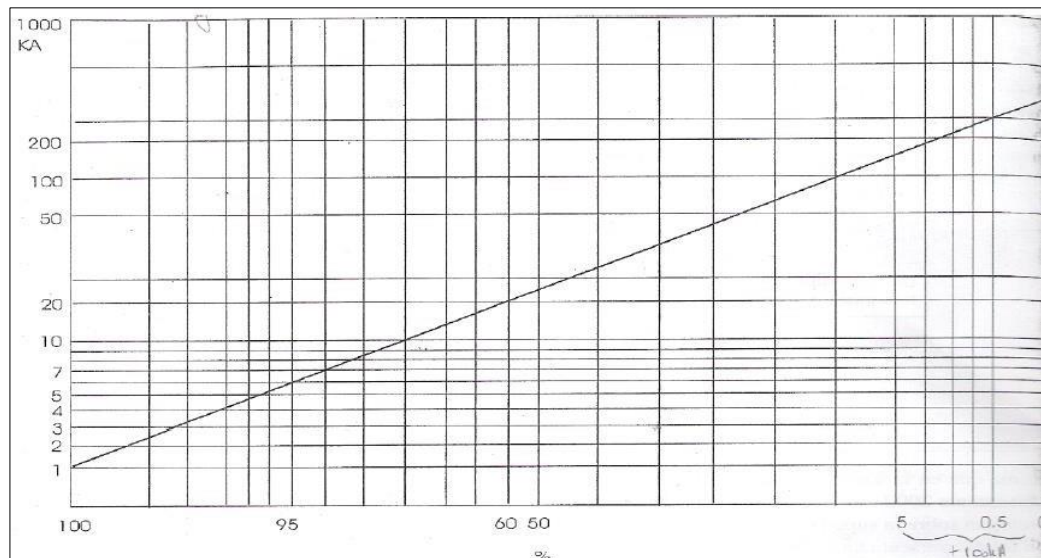
Nota: Adaptado de Universidad de Costa Rica, Proyecto eléctrico 2012

2.2.4.2. Características de las Descargas Atmosféricas

Las descargas llegan a intensidades de 200KA y 500KA, disipando energía a través del canal de descarga de 105 J/m. No es retributivo proteger una instalación de las descargas atmosféricas, pero si es retributivo proteger instalaciones ante los efectos del 95% de las descargas de rayo y sus efectos, que se consideran a tensión superior a 5KV y corrientes de 6KA. La siguiente figura se representan las diferentes intensidades de campo a diferentes distancias del punto de caída. (Lujan Bravo, 2018)

Figura 2

Asignación de las intensidades de caídas de las descargas atmosféricas. El 95% de los rayos no supera los 6KA, mientras que solo un 5% supera los 100KA



Nota: Adaptado de Universidad de Costa Rica, Título de grado 2012

2.2.5. El Pararrayo

Según la norma IEC 61024, el pararrayo es un “mástil metálico situado en la parte más alta de una construcción que deriva la corriente del rayo a tierra”.



Esta definición se refiere a la concepción de Franklin sobre la conducción del fluido eléctrico hacia la tierra.(Lujan Bravo, 2018)

La norma ampliamente citada y utilizada para sistemas de protección contra rayos en todo el mundo es NFPA 780. Por sistema de protección se entenderá a todo el conjunto pararrayo, bajada, puesta a tierra, accesorios, etc.(Lujan Bravo, 2018)

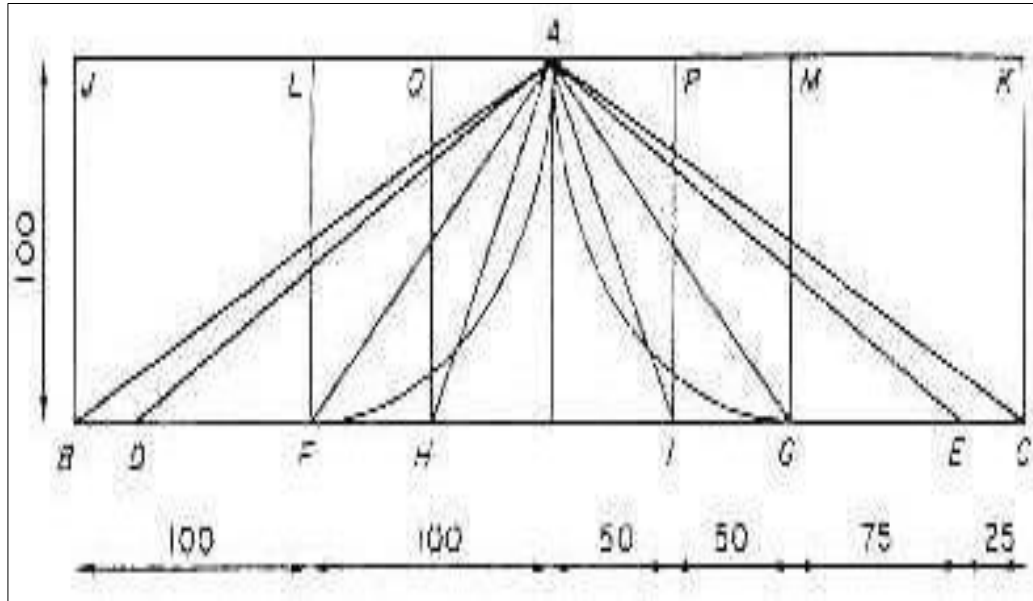
Según la NFPA 780 un pararrayo es el “elementos de un sistema de protección contra el rayo que está proyectado para interceptar a los rayos”.

Esta es la manera cómo surge la idea de un “poder de atracción” hacia el rayo, producido por él pararrayo. Este poder de atracción se cuantifica mediante la llamada “zona de protección”, la cual sería “sustancialmente inmune” al impacto directo del rayo debido a que el rayo impacta primero en el pararrayo.(Lujan Bravo, 2018)

El significado de zona de protección ha cambiado con el tiempo. Por ejemplo, se ha considerado un cono circular de eje vertical, cuyo vértice coincide con la punta del pararrayos. (Lujan Bravo, 2018)

Figura 3

Distintas zonas de protección utilizadas a través de los años por distintos autores.



Nota: Adaptado de Universidad de Buenos Aires, Tesis de grado 2000.

Entonces se pensó en una superficie de revolución cuya generatriz es un arco de círculo tangente al pararrayos en su punta y tangente al suelo. Actualmente la definición de esta zona de protección se basa en el llamado “Modelo Electrogeométrico”. Como se verá la especificación de la zona de protección depende de la corriente de cresta del primer impulso de retorno, que es el impulso que se produce luego de la conexión entre el líder descendente que proviene de la nube y el líder ascendente que viene del pararrayos, y sirve para neutralizar la carga negativa contenida en la nube.(Lujan Bravo, 2018)

Además, en el cálculo de la zona de protección debe tenerse en cuenta el grado de protección que debe dársele a una estructura sobre la base de una categoría determinada por una asignación de riesgo normalizada.(Lujan Bravo, 2018)

Con un sistema de pararrayos no se tendrá una protección ABSOLUTA. La protección “absoluta” se obtiene con la costosa “Jaula de Faraday” que es una estructura metálica que encierra casi totalmente la estructura a proteger y que no se analizará aquí.(Lujan Bravo, 2018)

2.2.6. Pararrayos de Puntas Convencionales

Está construido por una varilla de 3 a 5 metros de longitud, en acero tipo galvanizado de 50 mm de diámetro. Algunos ionizan el aire mediante cargas almacenadas para prever y prevenir la formación del rayo. (Lujan Bravo, 2018)

- De tipo Franklin: Conformado con punta y una varilla metálica, puede acabar en varias puntas y su funcionamiento se relaciona con el efecto de puntas. (Lujan Bravo, 2018)

Figura 4

Dispositivo de pararrayos con punta de Franklin.



Nota: Universidad de Costa Rica, Proyecto Eléctrico 2012

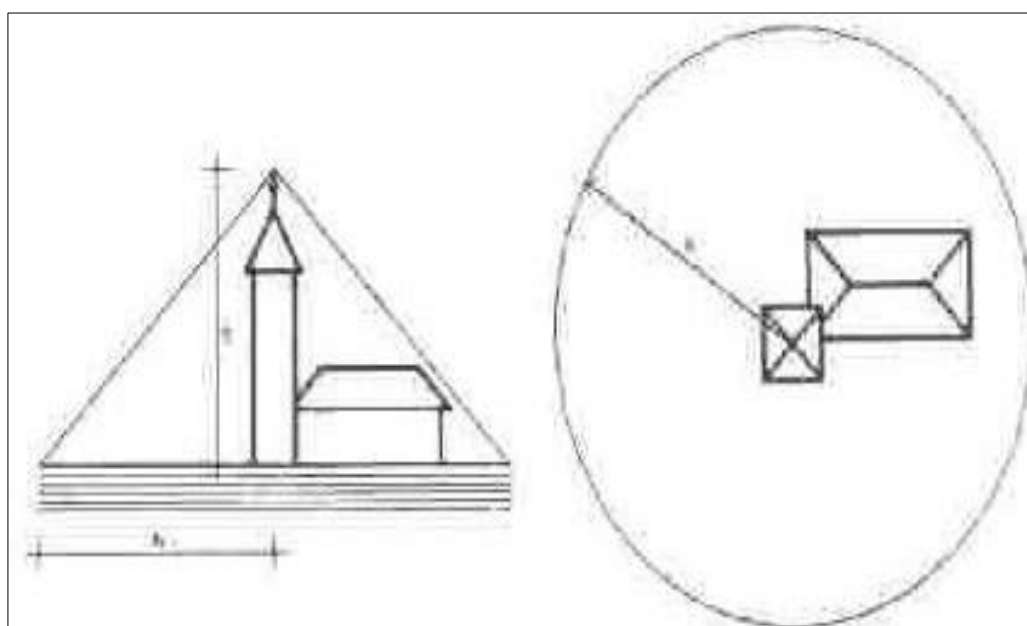
Definición y Propiedades: Este tipo de pararrayos solo acaba en una punta, con electrodos de acero y materiales similares. Se sugiere revisar el dispositivo después de haber recibido una descarga atmosférica. Es un dispositivo antiguo y su buen funcionamiento no ha sido cuestionado. (Lujan Bravo, 2018)

Funcionamiento: Su función principal es dirigir hacia tierra la descarga entre la nube y el cabezal. Usa el incremento de voltaje entre la nube y la tierra para producir la explosión de electrones. Cuando se produce la descarga, se conduce el voltaje hacia arriba para compensar la diferencia de potencial en el punto más alto. (Lujan Bravo, 2018)

Propósito: Salvaguardar el equipo electrónico y las instalaciones atrapando las descargas y conduciéndolas a tierra. A continuación, se observa la zona de protección o el radio de una punta de Franklin de un pararrayos. (Lujan Bravo, 2018)

Figura 5

Zona protegida por un dispositivo de pararrayos con Punta de Franklin.



Nota: Adaptado de Universidad de Costa Rica, Proyecto Eléctrico 2012.



2.2.7. Pararrayos Ionizantes o No Convencionales

Estos dispositivos ionizan el aire y captan el rayo, atrayendo las cargas eléctricas a la punta del pararrayos almacenándolas y a medida que el campo eléctrico aumenta exponencialmente, detectan el cambio y liberan la descarga hacia arriba mucho antes. En pocas palabras salen a encontrarse con el rayo, lo atrapan enviándolo a tierra mediante los bajantes. Se encuentra en la parte más alta de la instalación y están conectados a tierra. Estos dispositivos son electrodos acabados en una o varias puntas. (Lujan Bravo, 2018)

2.2.8. Pararrayo de Tipo Radioactivo

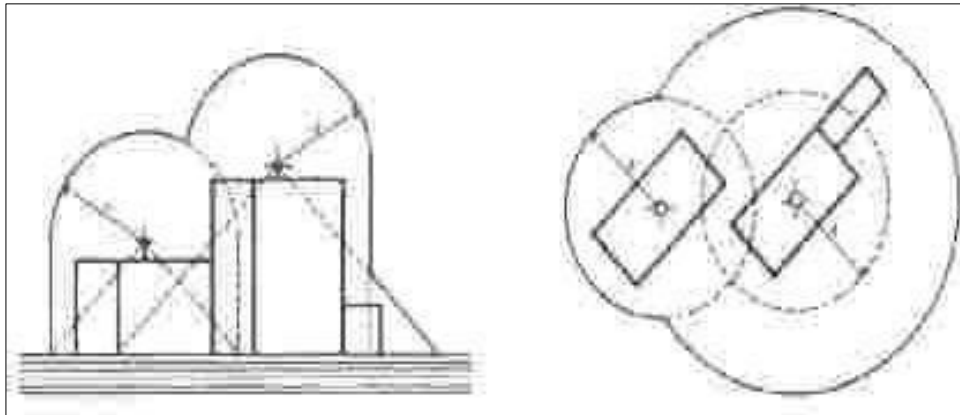
Szilard de Hungría fue el primero en utilizar materiales radiactivos para excitar artificialmente la atmósfera y producir iones para evitar las descargas atmosféricas. Por eso fabricó un pararrayo compuesto por una barra de 4 metros de altura y sobre ella un plato con 2mg de bromuro. (Lujan Bravo, 2018)

Es una varilla de metal con una caja en el extremo que contiene un isótopo radiactivo diseñado para ionizar el aire circundante liberando partículas alfa. Estos pararrayos están descontinuados. (Lujan Bravo, 2018)

El uso de pararrayos radiactivos se encuentra prohibido en varios países debido a los peligros asociados al uso disperso y descontrolado de materiales radiactivos. Sin embargo, esta prohibición no es global y su empleo fue muy difundido desde 1930 hasta su prohibición en 1986 donde se instalaron sólo en Francia miles de pararrayos radiactivos. (Lujan Bravo, 2018)

Figura 6

Zona de protección de un pararrayos radioactivo.



Nota: Adaptado de Universidad de Costa Rica, Proyecto Eléctrico 2012.

2.2.9. Pararrayo Tipo Ión-Corona Solar

Este pararrayos tiene un dispositivo eléctrico integrado para generar iones continuamente y es una mejor alternativa a los pararrayos atómicos. La energía que necesita para funcionar lo obtiene de las fotocélulas. (Lujan Bravo, 2018)

2.2.10. Pararrayo de Tipo Piezoeléctrico

Se basa en la capacidad de los materiales piezoeléctricos, de producir carga eléctrica a partir de los cambios en su estructura debido a presiones externas (tales como las producidas por el viento durante un vendaval)(Lujan Bravo, 2018)

2.2.11. Sistema de Protección Atmosférica

Los elementos para un sistema de protección atmosférica son:

- Pararrayo. - También conocido como el "terminal aéreo", el pararrayo es la unidad asegurada al punto más alto de una instalación y su función principal es de aptar los rayos.(Lujan Bravo, 2018)



- Conductor o Bajante. - Los sistemas de cables para rayos suelen estar hechos de cobre o aluminio desnudo. Este cable conecta la barra en la parte superior de la estructura a un elemento de puesta a tierra colocado a una distancia segura de la estructura. El cable conductor se monta fuera de la estructura y el recorrido hasta el elemento de puesta a tierra debe ser lo más corto posible por razones de seguridad. La función principal del cable es la de conducir el rayo hacia la tierra de forma segura.(Lujan Bravo, 2018)
- Puesta a tierra. - Existe varios tipos de elementos de tierra. Los elementos de tierra más populares en la actualidad son las barras y losas. Los planos de tierra suelen estar hechos de cobre y las varillas de tierra pueden ser un compuesto o una combinación de cobre, acero y níquel.

Los componentes de conexión a tierra están enterrados a varios metros de profundidad y deben ubicarse a varios metros de distancia del lugar de instalación. El elemento de tierra del sistema del edificio debe estar conectado a cualquier otro elemento de tierra en el área para crear un potencial de tierra común. Si es posible, la tierra debe enterrarse en suelo húmedo. Su función es la de disipar la corriente del rayo.(Lujan Bravo, 2018)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se desarrolló bajo los conceptos de investigación cuantitativa de alcance descriptivo, ya que el fin del mismo es describir los procedimientos y cálculos para llegar al diseño del sistema de protección contra las descargas atmosféricas tomando como consideración las recomendaciones de la norma NFPA 780 y tomando como datos de incidencia de rayos el mapa cerámico que nos brinda la página virtual del OSINERGMIN.

3.2. DATOS DE ENTRADA Y CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA PROTECCIÓN EXTERNA

En cualquier análisis de ingeniería se necesita del número de descargas por unidad de área y unidad de tiempo, o la densidad de descargas (GFD por las siglas en inglés de Ground Flash Density) regional expresada generalmente en un promedio anual.

Desde hace años, los servicios meteorológicos de todo el mundo registraron los días de tormenta o niveles cerámicos. Un día de tormenta es el día en que se oyen truenos. Los datos cerámicos se compilan en las cartas geográficas con líneas de igual nivel cerámicos o líneas isocerámicas.

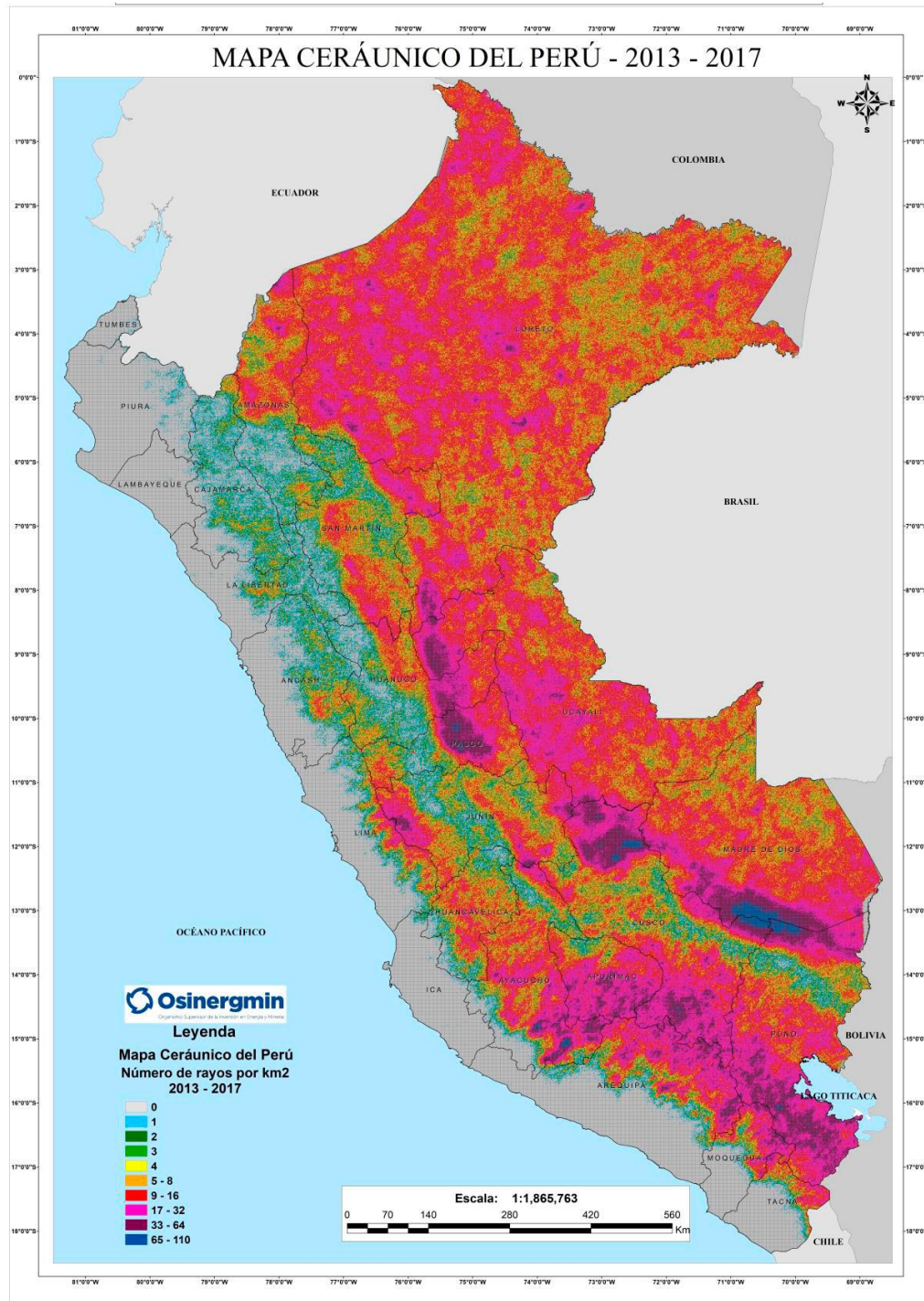
Con el pasar de los años, se han planteado relaciones matemáticas entre los días de tormenta al año (Td) registrados y la densidad de descargas a tierra (Ng) (descargas a tierra/unidad de área/unidad de tiempo).

$$Ng = 0.04(Td)^{1.25}$$

Para los cálculos del presente proyecto se usará los datos proporcionados por el Osinergmin referidos a la densidad de descargas a tierra (N_g) (descargas a tierra/unidad de área/unidad de tiempo).

Figura 7

Mapa Ceráunico del Perú

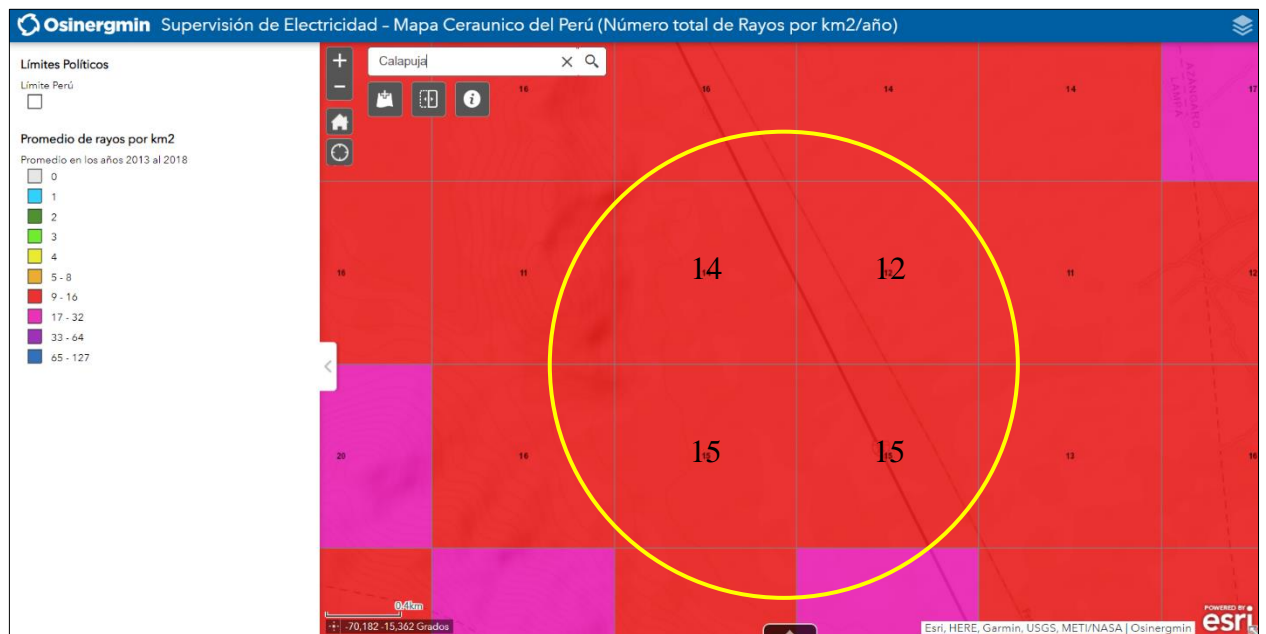


Nota: Adaptado de Osinergmin

Se determinó que observando el mapa (Elaborado por El Osinergmin, con información acumulada del 2013 al 2018), vemos que la localización del área de ubicación del establecimiento, está dentro de una zona con densidad de incidencia de descargas electrostáticas en niveles de 12 - 15; para lo cual se consideró tomar el valor más alto de 15, para determinar mediante el análisis de riesgos si es necesario la instalación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Figura 8

Supervisión de Electricidad - Mapa Cerámico del Perú



Nota: Adaptado de Osinermin, https://gisem.osinergmin.gob.pe/Descargas_Atmosfericas/

3.3. MEMORIA DE CALCULO

3.3.1. Cálculo de Índice de Riesgo

La Metodología de Evaluación del Riesgo nos es de mucha ayuda, porque nos deja determinar los riesgos que corre el personal que lo ocupa y los daños que pueden ocasionar en el inmueble los rayos.



Una vez identificado el riesgo, es mucho más fácil decidir si son necesarias medidas de protección.

Este método tiene en cuenta únicamente el daño causado por un ataque directo al establecimiento a proteger y la corriente que fluye a través del rayo para determinar la protección o sistema que se debe utilizar en cada caso.

El cálculo del riesgo se basa en la norma NFPA 780, el mismo que menciona que, en la mayoría de casos, la necesidad de protección contra el rayo es evidente, sosteniendo como ejemplo los casos a continuación:

- Inmuebles que concentren grandes multitudes de personas.
- Inmuebles que prestan servicio continuo que no se puede interrumpir.
- Lugares donde la incidencia de rayos es muy alta.
- Inmuebles, estructuras o edificaciones de altura considerable.
- Construcciones que contengan materiales explosivos o materiales inflamables.
- Edificio que contiene patrimonio cultural irremplazable.

La probabilidad de que una estructura u objeto sea alcanzado por un rayo es el producto de la ubicación geográfica de la zona (nivel cerámico), el tipo de estructura del predio y la densidad de rayos de la zona en la que se encuentra localizado el establecimiento

Este método de evaluación de riesgos es indicativo y tiene en cuenta el número de rayos que ocurren anualmente en la zona, los siguientes factores:

- El medio ambiente en que se ubica el establecimiento.
- El tipo de construcción del establecimiento.



- La ocupación de personas en el establecimiento.
- El contenido en el interior del establecimiento.
- Las secuelas cerebro-vasculares, producidas a las personas por la caída del rayo.

Cálculo de la frecuencia promedio anual de caídas de rayo (N_d). La frecuencia promedio anual de caídas de rayo (N_d), en una estructura está determinada por la siguiente ecuación:

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

Donde:

N_d = Frecuencia anual de un rayo en la estructura.

N_g = Densidad anual de rayos en la región donde se encuentra la estructura.

A_e = Área equivalente de la estructura (m^2).

C_1 = Coeficiente de medio ambiente.

3.3.1.1. Densidad anual de rayos (N_g)

El número promedio anual de los accesos a tierra por kilómetro cuadrado, es la densidad de rayos o relámpagos y este valor lo obtenemos del mapa de niveles Isoceraunicos elaborado por el Osinergmin. (“*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,*” 2015)

3.3.1.2. Área equivalente colectiva (A_e)

El área equivalente colectiva (A_e) Se refiere a la parcela de terreno donde se ubica la instalación protegida y donde, en promedio, existe una probabilidad media anual de que un rayo impacte directamente sobre la instalación. Este

aumento en el área de la estructura incluye la influencia de la altura y ubicación de la estructura.

El área equivalente colectiva A_e , de una estructura se calcula de acuerdo con la Figura 8 a través de la Figura 10.

El área equivalente de una estructura colectiva, es el área que se obtiene mediante la extensión de una línea con una pendiente de 1 a 3, de la parte superior de la estructura a tierra por completo alrededor de la estructura. El total es el área equivalente colectiva. (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

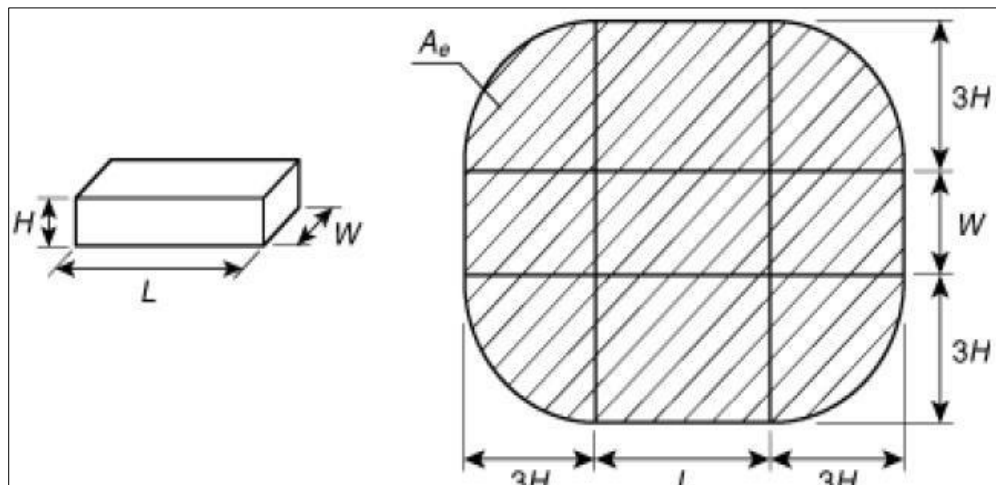
Vea la Figura 8, Figura 9, y la Figura 10 para ejemplos de cálculo.

- Cálculo del Área Equivalente Colectiva, para una estructura rectangular:

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

Figura 9

Calculo alternativo del área de captación equivalente para la estructura en la que una parte prominente comprende todos los sectores de la parte inferior de la estructura.



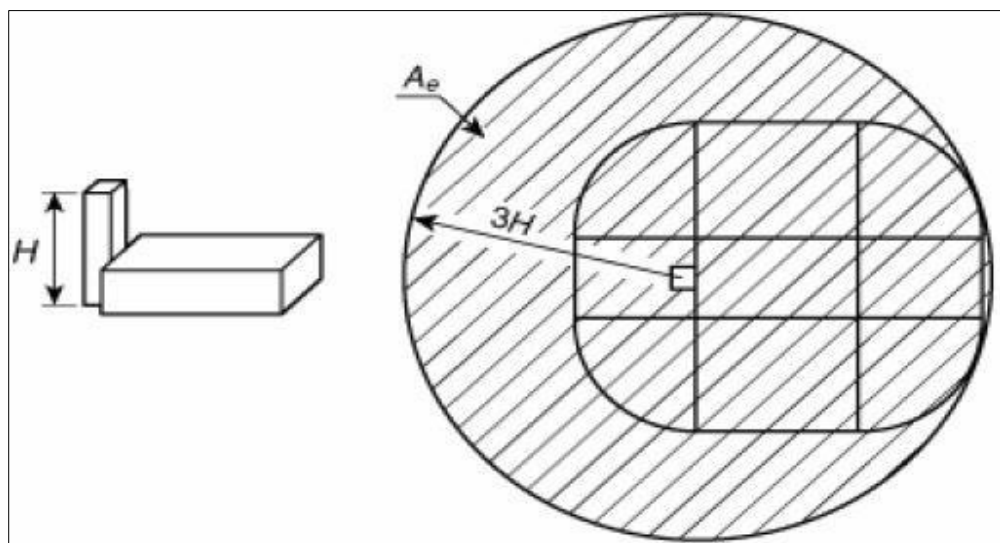
Nota: Adaptado de NFPA 780, edición 2008

- Cálculo del Área Equivalente Colectiva, para una estructura en la que una parte prominente abarca todas las partes de la parte inferior de la estructura:

$$A_e = 9 \times \pi \times H^2$$

Figura 10

Cálculo del área de captación equivalente para una estructura en la que una parte prominente comprende todos los sectores de la parte inferior de la estructura.

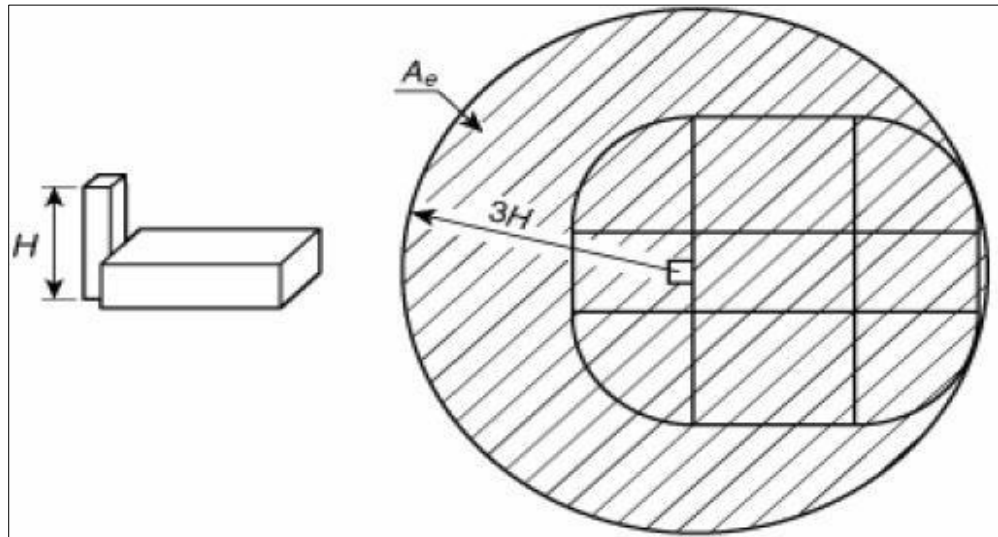


Nota: Adaptado de NFPA 780, edición 2008

- Cálculo Alternativo del Área Equivalente Colectiva, para una estructura en la que una parte prominente abarca todas las porciones de la parte inferior de la estructura: (“*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,*” 2015)

Figura 11

Cálculo del área de captación equivalente para una estructura en la que una parte prominente comprende todos los sectores de la parte inferior de la estructura.



Nota: Adaptado de NFPA 780, edición 2008.

3.3.1.3. Coeficiente Ambiental (C1)

Los coeficientes ambientales, la topografía del lugar de esta la estructura y los objetos que se encuentren dentro de la distancia $3H$ de la estructura, que pueden afectar el área equivalente colectiva. (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

Los Coeficientes de Medio Ambiente figuran en la Tabla siguiente:

Tabla 1

Determinación del Coeficiente C1 ambiental

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE C1 AMBIENTAL	
UBICACIÓN RELATIVA DE LA ESTRUCTURA	C1
Estructura situada en los espacios que contienen estructuras o árboles de la misma altura o más alto dentro de una distancia de 3H	0.25
Estructura rodeada por estructuras más pequeñas dentro de una distancia de 3H.	0.5
Estructura aislada, sin otras estructuras situadas a una distancia de 3H	1
Estructura aislada en una columna	2

Nota: Adaptado de NFPA 780

Cuando la superficie equivalente colectiva de una estructura, cubre totalmente a otra estructura, dicha estructura se tendrá en cuenta. (“*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,*” 2015)

Cuando las áreas equivalentes colectivas de varias estructuras se superponen, el común correspondiente se considera como una sola área equivalente colectiva. (“*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,*” 2015)

3.3.1.4. Cálculo de la frecuencia de descargas tolerables (Nc).

La frecuencia de descargas tolerable (Nc), es una medida para calcular el riesgo o daño a la estructura, incluyendo factores de riesgos que afectan a la estructura de manera directa, como el medio ambiente y la pérdida monetaria (de bienes). (“*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,*” 2015)



La frecuencia de descargas tolerables se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$N_c = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{C}$$

Donde:

$$C = C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5$$

Los Valores C se obtiene de las siguientes tablas:

Tabla 2

Determinación de Coeficiente Estructural C₂

DETERMINACION DE COEFICIENTE ESTRUCTURAL C ₂			
ESTRUCTURA	Coeficientes Estructurales C ₂		
	TECHO METALICO	TECHO NO METALICO	TECHO INFLAMABLE
Metálica	0.5	1.0	2.0
No Metálica	1.0	1.0	2.5
Inflamable	2.0	2.5	3.0

Nota: Adaptado de NFPA 780



Tabla 3

Determinación del Contenido de la Estructura Coeficiente C3

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA COEFICIENTE C_3	
CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA	C_3
Bajo valor y no inflamable	0.5
Valor normado y no inflamable	1.0
De alto valor, la inflamabilidad moderada	2.0
Valor excepcional, inflamables, equipo electrónico especial	3.0
Valor excepcional, insustituible con bienes culturales	4.0

Nota: Adaptado de NFPA 780

Tabla 4

Determinación del Contenido de la Estructura Coeficiente C4

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA COEFICIENTE C_4	
OCUPACION DE ESTRUCTURA	C_4
Desocupado	0.5
Normalmente ocupado	1.0
Dificultad para evacuar o riesgo de pánico	3.0

Nota: Adaptado de NFPA 780

Tabla 5

Determinación del Contenido de la Estructura Coeficiente C5

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA COEFICIENTE C_5	
OCUPACION DE ESTRUCTURA	C_5
La continuidad de los servicios de instalación no es necesaria, sin impacto ambiental	1.0
La continuidad de los servicios de instalación es necesaria, con poco impacto ambiental	5.0
Consecuencias para el medio ambiente	10

Nota: Adaptado de NFPA 780

3.3.2. Selección del Nivel de Protección

La frecuencia de descargas tolerable (N_c) se compara con la frecuencia de descargas esperadas (N_d). El resultado de esta comparación se utiliza para decidir si es necesario un sistema de protección contra descargas atmosféricas. (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

Si $N_d \leq N_c$, un sistema de protección contra descargas atmosféricas (LPS) puede ser opcional. (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

Si $N_d > N_c$, debe se instalado un sistema de protección contra descargas atmosféricas y recibir un tratamiento completo. (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

Si se requiere un sistema de protección contra descargas atmosféricas, este deberá instalarse de acuerdo con los requisitos de esta norma. Además, los requisitos legales y reglamentarios para la instalación del sistema de protección

contra descargas atmosféricas tendrán prioridad, sobre los resultados de esta evaluación. (“*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,*” 2015)

Cuando un sistema de protección contra descargas atmosféricas ya está instalado, las siguientes medidas de protección adicionales, también deben ser consideradas: (“*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,*” 2015)

- Las medidas que limitan la tensión de contacto.
- Las medidas que limitan la propagación.
- Las medidas que limitan las tensiones inducidas.
- Las medidas para reducir los efectos inducidos por los rayos a equipo electrónico sensible, como equipos de hospitales, centros informáticos, etc.

Figura 12

Determinación de los Sistemas de Protección

DETERMINACION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION					
DATOS DE ENTRADA		CALCULO		RESULTADO	
	Equivalente colectiva zona $Ae = LW + 6H(L + W) + \pi 9H^2$ Para una estructura Rectangular	L		m	Ae =
		W		m	
		H		m	
		H ²		m ²	
	área colectiva equivalente para una estructura, en la que una parte prominente abarca todas las partes de la parte inferior de la estructura $Ae = \pi H^2$	H		m	Ae =
Frecuencia que un rayo esperado, golpee a la estructura $Nd = (Ng)(Ae)(C1)(10^6)$		Ng	=		Nd = 0
		Ae	=		
		C1	=		
Frecuencia de descargas tolerable a la estructura $Nc = (1.5 \times 10^{-3}) / C$ Donde: $C = (C2)(C3)(C4)(C5)$		C2	=		Nc =
		C3	=		
		C4	=		
		C5	=		
Si $Nd \leq Nc$, un LPS puede ser opcional. Si $Nd > Nc$, un LPS debe ser instalado.		DETERMINACIÓN, SE DECIDE QUE			

Elaboración propia

La eficiencia necesaria E_c : está determinada por la siguiente ecuación:

$$E_c = 1 - N_c / N_d$$

Es la relación entre el número promedio anual de rayos directos que pueden causar daños en una estructura y el número de impactos de rayos directos en esa estructura.

Después de determinar la eficiencia requerida, se seleccionará el nivel de protección adecuado.

Figura 13

Nivel de la Eficacia Necesaria

NIVEL DE LA EFICACIA NECESARIA ($E_c=1-N_c/N_d$)					
DATOS DE ENTRADA		EFICACIA CALCULADA	NIVEL DE PROTECCIÓN	EFICACIA	NIVEL A SER CONSIDERADO
Frecuencia de descargas tolerables a la estructura	Nc		I	95 al 98%	
	Nd		II	90 al 95%	
Frecuencia que un rayo esperado golpee a la estructura			III	80 al 90%	
			IV	Menor al 80%	

Elaboración Propia

3.3.2.1. Zona de protección

En Norteamérica, los equipos y estructuras se clasifican según sus necesidades de protección contra Descargas Atmosféricas. Referencia: ANSI/NFPA.

PRIMERA CLASE. - Las estructuras de esta clase, requieren de poca o ninguna protección. El requisito es que verdaderamente estén conectados a tierra.

Ejemplos de esta clase son:

- Todas las estructuras metálicas excepto tanques u otras estructuras que contengan materiales inflamables.
- Tanques de agua, silos y estructuras similares, construidas mayormente de metal.
- Astas banderas construidas de algún material conductor.



SEGUNDA CLASE. - Esta clase consiste de edificios con cubierta conductora y estructura no conductora, tal como edificios con cubierta metálica. Este tipo requiere de conductores para conectar la cubierta a electrodos en la tierra.

TERCERA CLASE. - Esta clase consiste de edificios con estructura metálica y cubierta no conductora. Este tipo requiere de terminales aéreas conectadas a la estructura y fuera de la cubierta para actuar como terminales pararrayos.

CUARTA CLASE. - Esta clase consiste de estructuras no metálicas, que requieren una protección. Se incluyen en esta clase:

- Edificios de madera, piedra, ladrillo u otros materiales no conductores, sin elementos de refuerzo metálicos.
- Chimeneas. Aún con elementos de refuerzo, éstas deben tener una gran protección contra rayos, con terminales aéreas, cables de bajada y electrodos de aterrizado.

QUINTA CLASE. - Una quinta clase consiste de aquellas cosas cuya pérdida puede ser de consecuencias, y que normalmente recibe un tratamiento pararrayos completo, incluyendo terminales aéreas, cables de bajada y electrodos de aterrizado. Entre éstas están:

- Edificios de gran valor estético, histórico o intrínseco.
- Edificios conteniendo combustibles o materiales explosivos.
- Estructuras conteniendo sustancias que pueden ser peligrosas si se derraman como consecuencia de una descarga.
- Tanques o conjuntos de tanques.
- Plantas de energía y estaciones de bombeo.



- Líneas de transmisión.
- Subestaciones eléctricas.

3.4. MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE PARARRAYOS

Para desarrollar los cálculos del Sistema de Pararrayos en el área donde se instalará el establecimiento, y teniendo bien determinado el nivel y la zona de protección necesario, de acuerdo con la NFPA-780 2020, se requiere de la siguiente información:

- Dimensiones de la Estructura
- Posición Geográfica de la estructura determinando si se encuentra: Aislada, en la cima de una montaña, junto con otras construcciones más altas u otras más bajas.
- Frecuencia de ocupación de la estructura por personas.
- Riesgos de pánico.
- Dificultad de acceso.
- Cantidad de servicio.
- Contenido de la estructura.
- Forma e inclinación de los techos.
- Naturaleza del techo.

3.4.1. Determinación del Método de Cálculo a Emplear

Los métodos recomendados por la NFPA-780/2020 son:

- El método de la esfera giratoria de Golde.
- El principio del mástil según Franklin.
- El principio de la jaula electrostática según Faraday.

Según las condiciones descritas anteriormente y teniendo en cuenta el nivel de cerámico y características protectoras, se utilizará: “El método de la esfera giratoria o rodante”, el cual se deriva de los modelos Electro geométricos.

3.4.1.1. El método de la esfera giratoria o rodante.

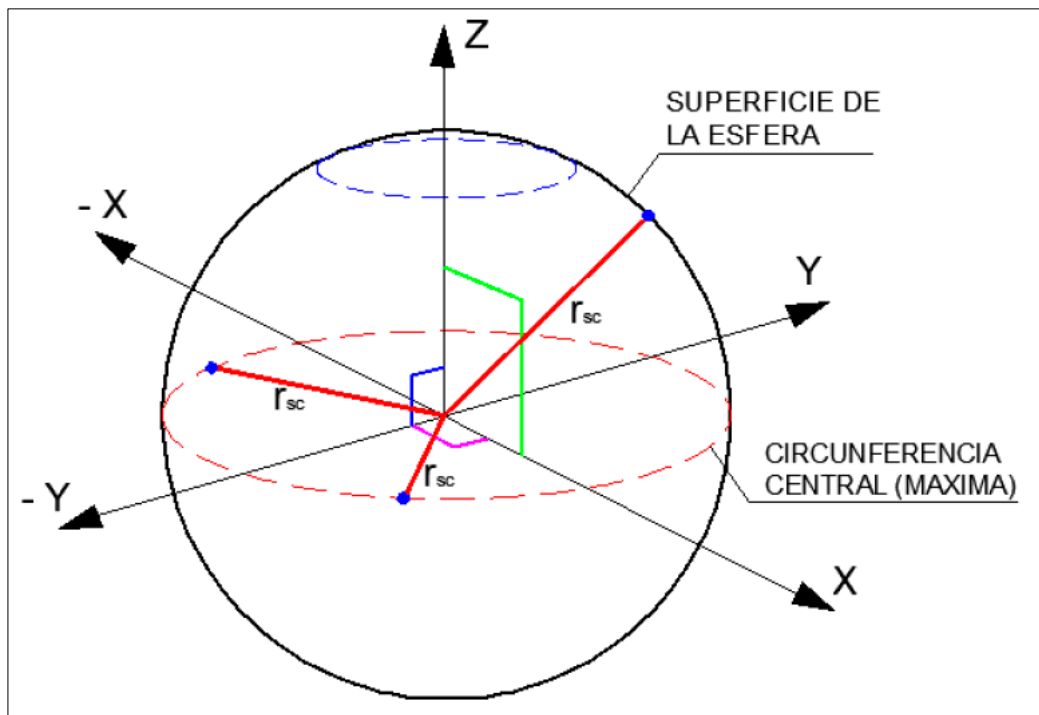
En el campo de la protección eléctrica, existe un método de protección eléctrica de edificios contra una descarga atmosférica (protegiendo contra rayos), llamado método electro geométrico o método de la esfera rodante; Hasta ahora, el método de la esfera rodante ha sido realizado gráficamente, lo que significa que grafica las condiciones de protección de acuerdo con los planos escalados, pero no en forma analítica y para los ingenieros, es necesario tener un modelo matemático que le permita. Determinar el comportamiento del sistema de protección, sin tener que preocuparse por las limitantes de escala o planimetría. Por esta razón, este trabajo tiene como objetivo crear un conjunto de ecuaciones que permitan a los ingenieros electricistas calcular la topología de un sistema de protección contra descargas atmosféricas (rayos), permitiendo la verificación matemática y sus gráficos de diseño. (Mora Martínez, 2017)

La metodología de la esfera rodante es una derivación del método electro geométrico, este método consiste en imaginar una esfera de radio igual a la distancia de impacto rodando sobre los volúmenes de las estructuras a proteger contra rayos. (Mora Martínez, 2017)

Este radio r_{sc} es calculado de la misma manera que en el método electro geométrico, aunque es muy común tomar un radio de 150 pies o 45.72 metros, para nuestro proyecto se tomara un radio de la circunferencia de 30m.(Mora Martínez, 2020)

Figura 14

Corte transversal de una esfera, que describe una circunferencia

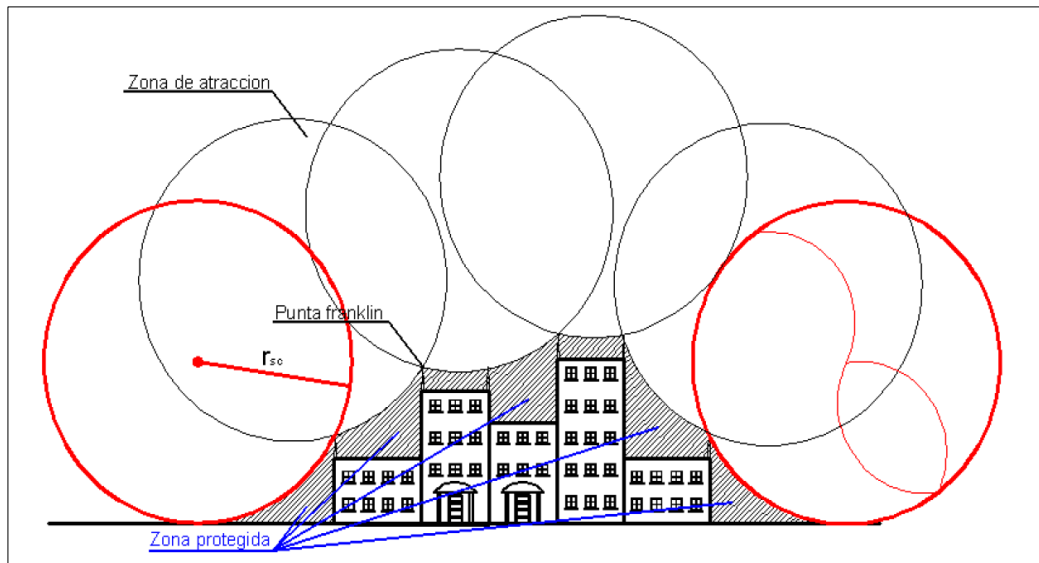


Nota: Adaptado de NFPA 780

En la figura siguiente se aprecia como se hace rodar una esfera sobre toda la estructura de una edificación de varios niveles, esta esfera debe rodar haciendo contacto solo en las puntas de los terminales de captación y final mente terminar en el suelo sin hacer contacto con la estructura, creando así, un área de protección que cubre completamente la edificación. El método de la esfera rodante no solo debe aplicarse a lo largo de la edificación, sino que también debe aplicarse a lo ancho de la estructura a proteger.(Mora Martínez, 2017)

Figura 15

Aplicación del método de la esfera rodante



Nota: Adaptado de Aplicación del método de la esfera rodante según la norma NFPA 780 a una estructura compuesta

Este tipo de método se emplea de forma gráfica, sobre planos, pero este trabajo se propone encontrar un modelo matemático consistente en un conjunto de ecuaciones que le permitan al ingeniero electricista el diseño de apantallamientos por el método de la esfera rodante utilizando tan solo la geometría analítica, la trigonometría y el cálculo algebraico. Y de esta manera sea capaz de determinar el tamaño del área protegida bajo la esfera y en qué posición deben estar ubicados los pararrayos para cubrir un área determinada que cumpla con las condiciones requeridas por el diseñador. (Mora Martínez, 2017)

En el presente proyecto se analizarán los diferentes casos que se presentan en la realidad al momento de diseñar un apantallamiento, esto con el fin de encontrar un conjunto de ecuaciones que permita calcular analíticamente cada una de las variables tenidas en cuenta al momento de diseñar. (Mora Martínez, 2020)

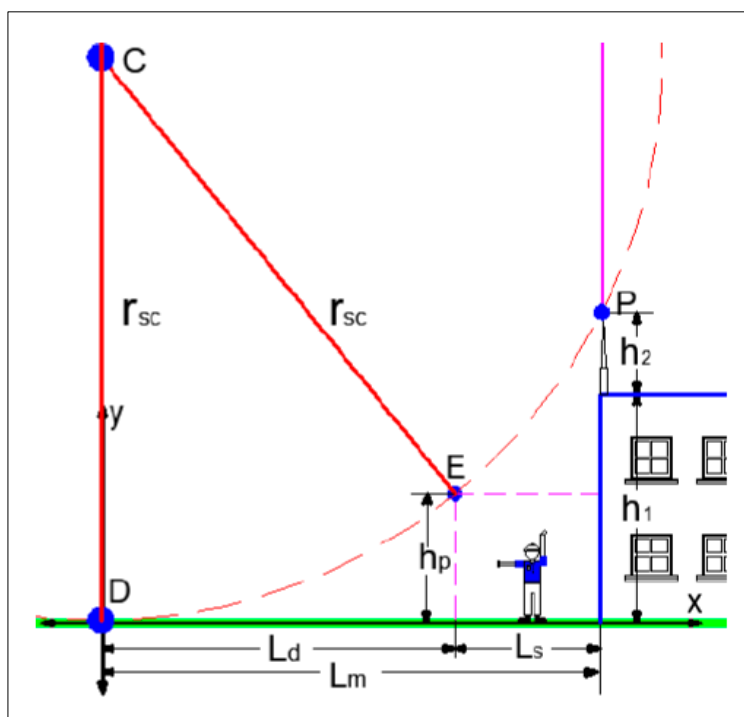
Considerando que la esfera rodante cuenta con una circunferencia de diámetro máximo desde el centro de la misma que rodea todo el ecuador de la esfera, los cálculos se simplificarán al tomar esta circunferencia como base de cálculo ya que al hacer contacto con alguna de las puntas captadoras lo hará en un punto que en algún momento será el diámetro máximo. Esta simplificación no hará que pierda efectividad el método ya que la esfera desde su centro hasta cualquier punto de la superficie esférica tendrá un radio de " r_{sc} ".(Mora Martínez, 2017)

3.4.1.2. Conceptos para el caso 1

El caso 1 es el que se presenta cuando la esfera rodante hace contacto en el suelo y una punta de captación ubicada en un extremo del establecimiento.(Mora Martínez, 2020)

Figura 16

Altura protegida h_p



Nota: Adaptado de (Mora Martínez, 2017)



En donde:

- L_m : es la separación de impacto, es decir, la distancia máxima de separación entre la edificación y el punto del suelo que tiene más probabilidad de recibir un impacto de un rayo. (Mora Martínez, 2020)
- L_d : es la separación de diseño que es la distancia entre el punto de impacto y el área segura. (Mora Martínez, 2020)
- L_s : es la distancia protegida que es el ancho de la zona segura junto a la edificación. (Mora Martínez, 2020)
- h_p : es la altura protegida que es la altura de la zona segura junto a la edificación. (Mora Martínez, 2020)
- h_1 : es la altura de la edificación sobre la que está instalado el pararrayos (o la punta captadora) (Mora Martínez, 2020)
- h_2 : es la altura del pararrayos o el tamaño del pararrayos. (Mora Martínez, 2020)

Separación de impacto:

$$L_m = \sqrt{2(h_1 + h_2)r_{sc} - (h_1 + h_2)^2}$$

Separación de diseño:

$$L_d = \frac{L_m}{(1 + fs)}$$

Separación Protegida:

$$L_s = L_m - L_d$$

Altura Protegida:

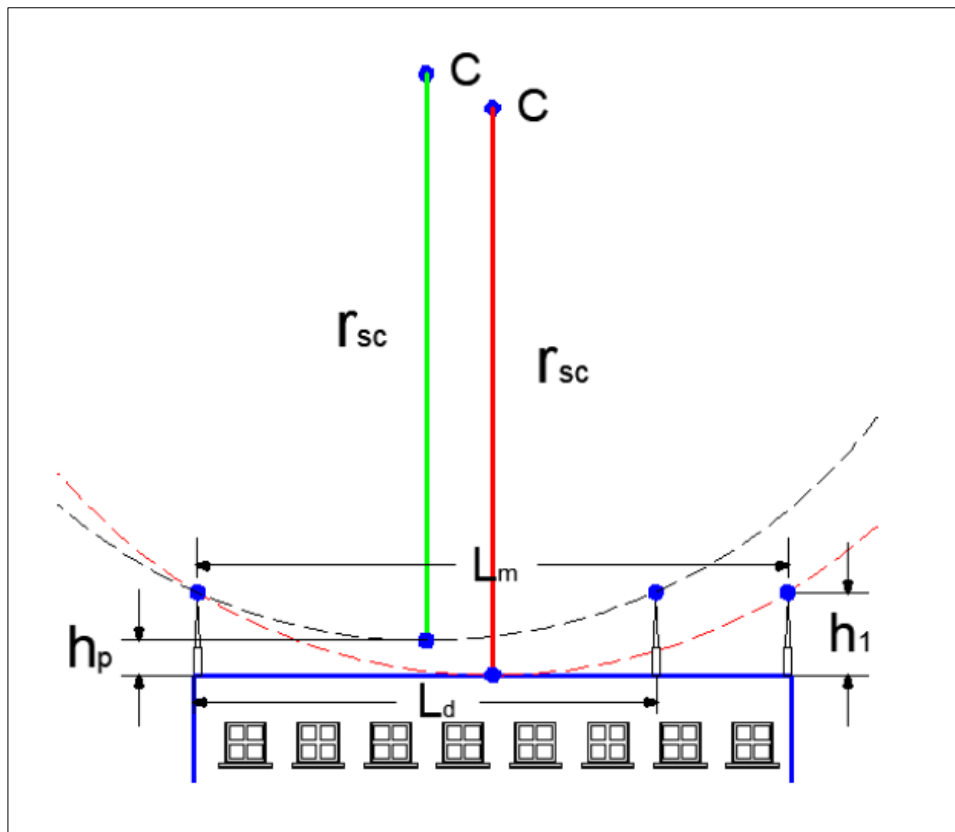
$$hp = -\sqrt{r_{sc}^2 - Ld^2} + r_{sc}$$

3.4.1.3. Conceptos para el caso 2

El caso 2 es el que se presenta cuando la esfera rodante hace contacto en la parte superior de dos puntas de captación ubicada a la misma altura sobre el establecimiento. (Mora Martínez, 2020)

Figura 17

Altura protegida y separación protegida en superficies



Nota: Adaptado de (Mora Martínez, 2017)

En donde:

- L_m : es la separación de impacto, es decir, la distancia máxima de separación entre los pararrayos que permiten que un rayo haga impacto en un punto de la edificación. (Mora Martínez, 2017)
- L_d : es la separación de diseño que es la separación entre los pararrayos que al ubicarlos a dicha distancia entre si crean una zona segura entre la esfera rodante y la edificación. (Mora Martínez, 2017)
- h_p : es la altura protegida que es la altura de la zona segura justo entre el punto más bajo de la esfera rodante y la edificación. (Mora Martínez, 2017)
- h_1 : es la altura del pararrayos o el tamaño del pararrayos. (Mora Martínez, 2017)

Separación de Impacto:

$$L_m = 2\sqrt{2(h_1)(r_{sc}) - (h_1)^2}$$

Separación de Diseño:

$$L_d = \frac{L_m}{(1 + fs)}$$

Altura Protegida:

$$h_p = h_1 + \sqrt{r_{sc}^2 - \left(\frac{L_d}{2}\right)^2} - r_{sc}$$

CAPÍTULO IV

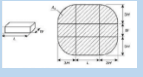
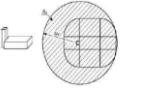

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Determinación del nivel de protección

Figura 18

Determinación de los Sistemas de Protección por tablas en Excel

DETERMINACION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION					
DATOS DE ENTRADA		CALCULO			RESULTADO
 <p>Equivalente colectiva zona $Ae = LW + 6H(L + W) + \pi 9H^2$ Para una estructura Rectangular</p>	L		m	Ae = 0	
	W		m		
	H		m		
	H ²		m ²		
 <p>área colectiva equivalente para una estructura, en la que una parte prominente abarca todas las partes de la parte inferior de la estructura $Ae = \pi H^2$</p>	H	15	m	Ae = 706.86	
<p>Frecuencia que un rayo esperado, golpee a la estructura $Nd = (Ng)(Ae)(C1)(10^6)$</p>	Ng	=	1.18	Nd = 0.00083409	
	Ae	=	706.86		
	C1	=	1		
<p>Frecuencia de descargas tolerable a la estructura $Nc = (1.5 \times 10^{-3}) / C$ Donde: $C = (C2)(C3)(C4)(C5)$</p>	C2	=	1	Nc = 0.00005	
	C3	=	3		
	C4	=	1		
	C5	=	10		
Si $Nd \leq Nc$, un LPS puede ser opcional. Si $Nd > Nc$, un LPS debe ser instalado.		DETERMINACIÓN, SE DECIDE QUE 			SI, COLOCAR PARARRAYOS

Elaboración propia

El índice de riesgo nos dice si $Nd > Nc$, se debe instalar un sistema de protección contra descargas atmosféricas y debe recibir un tratamiento completo.

(*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

El análisis final dio como resultado: $0.00083409 > 0.00005$, que de acuerdo con NFPA-780, se debe instalar un sistema de protección contra descargas atmosféricas. (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

4.1.2. Determinación de la eficiencia necesaria

La eficiencia necesaria E_c : está determinada por la siguiente ecuación:

$$E_c = 1 - N_c/N_d$$

$$E_c = 94.01\%$$

Determinada la Eficiencia necesaria se elige el respectivo nivel de protección.

Figura 19

Nivel de la Eficacia Necesaria

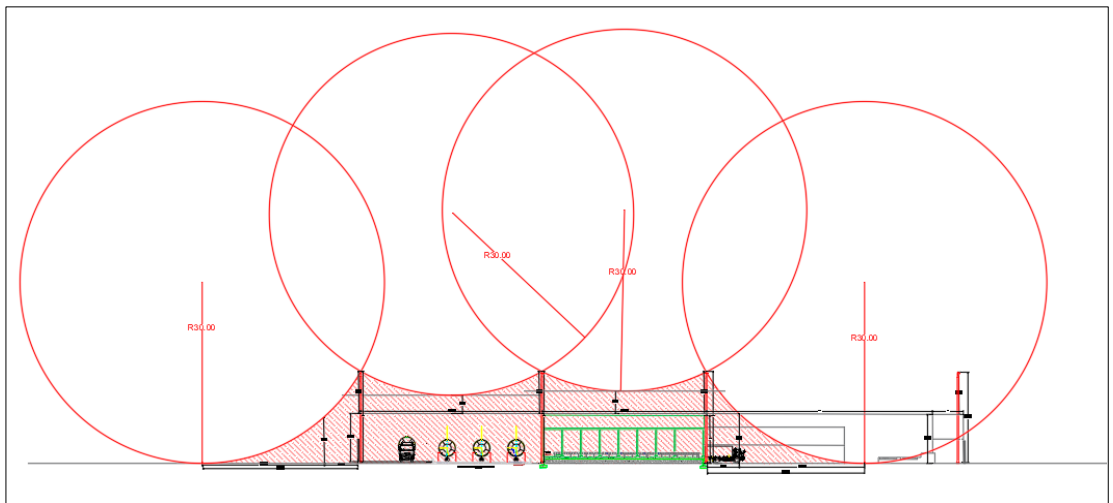
NIVEL DE LA EFICACIA NECESARIA ($E_c=1-N_c/N_d$)						
DATOS DE ENTRADA			EFICACIA CALCULADA	NIVEL DE PROTECCION	EFICACIA	NIVEL A SER CONSIDERADO
Frecuencia de descargas tolerable a la estructura	Nc	0.00005	94.01%	I	95 AL 98 %	--
				II	90 AL 95 %	NIVEL II
Frecuencia que un rayo esperado, golpee a la estructura	Nd	0.000834095		III	80 AL 90 %	--
				IV	MENOR AL 80 %	--

Elaboración propia

Se conocen las dimensiones de la edificación, se conoce la altura del pararrayos que es 15.00m y se ha calculado que el Nivel de riesgo es II, lo que significa que la esfera rodante tendrá un radio de 30 metros. La esfera rodante se trasladaría sobre la estructura de la siguiente manera:

Figura 20

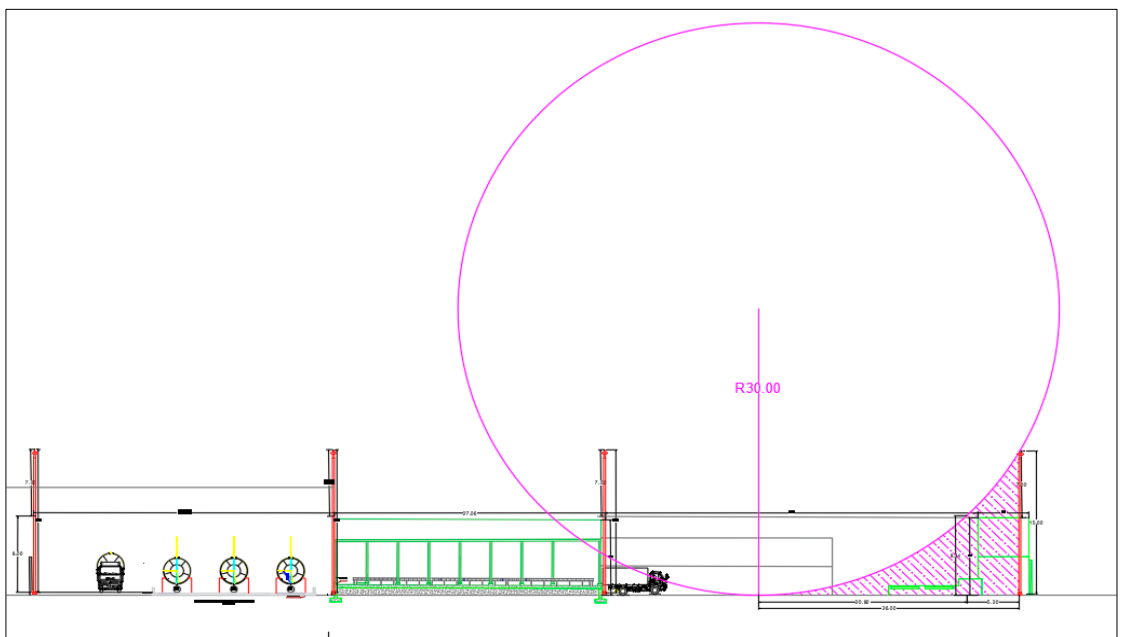
Instalación eléctrica de cuatro pararrayos – Vista lateral



Elaboración propia

Figura 21

Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral



Elaboración propia



4.1.3. Cálculo de la sección lateral izquierda

$$h_1 = 8.00 \text{ m}$$

$$h_2 = 7.00 \text{ m}$$

$$r_{sc} = 30.00 \text{ m}$$

Factor de Seguridad, $fs = 25\% = (0,25)$

- Separación de impacto:

$$Lm = \sqrt{2(h_1 + h_2)r_{sc} - (h_1 + h_2)^2}$$

$$Lm = \sqrt{2(8 + 7)30 - (8 + 7)^2}$$

$$Lm = \sqrt{900 - 225}$$

$$Lm = 25 \text{ m}$$

- Separación de diseño:

$$Ld = \frac{Lm}{(1 + fs)}$$

$$Ld = \frac{25}{(1 + 0.25)}$$

$$Ld = \frac{25}{1.25}$$

$$Ld = 20 \text{ m}$$

- Separación Protegida:

$$Ls = Lm - Ld$$

$$Ls = 25 \text{ m} + 20 \text{ m}$$

$$Ls = 5 \text{ m}$$

- Altura Protegida:

$$hp = -\sqrt{r_{sc}^2 - Ld^2} + r_{sc}$$

$$hp = -\sqrt{30^2 - 20^2} + 30$$

$$hp = -\sqrt{900 + 400} + 30$$

$$hp = -\sqrt{500} + 30$$

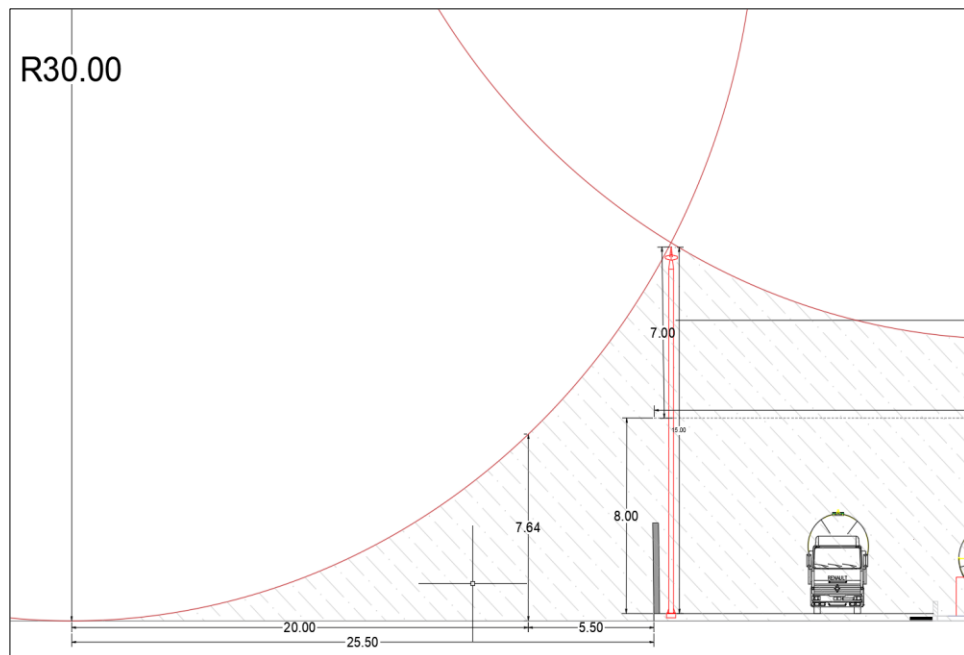
$$hp = -22.36 + 30$$

$$hp = 7.64 \text{ m}$$

Todos los resultados se muestran en la siguiente figura:

Figura 22

Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral



Elaboración Propia



4.1.4. Cálculo de la selección superior izquierda (tanques de almacenamiento y cisterna de abastecimiento):

$$h_1 = 7.00 \text{ m}$$

$$r_{sc} = 30.00 \text{ m}$$

$$\text{Factor de Seguridad, } fs = 25\% = (0,25)$$

- Separación de Impacto:

$$Lm = 2\sqrt{2(h_1)(r_{sc}) - (h_1)^2}$$

$$Lm = 2\sqrt{2(7)(30) - (7)^2}$$

$$Lm = 2\sqrt{(430) - (49)}$$

$$Lm = 38.5 \text{ m}$$

- Separación de Diseño:

$$Ld = \frac{Lm}{(1 + fs)}$$

$$Ld = \frac{38.5}{(1 + 0.25)}$$

$$Ld = \frac{38.5}{1.25}$$

$$Ld = 30.8 \text{ m}$$

$$Ld = \text{real en planta } 30.0 \text{ m}$$

Considerando que la separación de diseño es de 30.0 m, se tomara para el diseño una separación entre electrodos de máximo de 30.8 metros y este valor se utilizara para el cálculo de la altura protegida.

- Altura Protegida:

$$hp = h_1 + \sqrt{r_{sc}^2 - \left(\frac{Ld}{2}\right)^2} - r_{sc}$$

$$hp = 7 + \sqrt{30^2 - \left(\frac{30}{2}\right)^2} - 30$$

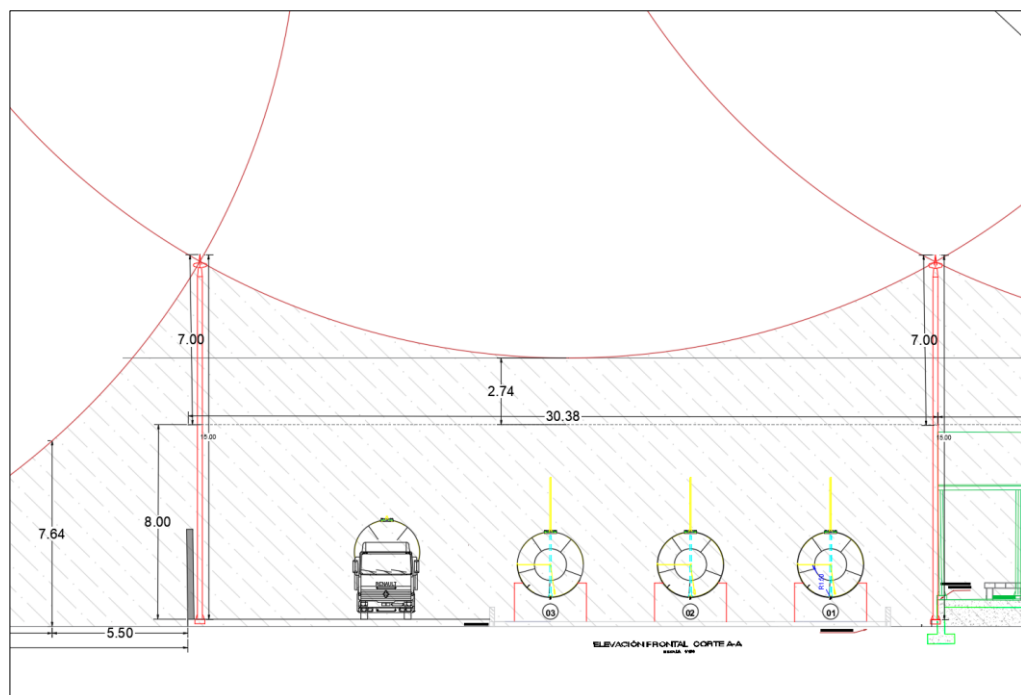
$$hp = 7 + \sqrt{900 - 237.2} - 30$$

$$hp = 2.98 \text{ m} \approx 3.00 \text{ m}$$

Todos los resultados se muestran en la siguiente figura:

Figura 23

Instalación eléctrica de dos pararrayos – Vista lateral



Elaboración propia

4.1.5. Cálculo de la sección central (plataforma de envasado)

$$h_1 = 7.00 \text{ m}$$

$$r_{sc} = 30.00 \text{ m}$$

$$\text{Factor de Seguridad, } fs = 25\% = (0,25)$$

- Separación de Impacto:

$$Lm = 2\sqrt{2(h_1)(r_{sc}) - (h_1)^2}$$

$$Lm = 2\sqrt{2(7)(30) - (7)^2}$$

$$Lm = 2\sqrt{(430) - (49)}$$

$$Lm = 38.5 \text{ m}$$

- Separación de Diseño:

$$Ld = \frac{Lm}{(1 + fs)}$$

$$Ld = \frac{38.5}{(1 + 0.25)}$$

$$Ld = \frac{38.5}{1.25}$$

$$Ld = 30.8 \text{ m}$$

$$Ld = \text{real en planta } 27.0 \text{ m}$$

Considerando que la separación de diseño es de 27.0 m, se tomara para el diseño una separación entre electrodos de máximo de 30.8 metros y este valor se utilizara para el cálculo de la altura protegida.

- Altura Protegida:

$$hp = h_1 + \sqrt{r_{sc}^2 - \left(\frac{Ld}{2}\right)^2} - r_{sc}$$

$$hp = 7 + \sqrt{30^2 - \left(\frac{27}{2}\right)^2} - 30$$

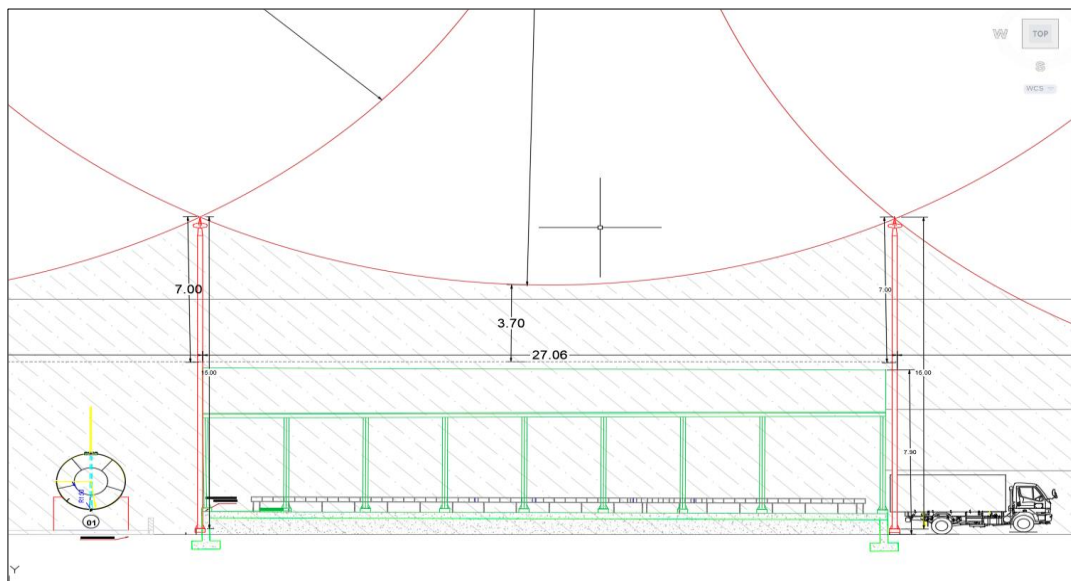
$$hp = 7 + \sqrt{900 - 182.25} - 30$$

$$hp = 3.7 \text{ m}$$

Todos los resultados se muestran en la siguiente figura:

Figura 24

Instalación eléctrica de dos pararrayos de 7m de altura – Vista lateral



Elaboración Propia

4.1.6. Cálculo de la Sección Lateral Derecha (Patio de Maniobras)

$$h_1 = 8.00 \text{ m}$$

$$h_2 = 7.00 \text{ m}$$



$$r_{sc} = 30.00 \text{ m}$$

$$\text{Factor de Seguridad, } fs = 25\% = (0,25)$$

- Separación de Impacto:

$$Lm = \sqrt{2(h_1 + h_2)r_{sc} - (h_1 + h_2)^2}$$

$$Lm = \sqrt{2(8 + 7)30 - (8 + 7)^2}$$

$$Lm = \sqrt{900 - 225}$$

$$Lm = 25 \text{ m}$$

- Separación de diseño:

$$Ld = \frac{Lm}{(1 + fs)}$$

$$Ld = \frac{25}{(1 + 0.25)}$$

$$Ld = \frac{25}{1.25}$$

$$Ld = 20 \text{ m}$$

- Separación Protegida:

$$Ls = Lm - Ld$$

$$Ls = 25 \text{ m} - 20 \text{ m}$$

$$Ls = 5 \text{ m}$$

- Altura Protegida:

$$hp = -\sqrt{r_{sc}^2 - Ld^2} + r_{sc}$$

$$hp = -\sqrt{30^2 - 20^2} + 30$$

$$hp = -\sqrt{900 + 400} + 30$$

$$hp = -\sqrt{500} + 30$$

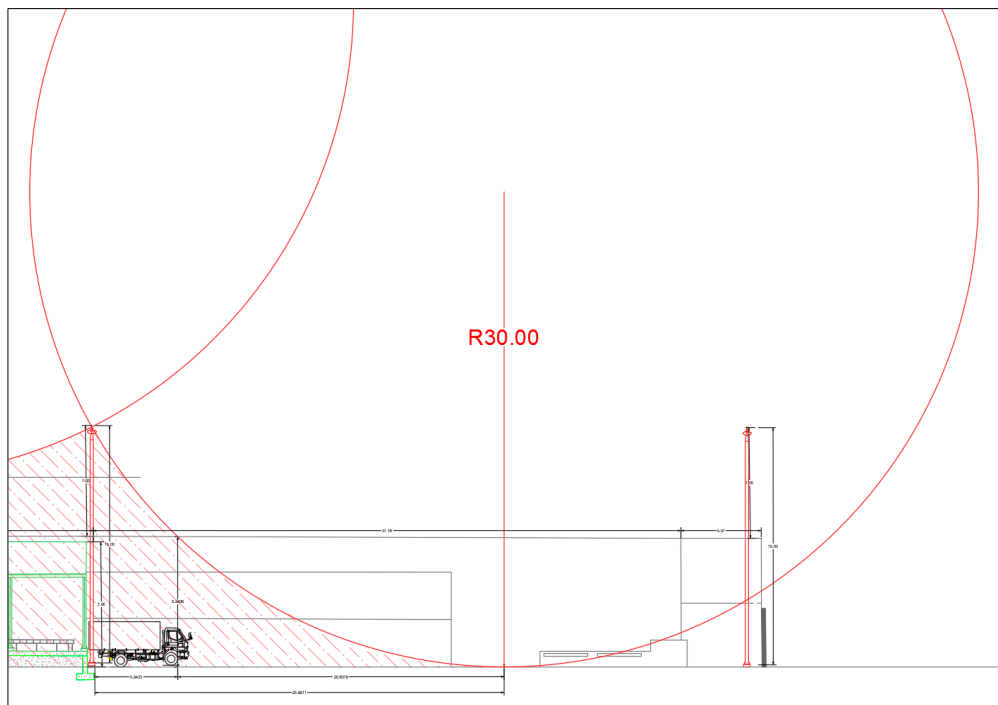
$$hp = -22.36 + 30$$

$$hp = 7.64 \text{ m}$$

Todos los resultados se muestran en la siguiente figura:

Figura 25

Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral



Elaboración propia

De los cálculos efectuados para los pararrayos N°2, N°3 y N°4, se determina que la ubicación de estos, cumple con proteger las instalaciones de la planta envasadora básicamente para la Zona de tanques de almacenamiento, zona de descarga de camiones cisterna, Plataforma de envasado y patio de maniobras o



zona de carga y descarga de camiones distribuidores. Estos pararrayos tendrán una altura de instalación común de 15m.

Para el caso del Pararrayos N°1, este actuara de manera independiente para proteger las áreas o zonas como: Cuarto de Bombas del Sistema Contra Incendios, Sal de Tableros, Almacén General y Cuarto de Máquinas, los cálculos para este pararrayos se efectúan de la siguiente manera.

4.1.7. Cálculo de la Sección Lateral Derecha e Izquierda (Cuarto De Bombas SCI, Salada De Tableros, Almacén Y Sala De Máquinas)

$$h_1 = 8.13 \text{ m}$$

$$h_2 = 7.00 \text{ m}$$

$$r_{sc} = 30.00 \text{ m}$$

$$\text{Factor de Seguridad, } fs = 25\% = (0,25)$$

- Separación de Impacto:

$$Lm = \sqrt{2(h_1 + h_2)r_{sc} - (h_1 + h_2)^2}$$

$$Lm = \sqrt{2(8.13 + 7)30 - (8.13 + 7)^2}$$

$$Lm = \sqrt{907.8 - 228.9}$$

$$Lm = 26.05 \text{ m}$$

- Separación de diseño:

$$Ld = \frac{Lm}{(1 + fs)}$$



$$Ld = \frac{26.05}{(1 + 0.25)}$$

$$Ld = \frac{26.05}{1.25}$$

$$Ld = 20.84 \text{ m}$$

- Separación Protegida:

$$Ls = Lm - Ld$$

$$Ls = 26.05 \text{ m} + 20.84 \text{ m}$$

$$Ls = 5.20 \text{ m}$$

- Altura Protegida:

$$hp = -\sqrt{r_{sc}^2 - Ld^2} + r_{sc}$$

$$hp = -\sqrt{30^2 - 20.84^2} + 30$$

$$hp = -\sqrt{900 + 434.3} + 30$$

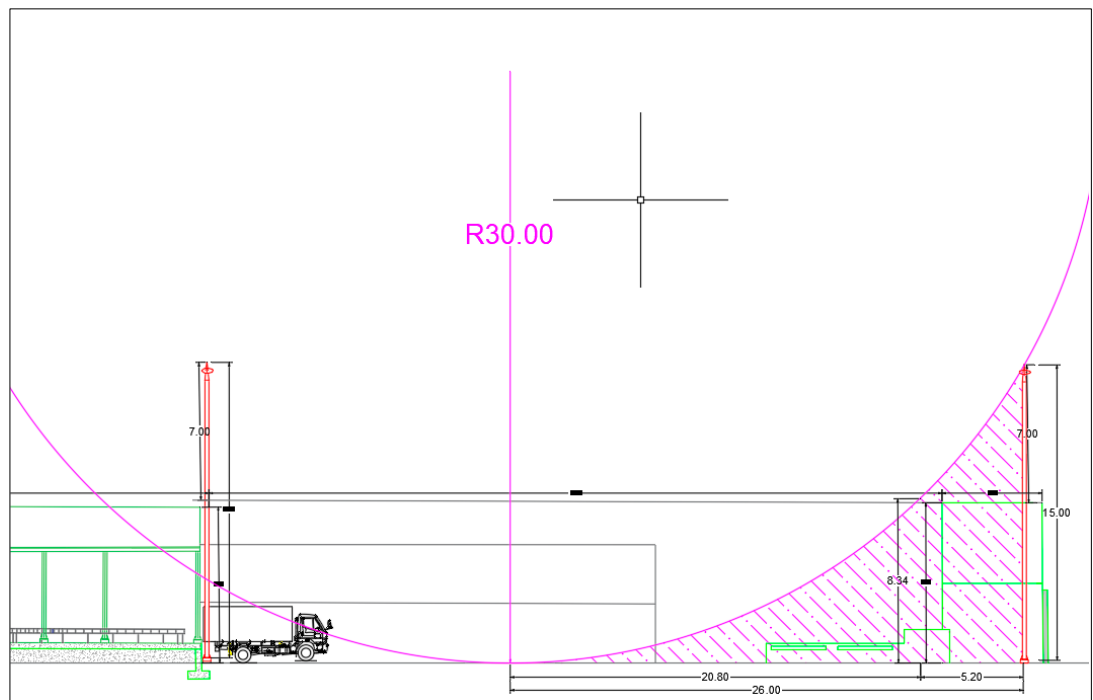
$$hp = -\sqrt{465.69} + 30$$

$$hp = -21.86 + 30$$

$$hp = 8.13 \text{ m}$$

Figura 26

Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral



Elaboración propia

De los cálculos efectuados para el pararrayo N°1, se determina que la ubicación de este, cumple con proteger las instalaciones de la planta envasadora básicamente para la Zona de: Cuarto de Bombas del Sistema Contra Incendios, Sala de Tableros, Almacén General y Cuarto de Máquinas. Este pararrayos tendrá una altura de instalación de 15m, al igual los demás pararrayos a instalarse al interior del establecimiento.

4.2. DISCUSIÓN

De acuerdo a los cálculos realizados para el sistema de protección contra descargas atmosféricas que se aplicó acorde a las indicaciones de la norma NFPA 780, se llegó a determinar la Selección de Pararrayos y el sistema de captación para la protección de la planta envasadora de GLP.



4.2.1. Selección de Pararrayos a Utilizar

Selección del pararrayos: De acuerdo con el plano Ceraúnico del Perú, Elaborado por el Osinergmin, el valor promedio de la densidad de incidencia de descargas electroestáticas es de 15; con los resultados del Índice de Riesgos $0.000834095 > 0.0.00005$ ($N_d > N_c$), debemos instalar un sistema contra descargas atmosféricas; y de acuerdo a la Información que proporciona el Plano de Distribución Para el Establecimiento, nos indica que se debe proteger un área total de $5,700.00 \text{ m}^2$, específicamente el área donde se instalaran los el S.T.E. y la Zona de Envasado.

Se selecciona un Sistema Integral de pararrayos tipo Dipolo Corona el cual nos garantiza de acuerdo a datos de proveedor un radio de protección de 30 metros, a una altura mínima de 10 metros; soporta una corriente de 40,000 Amperes, diseñado para conducir descargas atmosféricas periódicas, sin deterioro y sin necesidad de mantenimiento, se compone de: (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

- Anillo equipotencial.
- Disco Dieléctrico con excitador Toroidal.
- Varilla de descarga.
- Adaptador Concéntrico.
- Zapata de conexión.
- Se recomienda utilizar este sistema con un electrodo para tierra física calibre 1/0 AWG como mínimo, de la misma marca que el pararrayos.



4.2.2. Para el Sistema de Captación

De acuerdo a la clasificación de áreas que menciona la ANSI/NFPA, el área, donde se instalara la Planta de Envasado de GLP, se engloba dentro de la Quinta Clase por lo que debe recibir un tratamiento completo para la selección de un sistema de pararrayos, incluyendo el cálculo del índice de riesgo. (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)

El índice de riesgo nos dice si un sistema de protección contra descargas atmosféricas debe ser instalado o no usando el criterio de si $N_d > N_c$ se debe instalar, o de lo contrarios este es opcional; el análisis final dio como resultado: $0.000834095 > 0.0005$, de acuerdo con NFPA-780-2020, se debe instalar un sistema de (*“Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos,”* 2015)Calculo Para Sistema de Pararrayos,” 2015)

Por el nivel isocerámico de la zona (15), la clasificación del área y la información proporcionada, se recomienda la colocación de un Sistema captador de Descargas Atmosféricas tipo Dipolo Corona, que de acuerdo a los datos técnicos del proveedor tiene un cono de protección con radio de 30 m a una altura de 11m., Y que cumple con IEC 61024-1. 1990-03 "Protección de estructuras contra los rayos. Parte 1: principios generales", así como también cumple con la NFPA-780/2020.

Los cuatro pararrayos determinados en esta memoria de cálculo, Se deberán instalar en un mástil sumado la punta Dipolo Corona que nos da una altura total de 15.00 m; el proveedor nos dice que el cono de protección forma un ángulo de 72° , y como resultado tenemos un radio de protección de 46.15 m.



Con este radio de protección, se realiza una proyección en el área a proteger y nos da como resultado la colocación de 4 puntas como mínimo, para garantizar la protección de toda el área donde se instalarán los principales componentes del Proyecto entre otros las zonas de tanques y plataforma de envasado.

4.2.3. Para el Conductor Bajante y Sistema de Puesta a Tierra

La selección del cable de pararrayos debe cumplir con lo descrito en la Tabla 4.1.1.1.(A) de la NFPA 780/2020, “Requisitos mínimos de los materiales Clase I, (siempre que la estructura proteger no exceda los 23 metros de altura), en cuanto a flexibilidad y resistencia mecánica del conductor, la correcta selección del calibre, la sujeción de este a la estructura y todos los accesorios adicionales, y con todo lo descrito en las NTP, para pararrayos.

Por lo cual se recomienda usar como electrodo de descarga cable desnudo calibre 1/0 AWG, tipo trenzado como mínimo, recomendado por el proveedor.

4.2.4. Mantenimiento

El responsable del establecimiento, objeto de la protección, debe coordinar un programa de mantenimiento del sistema propuesto y/o instalado, con la empresa que lo instale, este mantenimiento se deberá de realizar según lo normado por la NFC 17-102 y/o NTP, bajo las siguientes condiciones:

Tabla 6

Cuadro de mantenimientos

NIVEL DE PROTECCION	VERIFICACION VISUAL (AÑOS)	VERIFICACION COMPLETA (AÑOS)	VERIFICACION COMPLETA DE LOS SISTEMAS CRITICOS (AÑOS)
I Y II	1	2	1
III Y IV	2	4	1

NOTA: Los Sistemas (S-PCD), empleados en estructuras con riesgo de explosión deberían verificarse visualmente cada 6 meses. Los ensayos eléctricos de la instalación deberían realizarse una vez al año.

Una excepción aceptable al ensayo anual programado, sería realizar los ensayos en un ciclo de 14 a 15 meses, si se considera ventajosos ensayar las resistencias de puesta a tierra en distintas épocas del año para tener una indicación de su variación con las estaciones del año.

Nota: Tomado de la Norma NFC 17-102



V. CONCLUSIONES

- Se ha diseñado el sistema de protección contra descargas atmosféricas aplicando el método de la esfera rodante para una planta envasadora de GLP de 5700 m², ubicada en el distrito de Calapuja
- Se identificó y evaluó el área que contempla la planta envasadora de GLP, considerando primordialmente la vida, salud e integridad del personal que laboraría y/o transitaría dentro del establecimiento. En segundo lugar, los componentes instalados en las áreas de la planta envasadora, también contarán con la debida protección.
- Se evaluaron los requerimientos técnicos para la elaboración del sistema de protección en el cual se utilizó el método de la esfera rodante, porque garantiza la protección del establecimiento. Se instalarán cuatro pararrayos “Tetra puntales di polo corona”, con un mástil de 15 metros de acuerdo a los cálculos obtenidos mediante la norma NFPA 780.



VI. RECOMENDACIONES

- Tener información precisa sobre uso, almacenamiento, costo y tipo de instalación para saber si se necesita protección atmosférica o no.
- Colocar la cantidad necesaria de pararrayos para cubrir completamente el establecimiento que se desea proteger.
- No elevar demasiado el pararrayos porque disminuirá su nivel de protección y aumentarán los costes de instalación.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTEPROY-M1-NRF-048-PEMEX. (2007). *DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS*.
- Flores Guerrero, R. (2019). *DISEÑO DE PROTECCIONES ATMOSFÉRICAS EXTERNAS SEGÚN NORMAS NFPA 780-CASO EDIFICIO “E”-UDEP*.
- Huancollo Huancollo, B. G. (2018). *ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EVITAR AVERÍAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE 5 kVA A CAUSA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN EL DISTRITO DE DESAGUADERO*.
- Landeo Mallasca, J. C. (2023). *ANÁLISIS DEL DISEÑO DE APANTALLAMIENTO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN CHUPACA*. <https://fieceunp.edu.pe>
- Lujan Bravo, J. J. J. (2018). *ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO BASADOS EN LAS RECOMENDACIONES DE LA NFPA 780 PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA UBICADO A LA INTEMPERIE MEDIANTE PARARRAYOS TIPO FRANKLYN*.
- Mansilla Yanqui, J. G. (2021). *Desarrollo del sistema de pararrayo tipo PDC con cebado no electrónico ubicado en Huamanga distrito de Vinchos Ayacucho en el centro poblado Parjawilka basado en la Norma UNE 21186:2011*.
- “*Memoria de Calculo Para Sistema de Pararrayos*.” (2015). 1–22.
<https://pdfcoffee.com/memoria-de-calculo-para-sistema-pararrayos-pdf-free.html>
- Mora Martínez, J. (2017). *Deducción De Las Ecuaciones Que Permitan Determinar Analíticamente La Ubicación segura de Un Conjunto De Pararrayos En Edificaciones*.
- Mora Martínez, J. (2020). *Deducción De Las Ecuaciones Que Permitan Determinar La Ubicación segura de Un Conjunto De Pararrayos En*



Edificaciones o Estructuras con Cúpula Semiesférica Utilizando El Método De La Esfera Rodante.

Moreno Zarate, L. E. (2018). *MODELADO DE SISTEMA DE TIERRA PARA EL ANALISIS DE TRANSITORIOS ELECTROMAGNETICOS DEBIDOS A DESCARGAS ATMOSFERICAS.*

NFPA 780. (2020). *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems.*
www.nfpa.org.

NRF-036-PEMEX. (2003). *CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PELIGROSAS Y SELECCIÓN DE EQUIPO ELÉCTRICO.*

Oscanoa Guadalupe, W. R. (2020). *METODOLOGÍA DE UBICACIÓN DE PARARRAYOS PARA OPTIMIZAR SU DISTRIBUCIÓN EN LA LINEA DE TRANSMISIÓN MOLLEPATA - CANGALLO 69 kV.*



ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica del pararrayo punta dipolo corona a utilizar

Descripción:

- Creada para proteger contra descargas atmosféricas en lugares donde se requiera un proyecto integral de puntas tradicionales.
- Asegura que las descargas atmosféricas sean capturadas por la red de puntas instaladas, dirigiendo la energía a través de la red de conductores instalados para llegar a tierra; evitando daños a las personas y desperfectos en los circuitos eléctricos.
- Asegura la capacidad de conducir corriente ideal para descargas atmosféricas. Las puntas cumplen con las normas NMX-549-ANCE-2005 y NOM-001-SEDE-2012 La punta de pararrayos modelo TGTDPC Dipolo consta de 4 piezas; una punta, un anillo equipotencial, una extensión y un disco dieléctrico con excitador toroidal.

Características:

- La punta pararrayos Total Ground modelo TGTDPC Dipolo está diseñada con un pequeño mástil (extensión), que ayuda a la unión eléctrica entre el anillo equipotencial y el disco dieléctrico, generando el efecto corona; y otra pieza en la parte superior (punta) que funciona como punto de concentración de energía, aumentando el valor de densidad de corriente.
- Este modelo de punta de pararrayos TGTDPC Dipolo está fabricado en aluminio y el disco dieléctrico.
- No requiere de mantenimiento preventivo.



- No requiere de mano de obra especializada para su instalación.

Aplicaciones:

- Centros de trabajo
- Ingenios
- Torres de telecomunicaciones
- Residencias
- Oficinas
- Plazas
- Hotelería
- Naves Industriales
- Postes de CCTV
- Industria en general



RADIO FRECUENCIA Y PUESTA A TIERRA, S.A. DE C.V.



FICHA TÉCNICA



RADIO FRECUENCIA Y PUESTA A TIERRA, S.A. DE C.V.

FICHA TÉCNICA DIPOLO CORONA

ANILLO EQUIPOTENCIAL

TOROIDE EXITADOR

ANILLO DE AISLAMIENTO

BARRA DE DESCARGA

BUSHING

CONECTOR

MARCA: GROUNDTEC

La punta de la Barra de Descarga, combinada con el Anillo Equipotencial y el Exitador Toroidal, forman una ionización del Pararrayos que permite que el ángulo que forma el cono de protección se amplíe de 45 grados (como la protección del sistema de pararrayos Faraday) a 75 grados. Esto permite que el pararrayos proteja un radio de 3 veces su altura respecto a la horizontal

ETC.	21
10	24
9	27
8	30
7	33

Circuito de la Constitución 15-4
Cumbres del Valle, Tlalnepantla
Estado de México CP 54025

Tels.: +52 55 7089 7380
+ 52 55 7089 7381

ventas@tierrafisica.com.mx
www.tierrafisica.com.mx

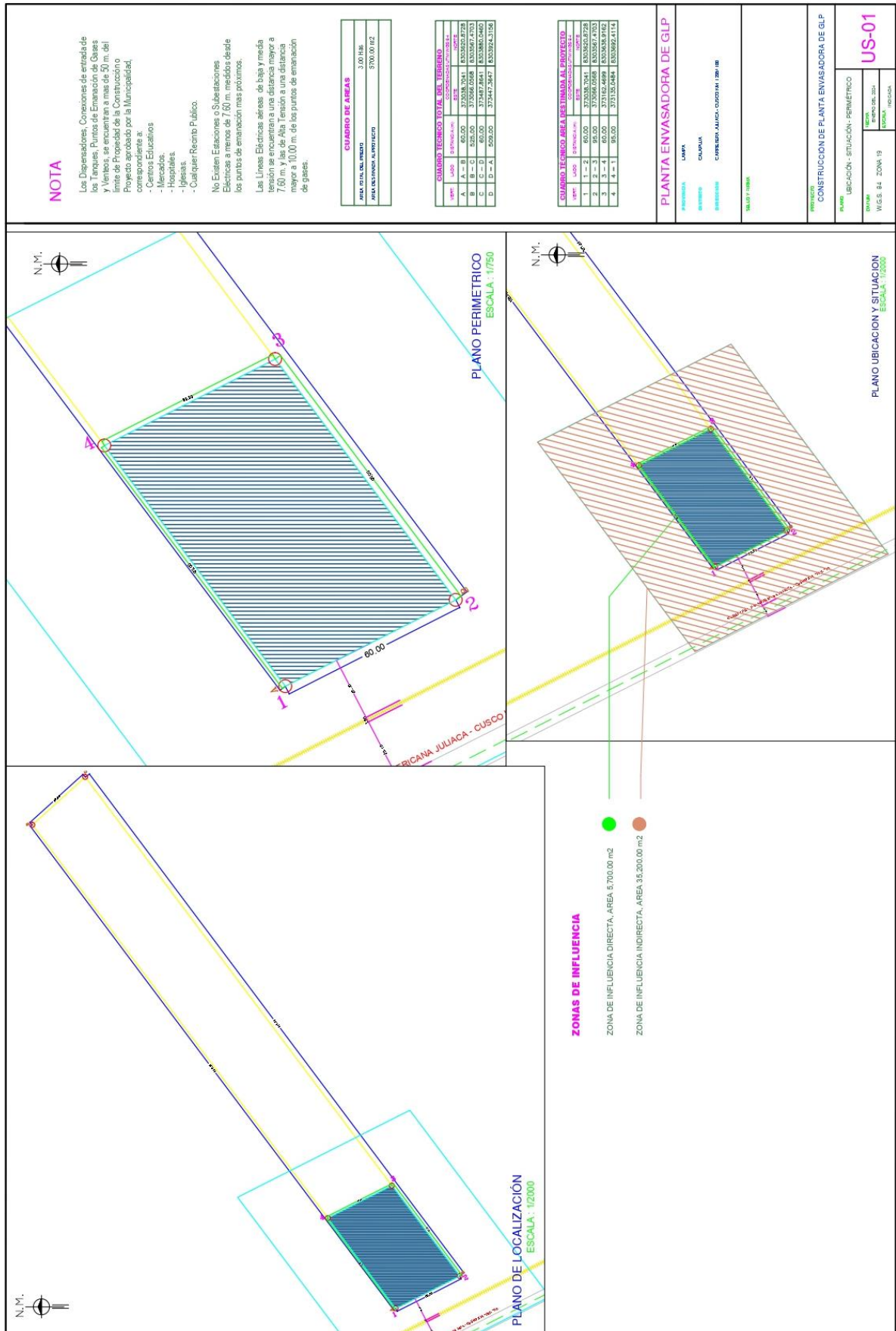


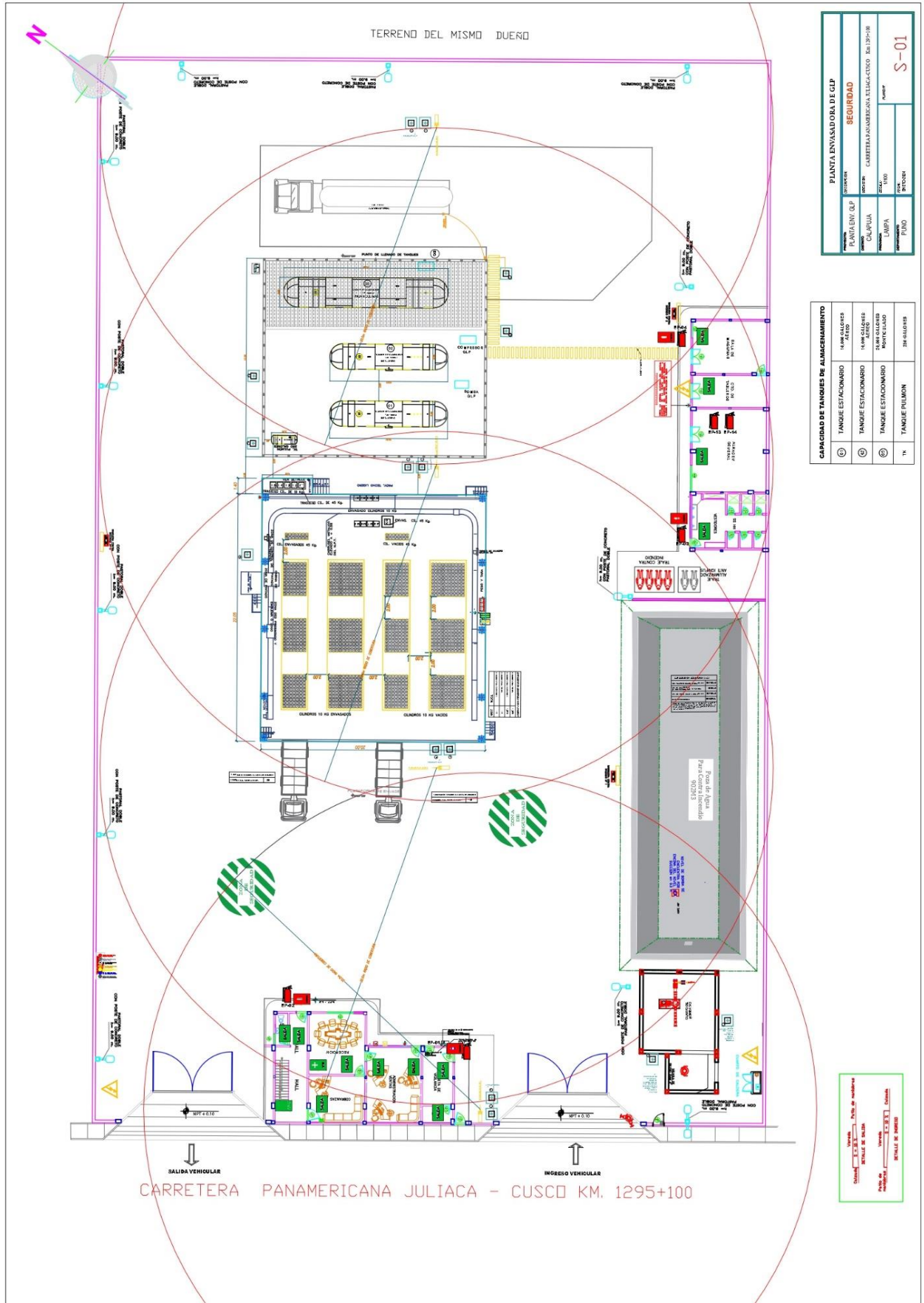
ANEXO 2: Cronograma de ejecución y presupuesto

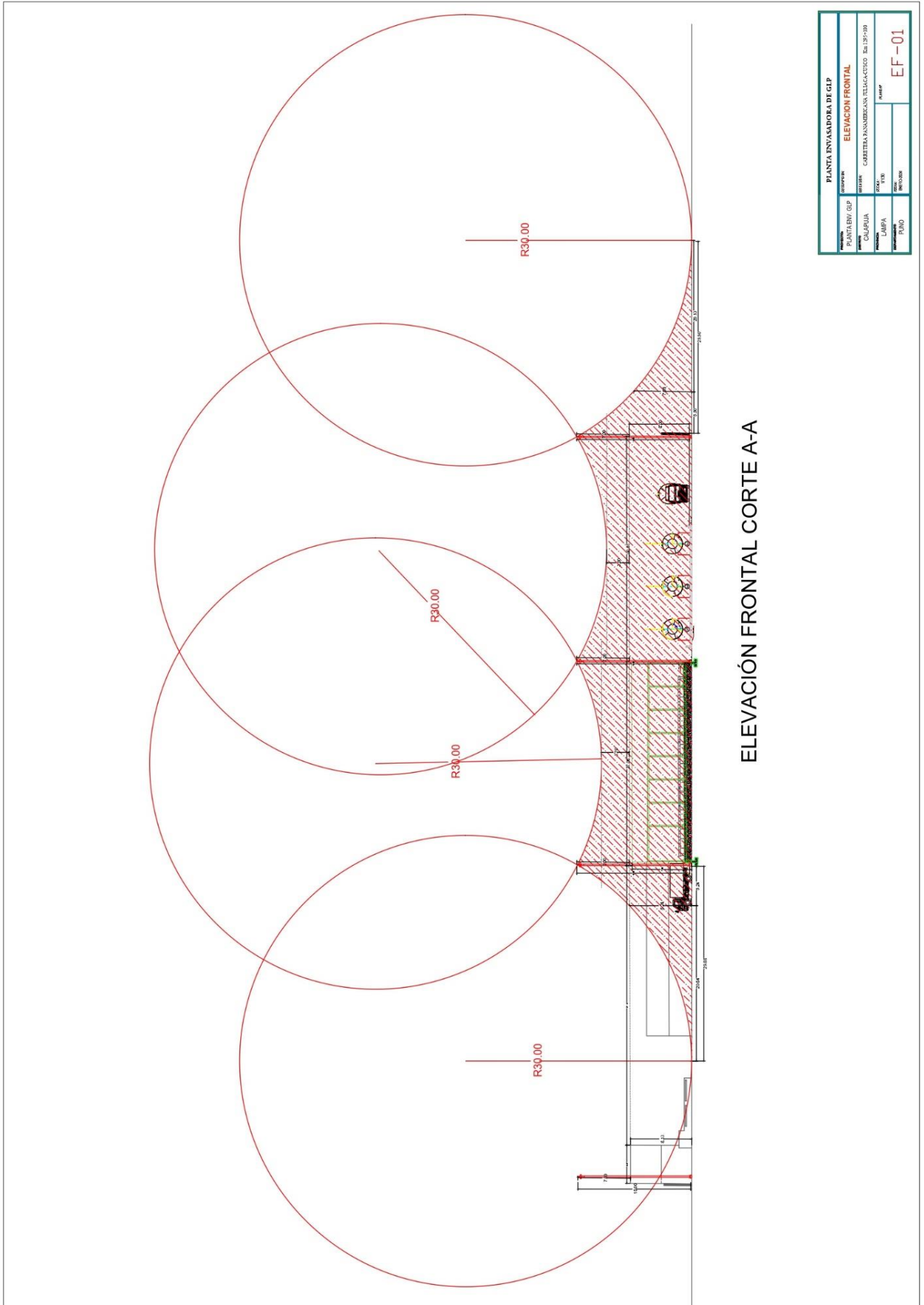
Actividad	semanas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Elaboración del Proyecto	X											
Planeamiento de las Actividades a Desarrollar		X										
Recolección de Datos Sobre el Área del Establecimiento			X	X								
Trabajo de Gabinete					X	X						
Evaluación de Datos Obtenidos							X	X				
Adquisición de Pararrayos Certificados									X			
Instalación de Pararrayos y Puestas a Tierra										X	X	X

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio unitario US\$	Sub total US\$
1	Movilización de equipos y herramientas a la zona de la obra	Glob	1	200.00	200.00
2	Pararrayos Dipolo Corona Tetra puntal	Unidad	4	500.00	2,000.00
3	Mástil de Pararrayos más accesorios	Unidad	4	500.00	2,000.00
5	Obras civiles (excavaciones construcción de fosas canaletas)	Glob	1	200.00	200.00
6	Instalaciones mecánicas	Glob	1	1,000.00	1,000.00
7	Instalaciones eléctricas	Glob	1	500.00	500.00
9	Pintura, acabados, limpieza general	Glob	1	100.00	100.00
11	Desmovilización de equipos y retiro de material sobrante.	Glob	1	200.00	200.00
SUB TOTAL US\$					6,200.00
I.G.V. (18%)					1,116.00
TOTAL					7,316.00

ANEXO 3: Planos

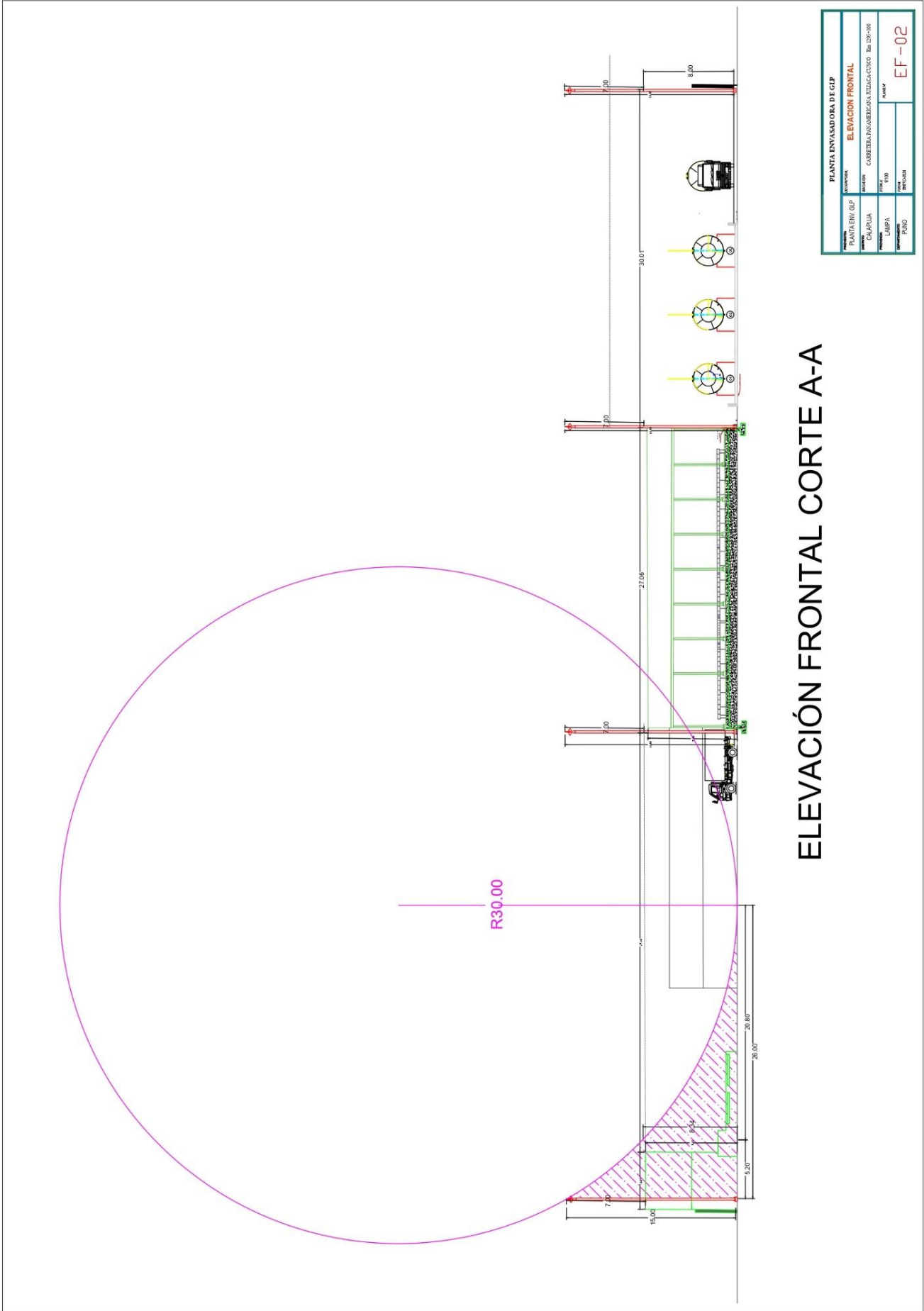






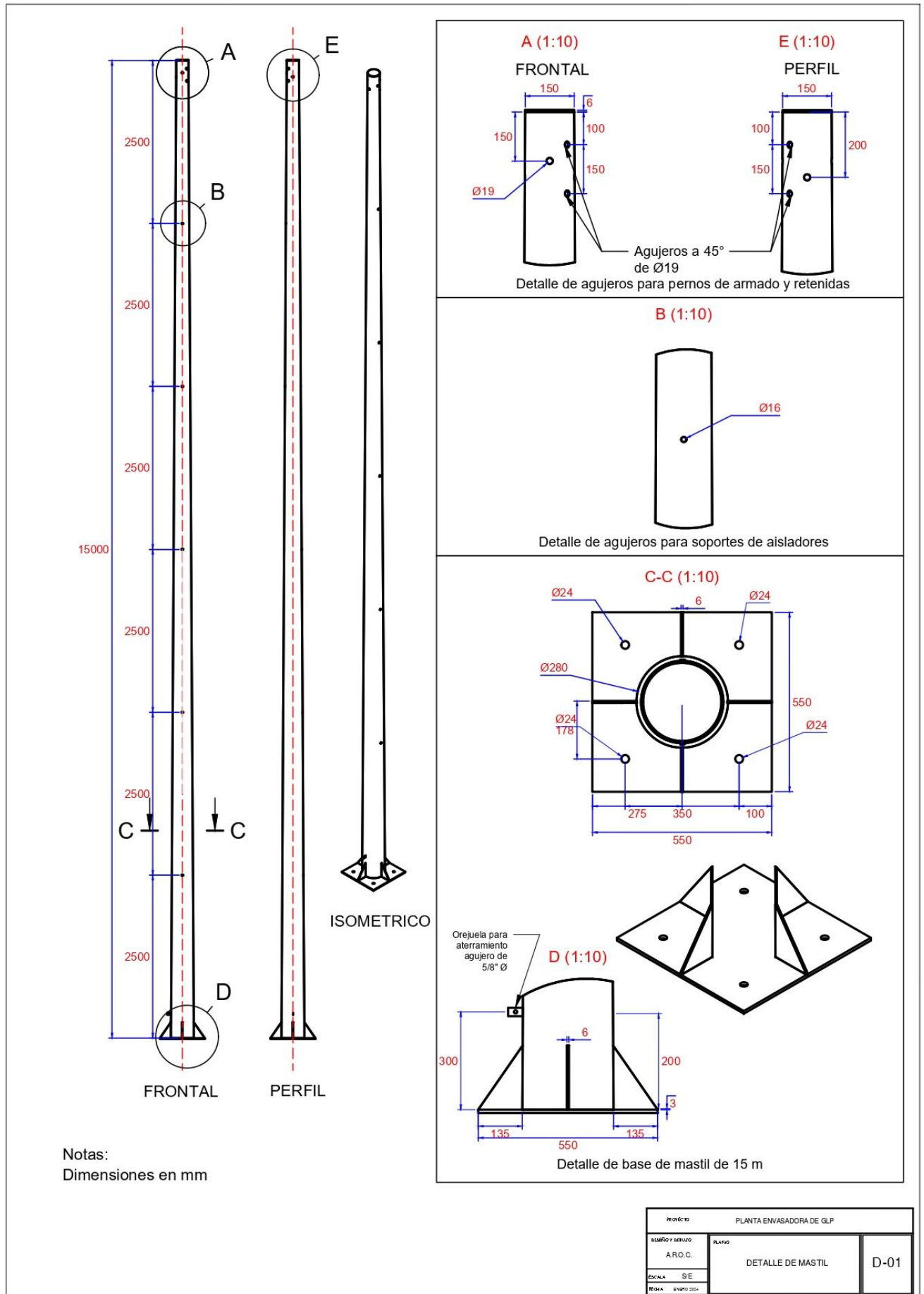
ELEVACIÓN FRONTAL CORTE A-A

PLANTA ENVASADORA DE GLP	
PROYECTO	PLANTA ENVASADORA DE GLP
UBICACION	ELEVACION FRONTAL
PROYECTISTA	CAROLINA ANDRÉS GARCÍA TELLO
PROYECTADO EN	2023
PROYECTADO POR	UNAP
PROYECTADO EN	PERU
PROYECTADO EN	EF-01

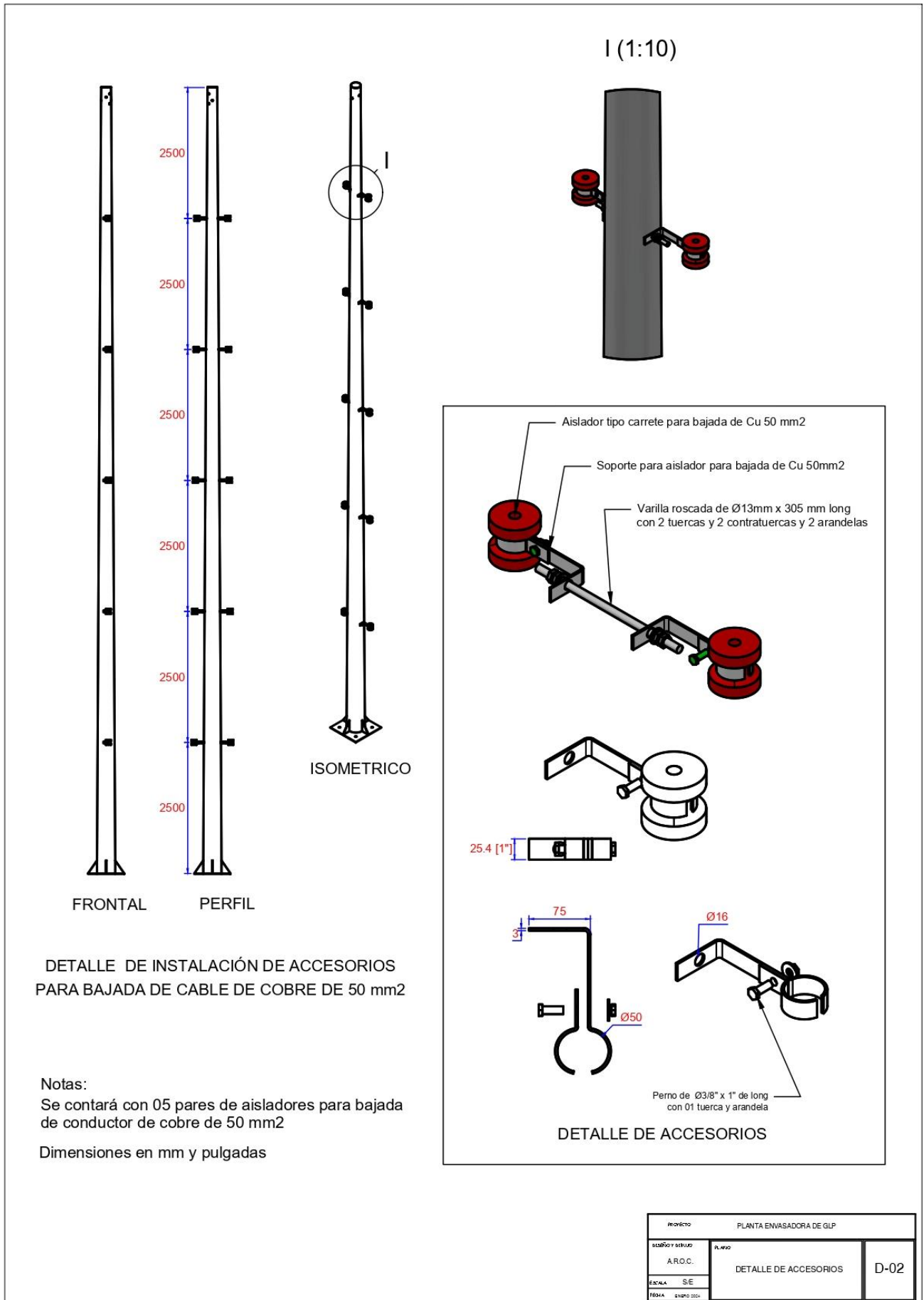


ELEVACIÓN FRONTAL CORTE A-A

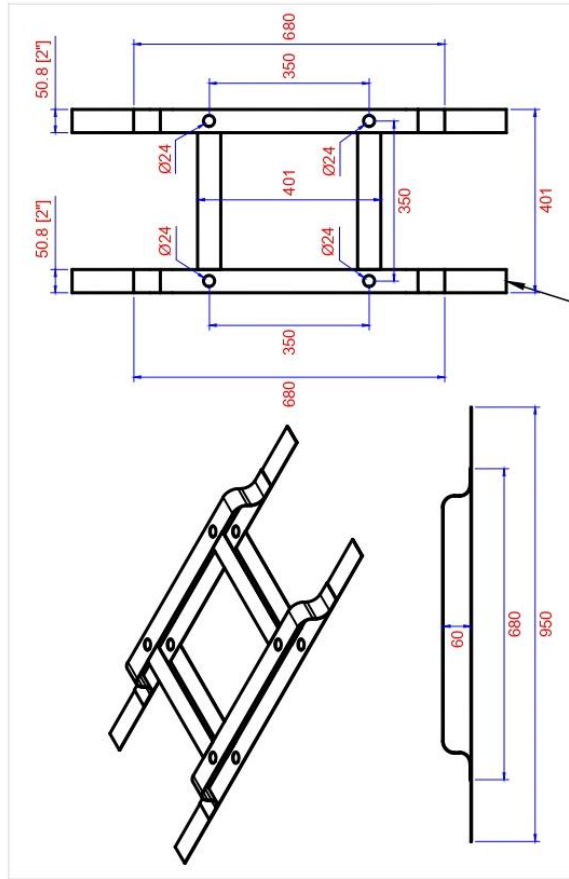
PLANTA ENVASADORA DE GIP	
PROYECTO	PLANTA ENV. GIP
UBICACION	ELEVACION FRONTAL
PROYECTISTA	ALVARO CALAPUJA
CLIENTE	CARETILLA PANAMERICANA TILGAC-CINCO S.A. 1997-99
CIUDAD	LAMPA
PROYECTADO EN	1997
PROYECTADO POR	ALVARO CALAPUJA
EF-02	



PROYECTO	PLANTA ENVASADORA DE GLP		D-01
DISEÑO Y DIBUJO	PLANO		
A.R.O.C.	DETALLE DE MASTIL		
ESCALA	S/E		
REGIA	SINPRO 2008		



Plantilla de instalación de Pernos de anclaje



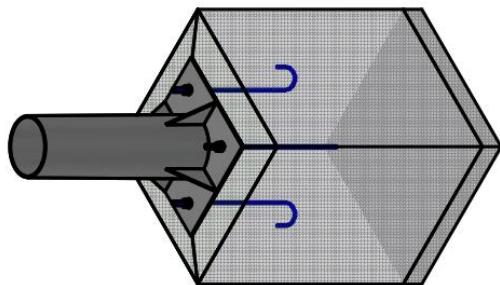
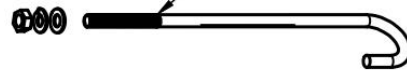
Plantilla de planchas metálicas de 2"x2mm de espesor

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

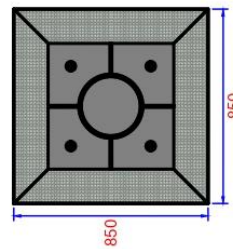
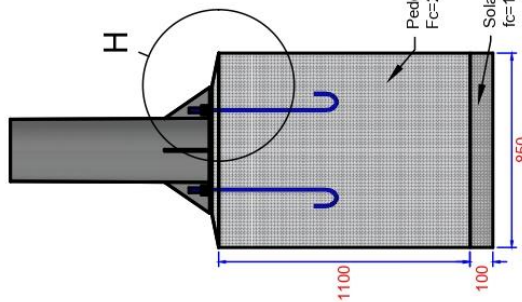
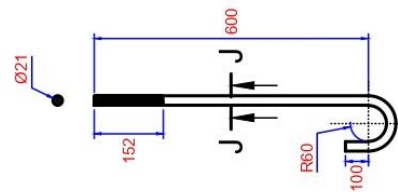
- 1) _ACERO DE REFORZO_ : ACERO ASTM GRADO 60, $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$
- 2) _CEMENTO_ : PORTLAND TIPO IP
- 3) RECURRIMIENTOS : CIMENTACIÓN: 5.0 cm.
- 4) CONCRETOS :
 - 4.1) Pedestal : $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 - 4.2) Solado : $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$

NOTAS :
- BARRAS DE 1/2" RECURRIMIENTO 5.00 cm
- ESTRIBOS DE 1/4"

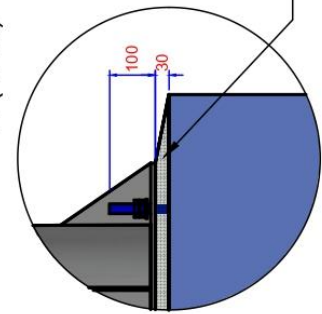
Perno de Anclaje con 1 tuerca
1 arandela plana
1 arandela de presión



J-J (1:10)



H (1:10)



Grout, espesor variable

Proyecto	PLANTA ENVASADORA DE GLP
Usuario	ALMOZ
A.R.O.C.	
Edifica	SE
Revisión	ENFO 001
DETALLE BASE DE MASTIL	
D-03	



ANEXO 4: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **ALAIN RAI OLIVERA CANAHUA**, identificado con DNI: **74658845** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
POR EL METODO DE LA ESFERA RODANTE PARA UNA PLANTA ENVASADORA DE
GLP DE 5700 M2, UBICADA EN EL DISTRITO DE CALAPUJA”**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de enero del 2024

FIRMA



Huella



ANEXO 5: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo **ALAIN RAI OLIVERA CANAHUA**, identificado con DNI: **74658845** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS POR EL METODO DE LA ESFERA RODANTE PARA UNA PLANTA ENVASADORA DE GLP DE 5700 M2, UBICADA EN EL DISTRITO DE CALAPUJA”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de enero del 2024

FIRMA



Huella