TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

JULIACA - PERÚ

2026

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : _____
Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

PRIMER MIEMBRO: _____
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

SEGUNDO MIEMBRO: _____
Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ASESOR DE TESIS : _____
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRICA – P18

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1609-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente **N° 2025 - CU - 12344** presentado por el (la) Bachiller: **WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER,** quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- **Presidente** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
- **1er Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- **2do Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ARTICULO SEGUNDO. – RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN.**

ARTICULO TERCERO. – APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER;** del informe final de la investigación (tesis) titulada: **DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.** de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : jueves 04 de diciembre del 2025
- **HORA** : 14:00 horas
- **LUGAR** : Aula 204 - EPIME

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. César G. Camargo Mejar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1396-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de octubre del 2025

VISTO: El expediente **N° 2025-CU-8585** por el señor (a): **WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO – **N° 888-2025**-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato **N° 036 - 2025** del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER,** ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 036 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN,** presentado por el señor (a): **WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER,** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulada: **DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025** correspondiente a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA,** en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la), **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON.**

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS
Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

DIRECTOR
Dr. Fritz [illegible] Moreni Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 772-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 04 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-5628, presentado por el señor (a) WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO – N° 584-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 030-2025 del integrante del comité de investigación EPIME de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER ha presentado su propuesta de investigación Titulada: DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 030-2025-aprobando la propuesta de investigación titulada: DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulada: DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025 correspondiente a la línea de investigación INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS
Dr. OSCAR V. VIANENTE CALLA
DECANO (e)
CIP 77770

DIRECTOR
Dr. Frita Willy Moreno Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
turnitin Página 1 de 125 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::13016:598612650
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER

DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MED...

Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::13016:598612650

Fecha de entrega
8 jun 2026, 22:30 GMT-5

Fecha de descarga
9 jun 2026, 9:55 GMT-5

Nombre del archivo
T036_45207308_T.docx

Tamaño del archivo
17.3 MB

120 páginas

15.434 palabras

88.484 caracteres

turnitin Página 1 de 125 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::13016:598612650
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

8%	Fuentes de Internet
1%	Publicaciones
4%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Metadatos complementarios - UANCV

DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45207308
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-8485-1248
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
	Presidente del jurado
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
	Miembro del jurado 1
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
	Miembro del jurado 2
Nombres y apellidos	CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA - P18
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca **Coordenadas:** **Latitud**: -15.498781178261632 **Longitud:** -70.13034095473691 **URL:** https://maps.app.goo.gl/tZdA7oHSXZJJcjof9 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2025 – Noviembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://purl.org/pe-repo/ocde/ford	**Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica** https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 **Ingeniería mecánica** https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, **WILLIAMS JEYSSEN ANCCO SANTANDER**, identificado con DNI Nro **45207308** en mi condición de egresado de:

☒ **Escuela Profesional**

☐ **Programa de Segunda Especialidad,**

☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA

---

informo que he elaborado el/la ☒ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación,** ☐ **Trabajo Académico** denominada:

"DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025"

Asesorado por: **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**

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 suyas 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.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca, 12 de **MAYO** del **2026**



Firma del Asesor
(Obligatoria)



Firma del Estudiante
(Obligatoria)



Huella

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que han formado parte de mi vida y me han ofrecido su apoyo incondicional. En especial, a mis hijas, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza en cada proyecto y meta que me he propuesto alcanzar.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por ser mi guía constante, y a mis mentores, quienes con su sabiduría y orientación me han acompañado a lo largo de mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA 1
AGRADECIMIENTO 2
ÍNDICE GENERAL 3
ÍNDICE DE TABLAS 7
ÍNDICE DE FIGURAS 8
RESUMEN 9
ABSTRACT 10
INTRODUCCIÓN 11
CAPITULO I 15
ASPECTOS GENERALES 15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15
1.1.1. Problema General 16
1.1.2. Problemas Específicos 16
1.2. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO 17
1.2.1. Justificación Teórica 17
1.2.2. Justificación Practica 17
1.2.3. Justificación Metodológica 18
1.3. OBJETIVOS 18
1.3.1. Objetivo General 18
1.3.2. Objetivos Específicos 19
1.4. HIPOTESIS 19
1.4.1. hipótesis General 19
1.4.2. hipótesis Específicos 19
1.5. VARIABLES 20
1.6. Operacionalización de variables 21
CAPITULO II 24

MARCO TEORICO 24

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION 24

2.1.1. A nivel internacional 24

2.1.2. A nivel nacional 25

2.1.3. A nivel regional 26

2.2. MARCO TEORICO 26

2.2.1. Protecciones contra descargas atmosféricas 26

2.2.2. Definición técnica 27

2.2.3. Componentes de un SPDA 27

2.2.4. Normas aplicables 28

2.2.5. Importancia en plantas industriales de GLP 29

2.2.6. Diseño del SPDA 29

2.2.7. Aplicación del método de la esfera rodante 33

2.3. Marco conceptual 42

CAPITULO III 44

PROCEDIMIENTO METODOLOGICO 44

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION 44

3.2. TIPO DE INVESTIGACION 44

3.3. METODO APLICADO A LA INVESTIGACION 44

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 45

3.5. POBLACION Y MUESTRA 46

3.6. TECNICAS E INSTRUMNTOS Y FUENTES DE INSTRUMENTOS 47

3.7. PLAN DE RECOPILACION Y PROCEDIMIENTO DE DATOS 47

3.8. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 48

3.9. CONSTRATACION DE HIPOTESIS 50

3.10. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO 51

3.10.1. Confiabilidad del instrumento 51

CAPITULO IV 53

RESULTADOS Y DISCUSIONES 53

4.1. MEMORIA DE CALCULO 53

4.1.1. Densidad anual de rayos 55

4.1.2. Área equivalente colectiva (Ae) 55

4.1.3. Coeficiente Ambiental (C1) 59

4.1.4. Tabulación de la frecuencia de descarga tolerable (Nc). 60

4.1.5. Elección del grado de Protección 63

4.1.6. Zona de protección 66

4.2. MÉTODOS PARA LA TABULACION DEL SISTEMA DE PARARRAYOS 68

4.3. Determinaciones de los Métodos de Tabulación a Emplear 69

4.3.1. Métodos de la esfera giratoria o rodante. 69

4.3.2. Conceptos para el caso 1 72

4.3.3. Conceptos para el caso 2 74

4.4. Determinación del nivel de protección 76

4.4.1. Determinaciones de la eficiencia necesaria (Ec) 78

4.4.2. Tabulación de la sección lateral izquierda 80

4.4.3. Cálculos de las selecciones superior izquierda (cisterna de abastecimiento y tanques de almacenamiento): 82

4.4.4. Cálculos de las secciones central (plataforma de envasado) 84

4.4.5. Tabulación de la Sección Lateral Derecha (Patio de Maniobras) 86

4.4.6. Tabulación de la Sección Lateral Derecha e Izquierda (Salada De Tableros, Cuarto De Bombas SCI, Sala De Máquinas y Almacén) . 89

4.5. DISCUSIÓN 91

4.5.1. Selección de Pararrayos Para Manejar 91

4.5.2. Para el Sistema de Captación 92

4.5.3. Para el Conductor Bajante y Sistema de Puesta a Tierra 94

4.5.4. Mantenimiento 94

CONCLUSIONES 96

RECOMENDACIONES 97

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 98

ANEXOS 100

Anexo 1 Matriz de consistencia..... 101

Anexo 2 Ficha Técnica……..……102

Anexo 3 Planos ……..…..105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Determinaciones del Coeficiente C1 ambiental 59

Tabla 2 Coeficiente Estructural C2 61

Tabla 3 Contenido de la Estructura Coeficiente C3 61

Tabla 4 Contenido de la Estructura Coeficiente C4 62

Tabla 5 Contenido de la Estructura Coeficiente C5 63

Tabla 6 Grado de la Eficacia Necesaria 65

Tabla 7 Corte transversal de una esfera, que describe una circunferencia 71

Tabla 8 Aplicación de los métodos de la esfera rodante 71

Tabla 9 Altura protegida hp 73

Tabla 10 Sistema de Protección por tablas en Excel 76

Tabla 11 Nivel de la Eficacia Necesaria 78

Tabla 12 Cuadro de mantenimientos 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipo de descarga atmosférica..... 36

Figura 2 Asignación de intensidad de descarga atmosférica:. 37

Figura 3 Zonas de protección manejadas a través de los años por distintos autores..... 38

Figura 4 Tabulación alternativo del área de captación equivalente:..... 56

Figura 5 Estimación del área de captación equivalente en estructuras con elementos prominentes:..... 57

Figura 6 Determinación del área de captación en estructuras con elementos prominentes:..... 58

Figura 7 Altura y separación protegidas en superficies 75

Figura 8 Instalación eléctrica de 4 pararrayos – Vista lateral 79

Figura 9 Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral 80

Figura 10 instalaciones eléctricas de un pararrayo – Vista lateral..... 82

Figura 11 instalaciones eléctricas de 2 pararrayos – Vista lateral..... 84

Figura 12 instalaciones eléctricas de 2 pararrayos de 7m de altura – Vista lateral..... 86

Figura 13 Instalaciones eléctricas de un pararrayo – Vista lateral 88

Figura 14 instalaciones eléctricas de un pararrayo – Vista lateral..... 90

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas para una planta envasadora de gas en la ciudad de Juliaca, 2025, mediante la aplicación del método de la esfera rodante. El problema identificado fue el alto nivel de vulnerabilidad de la planta ante descargas eléctricas, debido a su ubicación geográfica en una zona con elevada densidad de rayos y la manipulación de combustibles altamente inflamables, lo que representa un riesgo significativo para la seguridad del personal y la continuidad operativa. El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado, con nivel descriptivo explicativo y diseño no experimental de carácter transversal. Se recopilaron datos técnicos de mapas ceráunicos de OSINERGMIN, especificaciones estructurales de la planta y normativas internacionales como la NFPA 780 e IEC 62305. Mediante el método de la esfera rodante se delimitaron las zonas críticas de riesgo y se calcularon las áreas de protección requeridas, lo que permitió proponer la ubicación óptima de pararrayos y su sistema de puesta a tierra. Los resultados mostraron que el diseño propuesto con pararrayos tipo Dipolo Corona, instalados a 15 metros de altura, garantizó una cobertura integral de tanques, plataformas de envasado y patios de maniobra, reduciendo significativamente la probabilidad de impacto directo. Se concluye que la aplicación del método de la esfera rodante constituye una solución eficaz y confiable para mejorar la seguridad operativa de plantas envasadoras de gas en zonas de alto riesgo eléctrico.

Palabras clave: descargas atmosféricas, método de esfera rodante, sistema de protección, seguridad industrial, plantas envasadoras de gas.

ABSTRACT

The purpose of this study was to design a lightning protection system for a gas bottling plant in the city of Juliaca, 2025, through the concentration of the rolling sphere method. The identified problem was the high vulnerability of the plant to lightning strikes, due to location in an area with a high density of thunderstorms and the handling of highly flammable fuels, which represents a significant risk to personnel safety and operational continuity. The study followed an applied approach, with a descriptive explanatory level and a non-experimental. Technical data were collected from OSINERGMIN thunderstorm maps, structural specifications of the plant, and international standards such as NFPA 780 and IEC 62305. By applying the rolling sphere method, critical risk zones were delimited, and the required protection areas were calculated, allowing the optimal location of lightning rods and their grounding system to be proposed. The results that the proposed design, using Dipole Corona lightning rods installed at a height of 15 meters, ensured full coverage of storage tanks, filling platforms, and maneuvering yards, significantly reducing the probability of direct strikes. It is concluded of the rolling sphere method constitutes an effective and reliable solution to improve the operational safety of gas bottling plants in high-risk areas.

Keywords: lightning, rolling sphere method, protection system, industrial safety, gas bottling plants.

INTRODUCCIÓN

La urbe de Juliaca, emplazada en la región de Puno, se caracteriza por presentar una elevada incidencia de descargas atmosféricas, según lo evidencian los registros de mapas isoceráunicos. Este fenómeno natural constituye una amenaza significativa tanto para la seguridad de las personas como para la infraestructura industrial, especialmente en instalaciones donde se manipulan combustibles inflamables como el propano licuado de origen petrolífero.

En el caso de las plantas envasadoras de gas, el riesgo de impactos de rayos se incrementa debido a la presencia de tanques de almacenamiento, plataformas de envasado y áreas de maniobra, donde una descarga directa podría ocasionar graves daños estructurales, interrupciones en la operación, pérdidas económicas considerables y, lo más importante, poner en peligro la vida del personal. Por ello, resulta indispensable implementar sistemas de protección confiables que garanticen la continuidad operativa y reduzcan los riesgos asociados.

La normativa internacional NFPA 780 establece lineamientos específicos para el diseño de SPDA, dentro de los cuales el procedimiento de la esfera itinerante constituye uno de los instrumentos más manejados y eficaces para definir las zonas de protección. Este método permite simular, mediante criterios geométricos y matemáticos, la trayectoria potencial de un rayo y así establecer la ubicación óptima de los pararrayos.

El diseño de un SPDA en plantas envasadoras de gas en Juliaca no solo responde a una necesidad técnica, sino también a un compromiso de seguridad industrial y de prevención de desastres. De esta manera, se busca salvaguardar

tanto la integridad de las instalaciones como la de los trabajadores, cumpliendo con estándares internacionales y las exigencias regulatorias vigentes en el país.

Dentro de esta coyuntura, la indagación en curso se orienta al diseño técnico de un SPDA mediante la técnica de la esfera rodante aplicada a plantas envasadoras de hidrocarburos gaseiformes en Juliaca, 2025, planteando cálculos, criterios de selección y ubicación de pararrayos que permitan garantizar la protección integral del área, contribuyendo así a la seguridad y sostenibilidad de la operación.

Se halla organizada por cuatro apartados capitulares.

El Capítulo I aborda la circunscripción de la casuística, objetivos, enunciación de conjeturas. En el Capítulo II basamentos conceptuales, precedentes investigativos. El apartado III describe la armazón procedimental. Finalmente, el apartado IV presenta resultantes y disquisiciones, recomendaciones y referencias, anexos.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A NIVEL INTERNACIONAL: En todo el mundo, las descargas atmosféricas constituyen una amenaza importante para instalaciones industriales, especialmente aquellas que manejan materiales inflamables como el gas licuado de petróleo (GLP). Según la International Electrotechnical Commission (IEC), cada año se reportan múltiples accidentes causados por rayos, lo cual ha generado estándares como la IEC 62305 para la protección contra estos fenómenos. A pesar de estas normativas, muchos países aún enfrentan deficiencias en la implementación de sistemas de protección efectivos, lo que incrementa los riesgos de explosiones, incendios y pérdidas humanas y económicas.

A NIVEL NACIONAL: En el Perú, la seguridad industrial ante fenómenos naturales sigue siendo un desafío, especialmente en sectores energéticos y de hidrocarburos. Si bien existen normas técnicas peruanas (como la NTP 370.310 o la referencia a la IEC 62305), muchas plantas envasadoras de GLP aún no implementan adecuadamente SPDA. Esto se traduce en vulnerabilidades estructurales y funcionales que podrían poner en riesgo a los trabajadores, las instalaciones y el entorno. Además, los estudios técnicos para estos diseños siguen siendo limitados o poco aplicados en regiones con alta incidencia de tormentas eléctricas.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

A NIVEL LOCAL: En la ciudad de Juliaca, existen plantas envasadoras de GLP que no cuentan con dispositivos de resguardo frente a descargas electroatmosféricas debidamente estructurados según métodos internacionales, como la técnica de la esfera desplazante. Esta situación representa un alto riesgo, considerando las condiciones climáticas adversas de la región altiplánica, que incluyen tormentas eléctricas frecuentes. La ausencia de un diseño técnico específico pone en peligro la infraestructura y la seguridad del personal operativo, así como el cumplimiento normativo en seguridad industrial.

FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema General

PG.- ¿Cómo influye el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas mediante el método de la esfera rodante en la seguridad operativa de una planta envasadora de gas en el año 2025?

1.1.2. Problemas Específicos

PE1.- ¿Qué nivel de riesgo presentan actualmente las instalaciones de la planta envasadora de gas ante descargas atmosféricas?

PE2.- ¿Cuál es la eficacia del método de la esfera rodante para determinar zonas de protección contra descargas atmosféricas?

PE3.- ¿Cómo se optimiza el diseño del sistema de protección considerando la distribución de estructuras y equipos de la planta?

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1.2. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

1.2.1. Justificación Teórica

La protección contra descargas atmosféricas es una necesidad ampliamente documentada en el ámbito de la ingeniería eléctrica, principalmente en instalaciones que manejan materiales inflamables, como las plantas envasadoras de GLP. La técnica de la esfera itinerante, establecido por el estándar internacional IEC 62305, se fundamenta en principios electromagnéticos que permiten simular la trayectoria probable de una descarga eléctrica atmosférica y determinar las zonas vulnerables de una estructura. Esta técnica representa un avance teórico respecto a métodos convencionales, ya que permite modelar la correlación dinámica entre la descarga electroatmosférica y los componentes estructurales, optimizando así la configuración del subsistema de resguardo. Dicha aplicación proporciona una base científica sólida para garantizar la cobertura efectiva de zonas críticas, contribuyendo al desarrollo de investigaciones orientadas a la seguridad eléctrica industrial.

1.2.2. Justificación Practica

La implementación del procedimiento de la esfera desplazante resulta imprescindible dentro de un contexto como aquel correspondiente a Juliaca, donde las condiciones climatológicas, como las tormentas eléctricas frecuentes, elevan el riesgo de descargas atmosféricas. En instalaciones de alto riesgo como las plantas envasadoras de GLP, una falla en la protección puede desencadenar incendios, explosiones o pérdidas humanas y materiales significativas. Este trabajo busca ofrecer

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

una solución concreta mediante el diseño de un sistema técnico eficaz, que no solo minimice estos riesgos, sino que también facilite el cumplimiento de normativas internacionales e nacionales en materia de seguridad industrial. De este modo, se promueve una cultura de prevención y gestión del riesgo en sectores altamente vulnerables.

1.2.3. Justificación Metodológica

La indagación se ejecutará bajo un paradigma cuantificable, manejando como base la metodología de la esfera traslativa para la determinación de zonas de interceptación y cálculo de los espaciamientos de resguardo. Se aplicarán procedimientos técnicos de evaluación de riesgo conforme a la IEC 62305-2, además de criterios geométricos y físicos para el diseño del SPDA. La metodología incluirá visitas técnicas, levantamiento de planos, modelamiento tridimensional, simulación del comportamiento de descargas eléctricas y la propuesta detallada del sistema de pararrayos, bajantes y puesta a tierra. Todo ello garantizará un diseño confiable, verificable y adaptado a las condiciones específicas del emplazamiento industrial sujeto de análisis.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

OG.- Diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas en una planta envasadora de gas mediante la aplicación del método de la esfera rodante, para reducir riesgos eléctricos y garantizar la seguridad de las instalaciones en el año 2025.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1.3.2. Objetivos Específicos

OE1.- Identificar los puntos críticos de riesgo ante descargas atmosféricas en la planta envasadora de gas.

OE2.- Aplicar el método de la esfera rodante para delimitar las zonas de protección necesarias.

OE3.- Proponer un diseño técnico del sistema de protección adaptado a la infraestructura de la planta.

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. hipótesis General

HG.- La aplicación del método de la esfera rodante permite diseñar un sistema de protección eficaz que disminuye significativamente el riesgo por descargas atmosféricas en plantas envasadoras de gas.

1.4.2. hipótesis Específicos

HE1.- Las instalaciones actuales de la planta presentan vulnerabilidades frente a descargas atmosféricas debido a la falta de un sistema de protección adecuado.

HE2.- El método de la esfera rodante permite identificar con precisión las zonas que requieren protección contra descargas eléctricas.

HE3.- El diseño propuesto basado en la geometría de la planta y el método de la esfera rodante mejora la cobertura y eficiencia del sistema de protección.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1.5. VARIABLES

Variable Independiente:

Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas

Se refiere a la configuración técnica del conjunto de elementos como pararrayos, conductores de bajada y sistema de puesta a tierra, implementados con el objetivo de proteger la planta envasadora de GLP frente al impacto de rayos.

Variable Dependiente:

Aplicación del método de la esfera rodante

Corresponde al uso de una técnica de configuración establecida por la norma IEC 62305, que permite establecer zonas de salvaguardia frente a descargas electroatmosféricas mediante un modelo geométrico basado en el radio de una esfera teórica.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

1.6. Operacionalización de variables

Variable Independiente: Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas

Dimensiones	Indicadores	Definición Conceptual	Definición Operacional	Escala de Medición / Unidad	Técnica / Instrumento
Captación (pararrayos)	Tipo y ubicación de pararrayos; altura de instalación; cobertura del alcance de resguardo; nivel de categoría de salvaguardia según IEC 62305.	Conjunto de elementos destinados a interceptar descargas atmosféricas antes de su impacto en la estructura.	Ubicación, altura y radio de protección de los pararrayos en función del nivel de riesgo determinado.	Técnica / Métrica (m, grados)	Observación técnica, ficha de evaluación, planos de diseño.
Conducción (bajantes)	Material y sección del conductor; distribución de bajantes; longitud total del recorrido.	Elementos que canalizan la descarga eléctrica atmosférica hacia el subsistema de conexión a tierra.	Evaluación de la implementación de conductores descendentes, continuidad eléctrica y configuración equidistante.	Métrica (mm^2, m)	Ficha técnica y planos eléctricos.
Puesta a tierra	Impedancia del sistema de aterramiento; tipo de disposición (anillo, jabalina, malla), interconexión equipotencial.	Sistema concebido a disipar la descarga eléctrica atmosférica de manera segura al terreno.	Cuantificación de la impedancia del sistema de aterramiento y revisión de conexiones equipotenciales	Cuantitativa (Ω)	Medición con telurómetro y ficha técnica.
Equipotencialidad y compatibilidad electromagnética (EMC)	Existencia de conexión equipotencial; protección de equipos sensibles; cumplimiento de IEC 61000.	Interconexión eléctrica entre elementos metálicos y estructuras para evitar diferencias de potencial peligrosas.	Verificación visual y documental de conexión equipotencial y blindajes electromagnéticos.	Categórica (Sí/No)	Lista de verificación técnica.
Mantenimiento del sistema	Frecuencia de verificación;	Actividades programadas	Control documental y	Ordinal (Frecuenci	Revisión documental

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

	estado físico de los componentes; registro de mantenimiento.	para asegurar el funcionamiento continuo del sistema de protección.	observación técnica del mantenimiento preventivo y correctivo.	a anual / semestral)	y observación técnica.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Variable Dependiente: Aplicación del método de la esfera rodante

Dimensiones	Indicadores	Definición Conceptual	Definición Operacional	Escala de Medición / Unidad	Técnica / Instrumento
Identificación de zonas críticas	Número de zonas vulnerables detectadas; representación gráfica de las áreas expuestas.	Etapa del método que permite determinar las zonas expuestas a descargas directas.	Registro de zonas críticas en planos y software de simulación.	Cuantitativa (número de zonas)	Simulación CAD / Revisión de planos.
Cobertura geométrica del sistema	Porcentaje de cobertura alcanzada; validación del nivel de protección (I a IV).	Determinación geométrica de las áreas protegidas mediante el radio de la esfera.	Comparación entre área total y área cubierta por el sistema propuesto.	Cuantitativa (%)	Software de simulación, tabla de cálculo.
Radio de la esfera (r_sc)	Valor del radio aplicado (20, 30, 45 o 60 m); correspondencia con nivel de riesgo.	Parámetro geométrico que define el nivel de sensibilidad del sistema frente a descargas.	Verificación de la adecuación del radio seleccionado según nivel de riesgo.	Cuantitativa (m)	Cálculo normativo (IEC 62305).
Selección del nivel de protección (LP)	Nivel de salvaguardia seleccionado (I, II, III o IV); justificación técnica conforme a evaluación de contingencia.	Elección del grado de protección según la densidad de rayos y condiciones estructurales.	Comparación de niveles de protección y correlación con resultados de riesgo.	Categórica (I–IV)	Análisis de riesgo, tablas NFPA 780.

Nota: Conceptualización original

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1. A nivel internacional

Rakov y Uman (2003), en su obra titulada "Lightning: Physics and Effects", desarrollaron un estudio orientado a comprender el comportamiento físico de las descargas atmosféricas y establecer principios técnicos para su mitigación a través de sistemas de protección. El objetivo de la investigación fue proporcionar una base científica sólida que permita diseñar mecanismos de defensa eficaces ante el impacto de rayos. Como resultado, los autores validaron el uso del procedimiento de la esfera traslativa, un planteamiento morfogeométrico que permite identificar zonas vulnerables de una estructura frente a las descargas eléctricas. Se concluyó que este método constituye una herramienta eficiente y precisa para el diseño de SPDA, siendo aplicable especialmente en instalaciones industriales críticas, como las que almacenan materiales inflamables.

Por otro lado, el IEEE Working Group on Lightning Protection (2010), en su guía para la aplicación de subsistemas de resguardo frente a descargas electroatmosféricas, tuvo como objetivo establecer recomendaciones técnicas sobre el uso del procedimiento de la esfera traslativa en instalaciones industriales. A través de la evaluación de casos prácticos en plantas energéticas de Europa y Estados Unidos, se logró como resultado la reducción considerable de incidentes eléctricos cuando

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

el diseño se basó en criterios geométricos definidos por este método. La conclusión fue que la aplicación del método del procedimiento de la esfera traslativa una cobertura adecuada, y su uso es recomendable en infraestructuras de alto riesgo, como plantas de almacenamiento de gas o combustibles.

2.1.2. A nivel nacional

Mamani (2020) ejecutó un estudio titulado "Aplicación del procedimiento de la esfera traslativa en una instalación petroquímica ubicada en Talara". El resultado evidenció que, mediante simulaciones en software especializado y levantamientos tridimensionales, se logró cubrir con elementos captadores el 97% de las zonas críticas de la planta. Se concluyó que la técnica de la esfera desplazante es aplicable dentro del contexto peruano, permitiendo diseños eficaces que cumplen con los estándares internacionales y adaptables a las condiciones locales.

Asimismo, un informe técnico emitido por OSINERGMIN (2021), titulado "Evaluación de sistemas de protección en instalaciones energéticas del sur del Perú", tuvo como objetivo verificar el cumplimiento de normativas internacionales en plantas que manejan combustibles líquidos y gaseosos. El estudio reveló como resultado que más del 60% de las instalaciones carecían de sistemas diseñados con base en la norma IEC 62305, y no aplicaban el procedimiento de la esfera traslativa para la delimitación de zonas de captación. En síntesis, se identificó una brecha entre la normativa vigente y su implementación práctica, lo que resalta la

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

necesidad de fortalecer las capacidades técnicas en diseño de protección contra rayos, especialmente en regiones con alta vulnerabilidad.

2.1.3. A nivel regional

Quispe (2023) desarrolló un análisis investigativo en una estación de servicio ubicada en la ciudad de Juliaca, titulado "Evaluación del subsistema de aterramiento en una estación de servicio", con el objetivo de determinar la eficacia del sistema de protección contra descargas atmosféricas en una infraestructura que almacena GLP. El resultado mostró que el sistema existente presentaba deficiencias significativas, como una firmeza de puesta a tierra por encima del valor normativo y la ausencia de un diseño basado en modelos geométricos. La conclusión fue que la falta de aplicación de metodologías como la técnica de la esfera traslativa expone a dicha tipología de infraestructuras a riesgos elevados, siendo urgente la implementación de soluciones técnicas idóneas.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Protecciones contra descargas atmosféricas

Es un conjunto de medidas técnicas diseñadas para **prevenir los daños** que pueden causar los **rayos** al impactar sobre edificaciones, estructuras, personas o equipos eléctricos. Estas descargas, conocidas también como **rayos**, son fenómenos eléctricos naturales que liberan corrientes de altísima intensidad que pueden superar los **200 kA** y producir daños catastróficos si no se controlan adecuadamente.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

2.2.2. Definición técnica

Según la NFPA 780 (2020) y la IEC 62305 (2010), un SPDA es el conjunto de elementos interconectados que tiene por finalidad interceptar, conducir y dispersar el flujo eléctrico procedente de una descarga atmosférica hacia tierra, evitando que cause daño físico o afecte los sistemas eléctricos o electrónicos de una instalación.

Objetivo principal

- Proteger: La vida humana (personal y público presente en la instalación).
- La infraestructura física (edificios, tanques, estructuras metálicas, etc.).
- Los equipos eléctricos y electrónicos sensibles.
- La continuidad operativa de las instalaciones industriales, especialmente en zonas de alto riesgo como plantas de gas o refinerías.

2.2.3. Componentes de un SPDA

1. Sistema captador (pararrayos): Elementos que interceptan la descarga antes de que impacte la estructura. Pueden ser puntas tipo Franklin, redes metálicas o pararrayos activos tipo dipolo corona.
2. Conductores de bajada: Conductos metálicos encargados de conducir la descarga eléctrica de la descarga atmosférica desde el punto de intercepción hasta el subsistema de aterramiento. Es fundamental que

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

estos recorridos sean lo más cortos y directos posible, y que cuenten con dimensiones apropiadas para resistir la intensidad de la corriente.

3. Sistema de puesta a tierra: Parte fundamental donde se disipa la energía del rayo. Su resistencia debe ser baja (preferiblemente menor de 10 Ω) para garantizar una descarga segura.

4. Equipotencialidad: Interconexión de todas las partes metálicas y eléctricas de la estructura para evitar diferencias de potencial que puedan generar arcos o descargas secundarias.

5. Protección interna (compatibilidad electromagnética – EMC): Incluye dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) y blindajes para minimizar efectos inducidos sobre equipos electrónicos.

2.2.4. Normas aplicables

- NFPA 780 (2020) – Normativa para la implementación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas
- IEC 62305 (Partes 1–4) – Protección contra el rayo
- UNE 21186 (España) – Protección con pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)
- NTP 370.310 (Perú) – Protección de estructuras contra descargas atmosféricas

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

2.2.5. Importancia en plantas industriales de GLP

En plantas envasadoras de gas, una descarga directa puede generar incendios o explosiones debido a la presencia de combustibles inflamables. Por ello, la implementación de un SPDA no solo es una medida de seguridad eléctrica, sino una exigencia de seguridad industrial y ambiental.

2.2.6. Diseño del SPDA

Comprende un conjunto de elementos interrelacionados cuyo fin es interceptar, conducir y disipar de forma segura las corrientes generadas por una descarga atmosférica. Su implementación busca evitar daños en las instalaciones, prevenir incendios, proteger equipos eléctricos y, sobre todo, salvaguardar vidas humanas (NFPA 780, 2020).

Sistema captador (subsistema perimetral de resguardo)

El sistema captador es el conjunto de componentes cuya función es interceptar directamente la descarga atmosférica antes de que impacte en cualquier parte de la estructura protegida. Está compuesto por elementos como puntas captadoras (tipo Franklin), conductores elevados, redes de mallas metálicas sobre techos y cables tensados. Según la IEC 62305-3, estos elementos deben ubicarse estratégicamente para garantizar que cualquier rayo que caiga sobre la estructura sea captado por ellos. El diseño del sistema captador debe estar alineado con el método de protección elegido (ángulo de protección, esfera rodante o red conductora). En instalaciones industriales como plantas envasadoras de

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

GLP, el diseño del sistema captador debe considerar obstáculos, zonas clasificadas como peligrosas y áreas de manipulación, priorizando la cobertura total de áreas expuestas a la intemperie.

Conductores de bajada

Son los elementos encargados de transportar la corriente del rayo desde el sistema captador hasta el sistema de puesta a tierra, evitando que la corriente se desvíe hacia estructuras metálicas, redes eléctricas internas o personas. Se instalan de forma vertical, en la ruta más corta y recta posible, y se ubican preferentemente en las esquinas o zonas estructuralmente fuertes de la edificación. La IEC 62305 recomienda al menos dos bajadas distribuidas simétricamente, y en estructuras extensas, tantas como sea necesario para garantizar un trayecto seguro y con baja inductancia. Los conductores deben ser de cobre o aluminio, con sección transversal mínima de 50 mm^2 en cobre. En plantas con alto riesgo, se busca también el apantallamiento magnético y la compatibilidad electromagnética entre bajadas y sistemas eléctricos.

Sistema de aterramiento

Su función radica en distribuir esta corriente de manera securitizada, evitando tensiones peligrosas sobre el estrato superficial del terreno o en superestructuras metálicas cercanas. Existen tres tipos principales: anillo perimetral, jabalinas verticales, y sistemas en estrella, siendo común la combinación de varios. El parámetro óhmico del sistema de aterramiento no deberá superar los 10 ohmios, aunque en zonas de alto riesgo o suelos

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

de alta resistividad se recomienda alcanzar valores por debajo de los 5 ohmios. El diseño debe contemplar el gradiente de potencial para evitar el efecto paso y contacto. Según la NFPA 780 y la IEEE Std 80, debe realizarse un estudio de resistividad del suelo previo a su diseño. En el contexto de plantas de GLP, la puesta a tierra debe estar interconectada con tuberías, estructuras metálicas, y sistemas eléctricos, garantizando una malla equipotencial que minimice el riesgo de chispas o arcos eléctricos.

Equipotencialidad

La equipotencialidad es el principio mediante el cual se iguala el potencial eléctrico entre todas las partes metálicas de una instalación para evitar diferencias de potencial que puedan generar arcos eléctricos o descargas secundarias. Este concepto es fundamental en el diseño de SPDA, ya que una descarga atmosférica puede inducir tensiones elevadas entre elementos metálicos cercanos. La norma IEC 62305-4 establece que deben conectarse eléctricamente todas las estructuras metálicas, tuberías, redes de datos, estructuras portantes, y sistemas eléctricos al sistema de tierra común, utilizando conductores equipotenciales y barras colectoras. En instalaciones con riesgo de explosión, como plantas de GLP, esta medida es crítica para prevenir incendios o detonaciones por descarga indirecta.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Compatibilidad electromagnética (EMC)

Hace referencia a la habilidad de una instalación eléctrica para operar de manera adecuada dentro de su entorno electromagnético, sin generar ni ser afectada por interferencias indeseadas. En el contexto de protección contra rayos, esto implica minimizar los efectos de las sobretensiones inducidas que puede generar un rayo, tanto por impacto directo como por acoplamiento inductivo o capacitivo. La IEC 61000 y la IEC 62305-4 establecen lineamientos para la instalación de SPD, separación de circuitos sensibles, blindaje de cables y diseño de rutas preferentes para corrientes inducidas. En entornos industriales, una descarga puede afectar sistemas de control, automatización, medición o comunicación, por lo que la EMC debe ser parte integral de la configuración de protección.

Sistema de Salvaguardia Electroatmosférica

Los elementos son:

Pararrayo.- Llamado además 'terminal aéreo', el pararrayos es el componente que se coloca en la parte más elevada de una estructura, y su función principal es captar las descargas eléctricas provenientes de las descargas atmosféricas.. (Lujan Bravo, 2018)

Conductor o Bajante.- Generalmente se fabrican con cobre o aluminio sin recubrimiento. Estos cables enlazan el elemento captor ubicada en la cúspide de la edificación con el sistema de aterramiento, el cual se instala a una distancia prudente para garantizar la seguridad. Por norma, el cable debe ir por el exterior del edificio y seguir el trayecto más corto posible

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

hasta la tierra. Su propósito esencial es canalizar la descarga eléctrica del rayo de forma segura hacia el suelo, minimizando riesgos. (Lujan Bravo, 2018)

Puesta a tierra. - Hoy en día, existen diversos tipos de elementos utilizados para la puesta a tierra, siendo los más comunes las barras y las losas. Los artefactos de aterramiento generalmente son confeccionados mediante cobre, mientras que las varillas pueden estar compuestas por materiales como cobre, acero o incluso una aleación que incluya níquel.

Los constituyentes del sistema de aterramiento se instalan a profundidades variables bajo la superficie y han de emplazarse a una distancia considerable de la estructura principal. Siempre que sea posible, se recomienda que estos elementos se entierren en terrenos húmedos, ya que su función principal es dispersar de manera segura la corriente del rayo en el suelo. (Lujan Bravo, 2018)

2.2.7. Aplicación del método de la esfera rodante

Es un modelo geométrico definido por la IEC 62305-3 (2010), que representa el trayecto potencial de una descarga atmosférica mediante una esfera imaginaria con un radio específico. El principio fundamental indica que las zonas donde la esfera toca una estructura son consideradas vulnerables al impacto de rayos y deben protegerse con elementos captadores.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Descarga atmosférica

Una descarga atmosférica es un fenómeno eléctrico natural que acontece cuando se presenta una diferencia de potencial suficientemente alta entre dos sectores de la envoltura atmosférica, o entre una formación nubosa y la superficie terrestre, lo cual da lugar a un flujo repentino de corriente eléctrica: el rayo. Este evento implica intensidades de corriente que pueden superar los 200 kA y causar daños catastróficos a estructuras, personas y equipos eléctricos. Según Rakov y Uman (2003), las descargas pueden clasificarse en nube-nube, nube-tierra o intra-nube, siendo las nube-tierra las más peligrosas para las infraestructuras. La ocurrencia de rayos está directamente relacionada con condiciones meteorológicas específicas como tormentas, alta humedad y variaciones térmicas. En ingeniería eléctrica, la descarga atmosférica se considera una de las fuentes más agresivas de interferencia externa, razón por la cual se diseñan sistemas específicos para interceptarla y disiparla de manera segura.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, una descarga atmosférica se define como una chispa eléctrica de alta intensidad que se genera mediante una liberación eléctrica entre dos formaciones nubosas o entre una masa nubosa y la superficie terrestre. "(Lujan Bravo, 2018)

En el ámbito de la electricidad, una descarga atmosférica se interpreta como el desplazamiento de una corriente eléctrica entre dos puntos. Este fenómeno ocurre debido a la diferencia de potencial entre ellos y la

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

presencia de un medio conductor ya sea sólido, gaseoso o líquido que permite el paso de la corriente. (Lujan Bravo, 2018)

Tipos de descarga atmosféricas

Los más manejados se hallan:

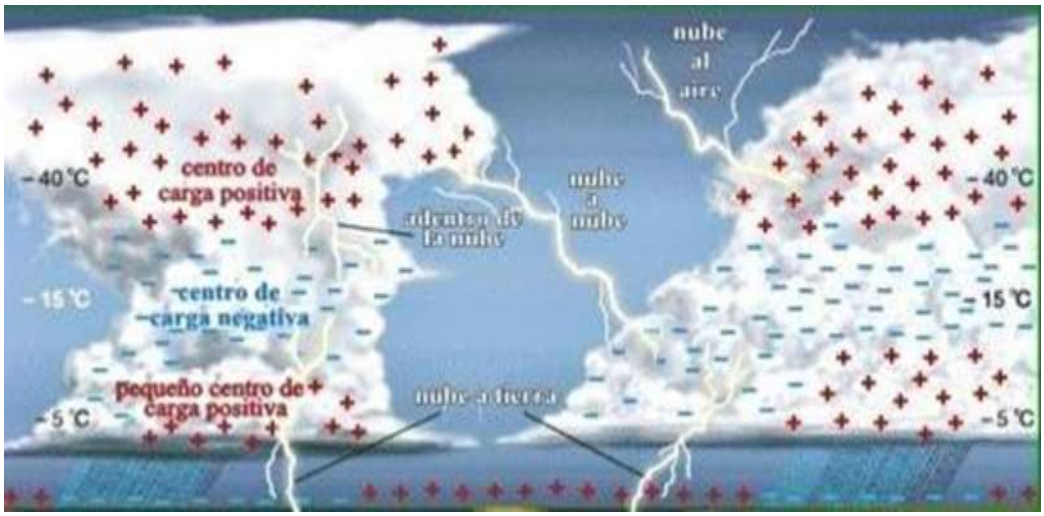
- Descarga nube a tierra
- Descarga nube a nube
- Descarga intranube
- Descarga al aire

La descarga ocurre cuando las cargas eléctricas dentro de las nubes se separan, lo que provoca la ionización del aire y supera su capacidad aislante, permitiendo así la conducción del flujo eléctrico. Aunque las descargas electroatmosféricas se originan especialmente en formaciones nubosas de tormenta o cúmulos, además pueden manifestarse durante tormentas de nieve o en nubes generadas por la actividad volcánica durante una erupción. (Lujan Bravo, 2018)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 1

Tipo de descarga atmosférica



Nota: Proyecto eléctrico 2012

Particularidades de las Descargas Atmosféricas

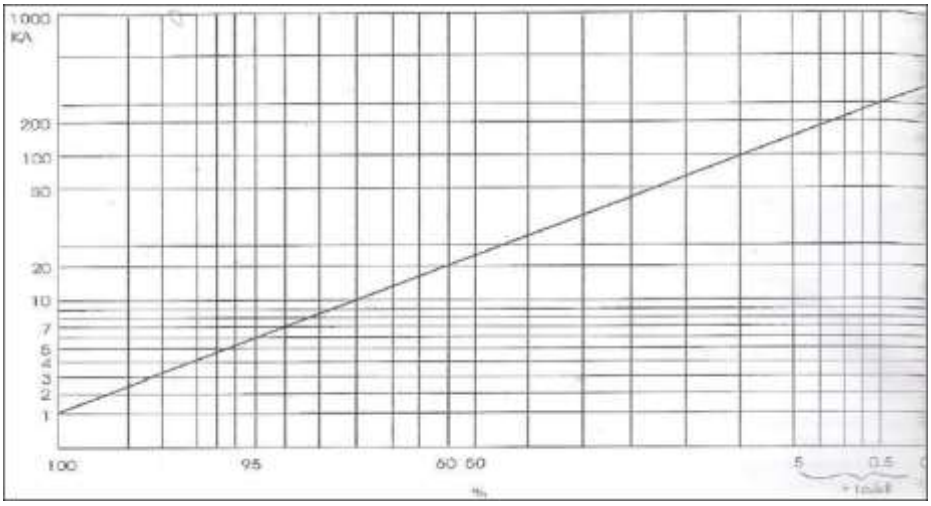
Las descargas eléctricas pueden alcanzar intensidades que van desde los 200 hasta los 500 kiloamperios (kA), liberando energía a razón de 105 julios por metro a lo largo del canal de descarga. Si bien no resulta rentable proteger una instalación contra la totalidad de las descargas atmosféricas, sí lo es implementar medidas de protección frente al 95% de estos eventos y sus consecuencias, especialmente aquellas con tensiones superiores a los 5 kilovoltios (kV) y corrientes de hasta 6 kA. En la figura siguiente se ilustran los distintos niveles de intensidad del gradiente electromagnético en función de la proximidad al punto de impacto del rayo. (Lujan Bravo, 2018)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 2

Asignación de intensidad de descarga atmosférica:

Se estima que el 95% de las descargas eléctricas generadas por rayos no exceden los 6 kA, mientras que únicamente el 5% de estos eventos supera los 100 kA, lo que permite clasificar los niveles de intensidad para fines de diseño y protección.



Nota: Adaptado de Universidad de Costa Rica

El Pararrayo

Conforme a lo estipulado en el estándar IEC 61024, se define como una estructura conductora vertical instalada en la cota superior de una edificación, cuya función es desviar la corriente del rayo hacia el suelo. (Lujan Bravo, 2018)

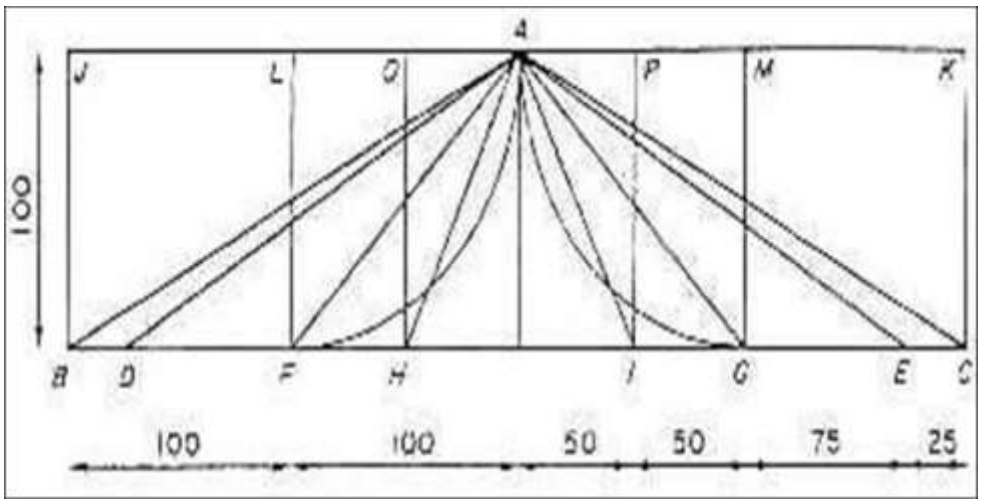
La norma más reconocida y aplicada a nivel global para la protección contra rayos es la NFPA 780. Bajo el término 'sistema de protección' se comprende el conjunto completo de elementos como el pararrayos, los conductores descendentes, el subsistema de aterramiento y todos los componentes auxiliares que garantizan una protección efectiva. (Lujan Bravo, 2018)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

La NFPA 780 define al pararrayos como el componente de un SPDA diseñado específicamente para interceptarlas. Esta concepción da origen a la idea del 'poder de atracción' del pararrayos, que consiste en su capacidad para captar el rayo antes de que impacte directamente en otras partes de la estructura. Este poder se traduce en lo que se conoce como 'zona de protección', un área que, por su ubicación respecto al pararrayos, se considera prácticamente inmune al impacto directo de un rayo. (Lujan Bravo, 2018)

Figura 2

Zonas de protección manejadas a través de los años por distintos autores



Nota: Versión excerpida y reelaborada a partir de la Universidad de Buenos Aires

Posteriormente, se propuso un modelo más complejo para representar la zona de protección, basado en una superficie de revolución cuya forma se genera a partir de un arco de círculo que es tangente tanto a la punta del pararrayos como al suelo. En la actualidad, la definición de esta zona se fundamenta en el denominado 'Modelo Electrogeométrico'. Este modelo toma en cuenta la corriente pico del primer impulso de retorno, el

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

cual ocurre después de que el trazador líder descendente procedente de la formación nubosa se conecta con el trazador ascendente emitido por el dispositivo captor. (Lujan Bravo, 2018)

También, al calcular la zona de protección es fundamental considerar el nivel de resguardo que requiere una estructura, el cual se determina en función de una categoría asignada a partir de una evaluación de riesgo estandarizada. (Lujan Bravo, 2018)

Es importante destacar que un subsistema captor de descargas atmosféricas no asegura una salvaguardia total. El único mecanismo para alcanzar una inmunidad plenamente efectiva es mediante el uso de una jaula de Faraday, una configuración conductora que envuelve prácticamente en su totalidad el edificio o instalación a proteger. Sin embargo, debido a su alto costo, este método no será abordado en el presente análisis. (Lujan Bravo, 2018)

Métodos de la esfera rodante

Establecido por la norma IEC 62305-3, es una técnica de análisis geométrico que simula la trayectoria probable de una descarga atmosférica al hacer "rodar" una esfera teórica alrededor de una estructura. El diámetro operativo de la esfera está directamente relacionado con la categoría de resguardo requerido: radios menores implican una mayor sensibilidad del diseño frente a impactos. Este método permite identificar zonas que quedan desprotegidas (puntos donde la esfera toca la estructura) y zonas seguras (donde la esfera no tiene contacto). Su ventaja frente a métodos tradicionales como el del ángulo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

de protección es que puede aplicarse a estructuras complejas en tres dimensiones y a configuraciones industriales irregulares, como las que existen en plantas de procesamiento y envasado de GLP. Además, se considera la herramienta más precisa para el diseño de sistemas captadores en ingeniería de protección eléctrica.

Zonas de protección

Las zonas de protección son las áreas definidas dentro de una infraestructura donde, mediante la implementación de sistemas captadores correctamente ubicados, se evita que una descarga atmosférica impacte directamente. Estas zonas se establecen con base en métodos geométricos (como la esfera rodante) y están condicionadas por factores como altura, forma, tamaño de la estructura y nivel de protección requerido. En el diseño ingenieril, es crucial definir correctamente las zonas de protección para garantizar que todos los elementos expuestos (tanques, tuberías, estructuras metálicas, etc.) estén cubiertos. El mal cálculo o la omisión de zonas críticas puede resultar en fallos en el sistema, causando daños severos o incluso explosiones, especialmente en instalaciones con materiales inflamables.

Radio de la esfera

Es un parámetro clave que define la sensibilidad del método. Según la IEC 62305, se utilizan los siguientes radios:

- Nivel I: 20 m (protección muy alta)
- Nivel II: 30 m
- Nivel III: 45 m

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

- Nivel IV: 60 m (protección básica)

Estos valores se relacionan con la corriente de impacto estimada para cada nivel de riesgo. A menor radio, mayor sensibilidad del sistema ante descargas de menor energía. La elección del radio depende de una evaluación previa del riesgo (IEC 62305-2), que considera la ubicación geográfica, tipo de edificación, valor de los bienes, riesgo para la vida humana y continuidad del servicio. En ingeniería eléctrica aplicada, la selección del radio determina la cantidad y disposición de los elementos captadores, afectando directamente al costo y la eficiencia del diseño.

Simulación geométrica

Consiste en modelar, generalmente mediante software CAD o herramientas especializadas como AutoCAD, Dialux o Revit con plugins de protección eléctrica, la interacción de la esfera teórica con la infraestructura a proteger. Esto permite visualizar las zonas expuestas a impactos directos y verificar la cobertura del sistema propuesto. Esta técnica es fundamental en ingeniería eléctrica moderna, ya que permite optimizar la ubicación de los pararrayos y minimizar la cantidad de captadores sin comprometer la seguridad. Además, es una herramienta clave para justificar técnicamente ante entidades regulatorias o comités de seguridad industrial que el diseño cumple con los estándares normativos internacionales.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

2.3. Marco conceptual

Descarga atmosférica

Es la transferencia repentina de carga eléctrica que ocurre entre nubes o entre una nube y la superficie terrestre. Se caracteriza por intensas corrientes eléctricas que pueden superar los 200 kA y tensiones de varios millones de voltios. Estas descargas, conocidas como rayos, constituyen un riesgo natural para infraestructuras críticas como plantas envasadoras de gas.

Subsistemas de salvaguardia frente a descargas electroatmosféricas

Configurados para interceptar y redirigir de forma securitizada el flujo eléctrico de una descarga atmosférica hacia el terreno, evitando daños estructurales, pérdidas económicas y lesiones a las personas. Está conformado por tres partes principales:

- Captador o pararrayos. Elemento metálico que recibe la descarga.
- Conductor de bajada. Canaliza la corriente eléctrica hacia tierra.
- Subsistema de aterramiento. Disipa la energía de manera segura en el subsuelo.

Métodos de la esfera rodante

Este constructo electrogeomorfológico se emplea para definir las áreas protegidas frente a descargas eléctricas. Se basa en la idea de hacer rodar una esfera de radio determinado sobre la superficie de la estructura que se desea proteger. Los puntos donde la esfera hace contacto directo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

con la estructura se consideran vulnerables, mientras que las zonas que permanecen por debajo de la esfera son vistas como áreas seguras. De acuerdo con la norma NFPA 780, este enfoque es uno de los más precisos para el diseño de sistemas de protecciones contra rayos.

Pararrayos

Dispositivo metálico instalado en el punto más alto de una estructura para interceptar descargas atmosféricas y conducirlas de manera segura hacia tierra. Existen diferentes tipos: convencionales (punta Franklin), ionizantes y activos tipo dipolo corona. En instalaciones de alto riesgo, como las plantas de envasado de gas, se utilizan modelos de amplio radio de protección.

Puesta a tierra

Constituye la interconexión electroconductiva directa entre una infraestructura o estructura y el terreno, con el fin de disipar corrientes eléctricas de manera segura. Constituye el último elemento del SPDA y es fundamental para garantizar la seguridad.

Planta envasadora de gas

Instalación industrial destinada a la recepción, almacenamiento y envasado de GLP en cilindros para su distribución comercial. Debido a la manipulación de combustibles inflamables, se consideran instalaciones de alto riesgo, lo que hace indispensable contar con SPDA.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

CAPITULO III

PROCEDIMIENTO METODOLOGICO

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El diseño es no experimental y de carácter transversal, dado que no se manipulan variables en un entorno controlado, sino que se evalúan los parámetros técnicos y normativos en un momento determinado (año 2025), con el fin de proponer un sistema integral de protección.

Asimismo, se clasifica como una investigación de nivel descriptivo-explicativo. Es descriptiva porque expone de manera detallada las condiciones de riesgo de la planta, los criterios de diseño y los componentes constitutivos del subsistema de salvaguardia; y es explicativa porque analiza de qué manera la aplicación del procedimiento de la esfera traslativa permite garantizar una cobertura efectiva frente a descargas atmosféricas.

3.2. TIPO DE INVESTIGACION

Se circunscribe a una indagación de naturaleza aplicada con orientación tecnocientífica, ya que busca utilizar conocimientos científicos y normativos existentes para diseñar una solución práctica a un problema real.

3.3. METODO APLICADO A LA INVESTIGACION

El presente estudio emplea el método descriptivo, orientado al análisis técnico y normativo para el diseño de un SPDA en una planta envasadora de gas.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

El método descriptivo se aplica porque se recopila, organiza y analiza información relacionada con:

- La incidencia de descargas atmosféricas en la ciudad de Juliaca (a partir de los mapas ceráunicos proporcionados por OSINERGMIN).
- Las características estructurales y funcionales de una planta envasadora de gas (tanques, plataformas de envasado, patios de maniobra).
- Los criterios de seguridad establecidos en la normativa NFPA 780 e IEC 62305.

A su vez, se emplea el método de diseño ingenieril, dado que se busca plantear una solución técnica mediante el uso de modelos matemáticos y geométricos. En la presente casuística, se emplea la técnica de la esfera traslativa, el cual accede determinar las zonas expuestas al riesgo de impacto de rayos y definir la ubicación, cantidad y altura óptima de los pararrayos necesarios para garantizar la protección integral de la planta.

De esta manera, el método aplicado combina la descripción de la realidad (incidencia de rayos y características de la instalación) con la aplicación de modelos geométricos y cálculos ingenieriles, lo que permite proponer un sistema de protección confiable y ajustado a la normativa internacional.

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo corresponde a un nivel descriptivo – explicativo.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

- De carácter descriptivo, dado que se reconocen y se especifican las condiciones de riesgo de la planta envasadora de gas en Juliaca, la incidencia de descargas atmosféricas en la zona.

- Explicativo, porque se analiza la relación entre la implementación del procedimiento de la esfera traslativa (variable independiente) y la determinación del sistema de protección más adecuado (variable dependiente), demostrando cómo este método geométrico permite garantizar la seguridad integral de las instalaciones.

Este nivel de investigación resulta adecuado, ya que no se limita a describir el problema, sino que explica la eficacia del modelo aplicado en el diseño, justificando técnicamente la propuesta para reducir riesgos eléctricos y de seguridad industrial.

3.5. POBLACION Y MUESTRA

Población:

Se encuentra constituida por la totalidad de los componentes estructurales críticos expuestos a la intemperie dentro de la planta envasadora de GLP. En estudios técnicos, la población puede ser definida como el grupo de objetos físicos o sistemas sujetos a evaluación bajo criterios estructurales y eléctricos (Morales, 2012).

Muestra:

Conformada por los componentes estructurales directamente expuestos al riesgo de descarga, como tanques, techos, plataformas, torres de iluminación y líneas metálicas. Se empleará un muestreo intencional,

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

adecuado cuando se requiere seleccionar elementos con características particulares de riesgo o criticidad (Hernández et al., 2014).

3.6. TECNICAS E INSTRUMNTOS Y FUENTES DE INSTRUMENTOS

Técnicas: Se aplicará la técnica de observación técnica estructurada y simulación computacional, consistente en recolectar datos dimensionales, realizar el levantamiento estructural y modelar la interacción con la esfera rodante mediante software especializado. Esta técnica es respaldada por la IEC 62305-3 (2010), que recomienda el uso de instrumentos de modelado y simulación para validar la eficacia del sistema de captación

Instrumentos: El instrumento principal será una ficha técnica de evaluación de riesgo de impacto de rayos, elaborada con base en la metodología de análisis de la IEC 62305-2, y complementada por software de simulación como AutoCAD 3D, Revit, o DEHNsupport Toolbox. Este instrumento permitirá analizar los puntos vulnerables, simular el recorrido de la esfera, y verificar la cobertura del sistema propuesto (DEHN, 2020).

3.7. PLAN DE RECOPILACION Y PROCEDIMIENTO DE DATOS

a. Fuentes de información:

- Primarias: levantamiento técnico de la infraestructura de la planta envasadora de gas (dimensiones de tanques, plataformas de envasado, patios de maniobra, cuartos eléctricos).
- Secundarias: mapas ceráunicos de OSINERGMIN, normativas internacionales (NFPA 780 e IEC 62305), bibliografía especializada

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

en subsistemas de salvaguardia frente a descargas electroatmosféricas, planos estructurales de la planta.

b. Instrumentos de recolección:

- Fichas técnicas y listas de verificación, para registrar características estructurales y puntos vulnerables.
- Planos CAD y tablas de cálculo, para el modelado geométrico mediante el procedimiento de la esfera traslativa.
- Documentación normativa, a modo de referencia para validar los parámetros de diseño.

c. Técnicas de recolección:

- Observación técnica directa de la planta envasadora de gas.
- Revisión documental de planos, normas y mapas de descargas atmosféricas.
- Cálculo ingenieril aplicando fórmulas de la NFPA 780.

3.8. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se realizará mediante un conjunto de procedimientos técnicos y analíticos, con el objetivo de transformar los datos recopilados en resultados útiles para el diseño del SPDA en la planta envasadora de gas.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Recolección de datos técnicos

- Se obtendrán datos sobre la tasa de incidencia de descargas electroatmosféricas en la ciudad de Juliaca a partir de los mapas ceráunicos proporcionados por OSINERGMIN.
- Se recopilarán las características estructurales de la planta envasadora, incluyendo dimensiones, ubicación de tanques de almacenamiento, plataforma de envasado y áreas de maniobra.
- Se revisarán las normativas técnicas aplicables (NFPA 780, IEC 62305, normas peruanas NTP).

Organización y clasificación de la información

- Los datos conseguidos se sistematizarán en tablas y esquemas, diferenciando información de tipo ambiental (incidencia de rayos, topografía) y de tipo estructural (dimensiones y materiales de la planta).
- Se establecerán parámetros de entrada para los cálculos de riesgo y de protección.

Procesamiento analítico y de cálculo

- Se aplicará la técnica de la esfera traslativa para determinar los sectores expuestos y protegidos dentro de la instalación.
- Se utilizarán fórmulas de la NFPA 780 (2020) para calcular el nivel de protección, la eficiencia necesaria y el número de pararrayos requeridos.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

- Se realizarán simulaciones geométricas del radio de cobertura de los pararrayos, considerando un radio de 30 m para Nivel II de protección.

Interpretación de resultados

- Se evaluará la suficiencia del sistema propuesto en términos de cobertura total del área crítica.
- Se verificará la correspondencia entre los resultados logrados y las exigencias de la normativa internacional.
- Se propondrá el diseño final del sistema, especificando número, altura y ubicación de pararrayos, así como el diseño de la red de aterramiento eléctrico.

Presentación de la información procesada

- Los hallazgos serán consignados mediante cuadros comparativos, planos de diseño, diagramas geométricos y memoria de cálculo.
- Se elaborará un informe técnico sustentado en normas y cálculos que respalde la viabilidad del sistema propuesto.

3.9. CONSTRATACION DE HIPOTESIS

Se recurrirá al tratamiento estadístico de carácter descriptivo, mediante la hermenéutica de los hallazgos a través de cuadros, esquemas gráficos y delineaciones planimétricas.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

3.10. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

Se garantiza mediante el uso de fuentes oficiales y normativas internacionales reconocidas, lo cual asegura que los datos empleados son congruentes e idóneos para la finalidad de la indagación. En este estudio:

- Se utilizan los mapas ceráunicos oficiales de OSINERGMIN, que registran la tasa anual de incidencia de descargas electroatmosféricas en el ámbito geográfico de Juliaca.
- Se emplean como referencia los estándares de la NFPA 780 (2020) y la IEC 62305, normas internacionales que establecen los criterios de diseño y verificación de SPDA.
- La información estructural de la planta envasadora de gas se obtiene de planos y especificaciones técnicas verificables.

De esta forma, la validez de los instrumentos utilizados está respaldada por la pertinencia científica, técnica y normativa de las fuentes de información.

3.10.1. Confiabilidad del instrumento

Se garantiza a través de la coherencia metodológica en la implementación de los cálculos y procedimientos ingenieriles, de modo que, si el estudio se repite bajo las mismas condiciones, se obtendrán resultados similares. Para ello:

- Los cálculos de riesgo y diseño se realizarán siguiendo fórmulas estandarizadas de la NFPA 780 (determinación de densidad de

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

rayos, área equivalente colectiva, categoría de resguardo y procedimiento de la esfera rodante).

- Se implementará una verificación cruzada de los resultados mediante tablas de cálculo en software de ingeniería (Excel, AutoCAD o similares), lo que permitirá comprobar la consistencia de los datos obtenidos.

- Los parámetros de diseño, como el radio de protección de los pararrayos y la ubicación óptima, estarán fundamentados en modelos matemáticos y geométricos, evitando criterios subjetivos.

En consecuencia, tanto la validez como la confiabilidad del instrumento están garantizadas, asegurando que el sistema de protección propuesto responda con rigor científico y técnico a la problemática planteada.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. MEMORIA DE CALCULO

La Metodología de Evaluación del Riesgo resulta sumamente útil, ya que permite identificar tanto las eventualidades a las que se halla expuesto el capital humano dentro de una instalación como los posibles daños que un rayo podría causar en la infraestructura. Una vez detectado el nivel de riesgo, se facilita la toma de decisiones respecto a la necesidad de implementar medidas de protección. Este enfoque se enfoca específicamente en el daño provocado por impactos directos de rayos sobre el edificio y en la cuantificación del flujo electrocinético generado por dichas descargas, lo que ayuda a determinar el tipo de sistema de protección adecuado en cada caso.

La tabulación del riesgo se efectúa siguiendo los lineamientos de la disposición normativa NFPA 780, la cual estipula que en la generalidad de las situaciones los requerimientos de implementar un SPDA es clara, tal como se evidencia en los ejemplos que se presentan a continuación:

- Instalaciones que brindan servicios ininterrumpidos cuya operación no puede ser suspendida en ninguna circunstancia.
- Instalaciones destinadas a albergar concentraciones masivas de personas.
- Edificio que contiene patrimonio cultural irremplazable.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

- Edificaciones destinadas al almacenamiento o manipulación de materiales explosivos o inflamables.
- Estructuras, edificaciones o inmuebles de gran altura.
- Zonas con elevada frecuencia de descargas electroatmosféricas.

La probabilidad de que una descarga atmosférica impacte una edificación o elemento depende de varios factores combinados, como la ubicación geográfica (es decir, el nivel isoceráunico), el tipo de construcción y la tasa de incidencia de descargas eléctricas registradas en el área geográfica. Este método de evaluación del riesgo tiene un carácter orientativo y considera, entre otros aspectos, la cantidad de rayos que ocurren anualmente en el área.

A continuación, se detallan los determinantes que inciden en esta estimación:

- La morfología edilicia del establecimiento.
- Los componentes albergados en el interior de la infraestructura.
- Los componentes albergados en el interior de la infraestructura.
- La densidad de ocupación humana en la edificación.
- Las alteraciones neurovasculares inducidas en los individuos a raíz del impacto de la descarga electroatmosférica.

Tabulación de la tasa promedio anual de ocurrencia de impactos de descargas electroatmosféricas (Nd): Con la probabilidad de que una estructura sea alcanzada por una descarga atmosférica, conocida como

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Nd, se determina mediante una fórmula específica que permite estimar este valor en función de distintas variables técnicas y del entorno:

$$Nd = Ng \times Ae \times C1 \times 10^{-6}$$

Donde:

Nd = Frecuencia anual de un rayo en la estructura.

Ng = Índice anual de incidencia de descargas electroatmosféricas en el ámbito territorial donde se emplaza la edificación.

C1 = Coeficiente de medio ambiente.

Ae = Área equivalente de la estructura (m2).

4.1.1. Densidad anual de rayos (Ng), entendido como la magnitud media anual de descargas electroatmosféricas que inciden sobre la superficie terrestre por unidad de área, se obtiene a partir del mapa de nivel isoceráunico elaborado por Osinergmin. Este valor es esencial para calcular el riesgo de impacto en una definitiva zona. ("Sistema de Pararrayos," 2015)

4.1.2. Área equivalente colectiva (Ae)

Este concepto hace referencia al terreno ocupado por la instalación a proteger, en el cual existe, en promedio, una posibilidad anual de que ocurra un impacto directo de rayo. El cálculo de esta área considera factores como la altura y la localización de la estructura, ya que estos influyen en la probabilidad de impacto.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Para determinar el área equivalente de una estructura colectiva, se proyecta una directriz con una inclinación de 1:3 a partir del punto de mayor elevación de la edificación hasta la superficie del terreno, rodeando totalmente la estructura. La superficie resultante de esta proyección corresponde al área equivalente colectiva. ("Sistema de Pararrayos," 2015)

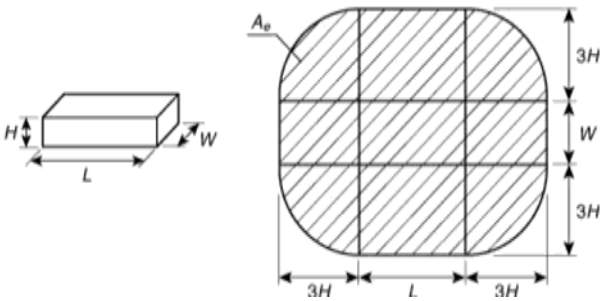
- Tabulación de la superficie equivalente conjunta para una edificación de geometría ortogonal:

$$Ae = LW + 6H\,(I + W) + \pi 9H^2$$

Figura 3

Tabulación alternativo del área de captación equivalente:

Este método considera estructuras que presentan una parte sobresaliente o prominente, y estima que toda la superficie ubicada en la parte inferior de dicha prominencia forma parte del área de captación. De este modo, se incluye en el cálculo toda la zona inferior influenciada por esa porción elevada de la edificación.



Nota: Versión excerpida y reelaborada conforme a NFPA 780, edición 2008

- Determinación de la superficie equivalente conjunta para estructuras con elementos prominentes:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

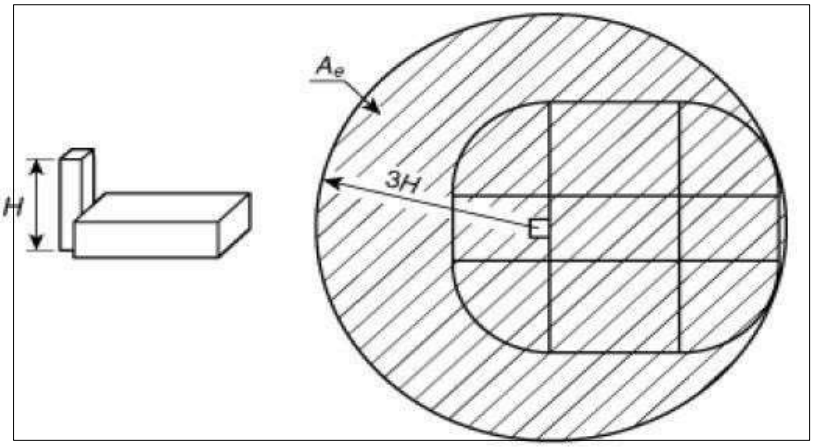
Cuando una estructura posee una parte sobresaliente que se extiende por encima del resto, se considera que dicha prominencia abarca y protege todas las secciones inferiores. Por lo tanto, la tabulación del área equivalente colectiva se realiza tomando en cuenta que esta parte elevada determina la zona de captación, incluyendo en ella toda la base de la estructura:

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

Figura 4

Estimación del área de captación equivalente en estructuras con elementos prominentes:

En aquellos casos donde la edificación cuenta con una sección sobresaliente que cubre o se extiende sobre las partes inferiores, se asume que esta porción elevada actúa como el punto principal de captación. Por lo tanto, el área equivalente se calcula considerando que dicha prominencia abarca y protege la totalidad de los sectores ubicados por debajo de ella.



Nota: Versión excerpida y reelaborada conforme a NFPA 780, edición 2008

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

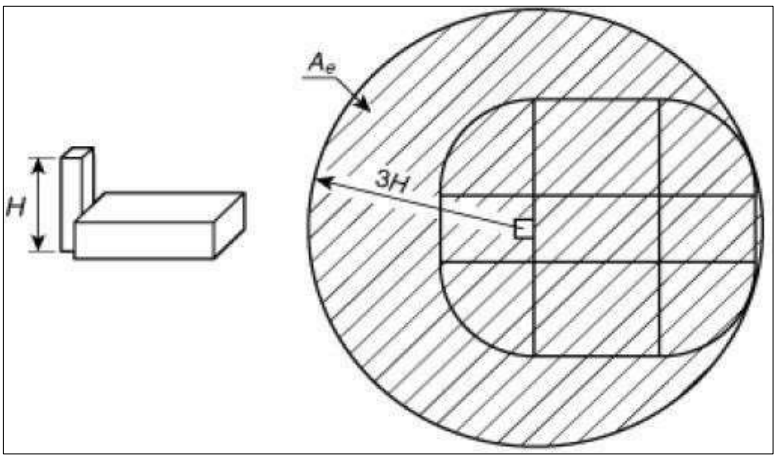
- Método supletorio para calcular la superficie equivalente conjunta en estructuras con elementos sobresalientes:

Cuando una estructura presenta una sección prominente que cubre completamente las porciones inferiores, se utiliza un enfoque alternativo para calcular el área equivalente colectiva. En este caso, se considera que dicha parte elevada actúa como punto dominante de captación, y por lo tanto, el área de influencia incluye todas las zonas situadas por debajo de esa prominencia: ("Pararrayos," 2015)

Figura 5

Determinación del área de captación en estructuras con elementos prominentes:

Cuando una estructura presenta una parte elevada que se extiende por encima de todas las secciones inferiores, se asume que esta prominencia centraliza el riesgo de impacto. Por ello, el área de captación equivalente se calcula considerando que dicha parte superior comprende y representa el conjunto de las zonas inferiores de la edificación.



OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Nota: Versión excerpida y reelaborada conforme a NFPA 780, edición 2008.

4.1.3. Coeficiente Ambiental (C1)

La configuración topográfica del terreno donde se ubica la estructura y la presencia de objetos situados dentro de un radio de 3H de la edificación, son elementos que pueden influir significativamente en el cálculo del área equivalente colectiva. Estos aspectos deben ser considerados al estimar el riesgo de impacto por descargas atmosféricas. (*"Pararrayos,"* 2015)

Los coeficientes correspondientes a las condiciones del entorno se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1

Determinaciones del Coeficiente C1 ambiental

COEFICIENTE C1 AMBIENTAL	
UBICACIÓN RELATIVA DE LA ESTRUCTURA	C1
Estructura ubicada en áreas donde existen otras edificaciones o árboles de igual o mayor altura en un radio de hasta tres veces su propia altura (3H)	0.25
Estructura rodeada por edificaciones de menor altura dentro de un radio equivalente a tres veces su propia altura (3H)."	0.5
Estructura aislada en una columna	2
Edificación exenta, desprovista de otras construcciones emplazadas a una separación de 3H	1

Nota: Adaptado de NFPA 780

Interpretación

La tabla muestra los valores del coeficiente C1, que representa la influencia del entorno sobre el riesgo de impacto de rayos. Se observa que las estructuras rodeadas por edificaciones o árboles altos tienen menor exposición (C1 = 0.25),

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

mientras que las aisladas sin protección natural presentan mayor riesgo (C1 = 1). El valor máximo (C1 = 2) corresponde a estructuras ubicadas en columnas o zonas elevadas, donde la probabilidad de impacto es mayor. Este coeficiente se emplea para ajustar la tabulación del riesgo y definir el nivel de protección adecuado del sistema contra descargas atmosféricas.

Cuando el área conjunta de captación isodinámica de una edificación abarca por completo a otra edificación cercana, esta última debe ser considerada dentro del análisis, ya que se encuentra incluida dentro de la zona de influencia de la estructura principal. ("Sistema de Pararrayos," 2015)

4.1.4. Tabulación de la frecuencia de descarga tolerable (Nc).

> Se utiliza como indicador para evaluar el nivel de riesgo o el posible daño que puede sufrir una estructura. Este valor considera diversos factores de riesgo que inciden directamente sobre la edificación, incluyendo las condiciones del entorno y las posibles pérdidas económicas asociadas a bienes materiales. ("Pararrayos," 2015)

La frecuencia de descargas admisible se representa a través de una fórmula específica, la cual permite cuantificar el nivel de riesgo aceptable para una estructura frente a impactos de rayos, considerando los factores previamente evaluados:

$$Nc = \frac{1.5\ x\ 10^3}{C}$$

En lo sucesivo:

$$C = C2 \times C3 \times C4 \times C5$$

Los coeficientes C se obtienen a partir de las subsiguientes matrices tabulares:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Tabla 2

Coeficiente Estructural C2

DETERMINACION DE COEFICIENTE ESTRUCTURAL c_2			
	Coeficientes Estructurales c_2		
ESTRUCTURA	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

Interpretación:

La tabla presenta los valores del coeficiente estructural C2, que evalúa el grado de riesgo de una estructura según el material constructivo y el tipo de techo. Se aprecia que las edificaciones metálicas con techo metálico poseen el menor riesgo (C2 = 0.5), debido a su capacidad de conducir la corriente hacia tierra. En cambio, las estructuras inflamables con techos del mismo tipo alcanzan el valor máximo (C2 = 3.0), reflejando el mayor nivel de vulnerabilidad ante descargas atmosféricas. Este coeficiente permite ponderar la resistencia y seguridad estructural en el cálculo del riesgo total.

Tabla 3

Contenido de la Estructura Coeficiente C3

ESTRUCTURA COEFICIENTE C_3	
De escasa cuantía económica y no combustible	C_3
De valor regulado y no susceptible a ignición	0.5
De elevada cuantía económica, con combustibilidad moderada	1.0
De valor extraordinario, con equipamiento electrónico especializado y carácter inflamable	2.0
De valor excepcional e irreemplazable, con bienes de carácter patrimonial-cultural	3.0
De escasa cuantía económica y no combustible	4.0

Nota: Adaptado de NFPA 780

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Interpretación

La tabla muestra los valores del coeficiente C3, que mide el riesgo asociado al tipo de contenido dentro de la estructura. Los valores bajos (C3 = 0.5–1.0) corresponden a materiales de bajo valor o no inflamables, mientras que los más altos (C3 = 3.0–4.0) representan contenidos inflamables, de alto valor o insustituibles, como bienes culturales o equipos electrónicos especiales. Este coeficiente permite estimar la pérdida potencial y la criticidad del contenido, influyendo directamente en la evaluación del riesgo por descarga atmosférica.

Tabla 4

Contenido de la Estructura Coeficiente C4

CONTENIDO DE LA ESTRUCTURA COEFICIENTE C_4	
Ocupación 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

Interpretación

La tabla presenta los valores del coeficiente C4, que considera el grado de ocupación humana dentro de la estructura. Las edificaciones desocupadas tienen menor riesgo (C4 = 0.5), mientras que las normalmente ocupadas mantienen un riesgo moderado (C4 = 1.0). En cambio, las estructuras donde existe dificultad para evacuar o riesgo de pánico, como plantas industriales o áreas confinadas, alcanzan el valor

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

máximo (C4 = 3.0), reflejando la mayor prioridad de protección ante descargas atmosféricas.

Tabla 5

Contenido de la Estructura Coeficiente C5

ESTRUCTURA COEFICIENTE C_5	
OCUPACION DE ESTRUCTURA	C_5
La continuidad operativa de la instalación no es esencial y su interrupción no genera impacto ambiental significativo	1.0
La operación continua de la instalación es necesaria, aunque su interrupción implicaría un impacto ambiental limitado	5.0
Consecuencia para el medio ambiente	10

Nota: Adaptado de NFPA 780

Interpretación

La tabla muestra los valores del coeficiente C5, que evalúa la importancia funcional y el impacto ambiental asociado a la continuidad operativa de una instalación. Cuando la continuidad del servicio no es esencial, el riesgo es mínimo (C5 = 1.0). Si la operación es necesaria, pero con bajo impacto ambiental, el valor aumenta a C5 = 5.0. En instalaciones donde una falla puede generar consecuencias graves para el medio ambiente, el valor máximo (C5 = 10) refleja la máxima criticidad y necesidad de protección frente a descargas atmosféricas.

4.1.5. Elección del grado de Protección

Se contrasta con la frecuencia de descargas estimada o esperada (Nd). Esta comparación es clave para determinar si se requiere la

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

implementación de un SPDA en la estructura analizada. (*"Pararrayos,"* 2015)

Si Nd > Nc, Es indispensable la instalación de un SPDA, el cual debe contemplar un tratamiento integral que garantice la seguridad de la estructura frente a este tipo de fenómenos. (*"Pararrayos,"* 2015)

Si Nd ≤ Nc, La instalación de un SPDA puede considerarse opcional, siempre que el nivel de riesgo evaluado se mantenga por debajo del umbral establecido por la normativa vigente. (*"Sistema de Pararrayos,"* 2015)

En caso de que se cree la necesidad de un SPDA, su instalación deberá realizarse conforme a los lineamientos establecidos por la norma correspondiente. No obstante, cualquier disposición legal o reglamentaria vigente relacionada con este tipo de sistemas tendrá prioridad sobre los resultados logrados en la evaluación del riesgo. ("Calculo Para Sistema de Pararrayos," 2015)

Cuando una edificación ya cuenta con un SPDA, es importante considerar también la implementación de medidas complementarias de protección. Estas acciones adicionales contribuyen a reforzar la seguridad del sistema y a minimizar aún más los posibles efectos de las descargas. ("Pararrayos," 2015)

- Los mecanismos de contención que restringen la difusión.
- Los dispositivos de mitigación que atenúan la tensión de contacto.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

- Estrategias orientadas a reducir los efectos inducidos por descargas atmosféricas en equipos electrónicos sensibles, como los utilizados en hospitales, centros de datos y otras instalaciones críticas.

- Las medidas que limitan las tensiones inducidas.

El coeficiente de eficacia requerido Ec queda formalmente determinado mediante la siguiente relación:

$$Ec = 1 - {}^{Nc}/_{Nd}$$

Se trata de la proporción entre la cantidad media anual de ocurrencias de descargas electroatmosféricas directas con potencial lesivo sobre una edificación y el total de eventos de descargas directas incidentes que ésta podría experimentar.

Una vez establecida la eficiencia necesaria para mitigar el riesgo, se procede a seleccionar el nivel de protección más apropiado para la instalación.

Tabla 6

Grado de la Eficacia Necesaria

EFICACIA NECESARIA (Ec=1-Nc/Nd)					
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%	
Tasa de ocurrencia con la que una descarga			III	80 al 90%	
			IV	Menor al	

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

electroatmosférica prevista incide sobre la edificación				80%	

Producción autogenerada

4.1.6. Zona de protección

En el ámbito norteamericano, tanto los dispositivos como las infraestructuras se tipifican en función del nivel de protección que requieren frente a descarga atmosférica, lo que permite aplicar soluciones específicas según el grado de riesgo asociado a cada caso. Referencia: ANSI/NFPA.

PRIMERA CLASE. - En esta categoría demandan poca o ninguna protección adicional frente a descargas atmosféricas, siempre y cuando cuenten con una conexión efectiva a tierra. Algunos ejemplos típicos de este tipo de estructuras son los siguientes:

Entre los ejemplos de estructuras que requieren poca o ninguna protección adicional contra descargas atmosféricas siempre que estén correctamente conectadas a tierra se incluyen: todas las estructuras metálicas, con excepción de los tanques u otras que almacenen materiales inflamables; tanques de agua, silos y otras construcciones similar predominantemente metálicas; así como astas de banderas fabricadas con materiales conductores.

SEGUNDA CLASE. - Esta categoría incluye edificaciones que cuentan con una cubierta conductora pero cuya estructura principal no lo es, como por ejemplo los edificios con techos metálicos. En estos casos, se requiere la instalación de conductores que vinculen la cubierta con los dispositivos

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

de aterramiento para garantizar una salvaguardia adecuada frente a descargas atmosféricas.

TERCERA CLASE. - Esta categoría comprende edificaciones con estructura metálica, pero con cubiertas no conductoras. Para proteger este tipo de construcciones, es necesario instalar elementos captores elevados interconectados directamente a la armazón metálica y ubicados externamente a la cubierta, para que funcionen en calidad de captadores de descargas atmosféricas.

CUARTA CLASE. - Esta categoría corresponde a estructuras construidas con materiales no metálicos que requieren sistemas de protección contra descarga atmosférica.

Entre ellas se encuentran edificaciones de piedra, madera, mampostería cerámica u otros compuestos dieléctricos, que no incorporan componentes metálicos de reforzamiento estructural en su estructura.

Conductos de evacuación de humos. Incluso cuando estas estructuras incorporan elementos metálicos de refuerzo, es fundamental que cuenten con un subsistema integral de resguardo frente a descargas electroatmosféricas.

Esto incluye el montaje de dispositivo captor elevado, conductor descendente y elemento de aterramiento, que permitan canalizar de manera controlada las descargas eléctricas hacia el suelo.

QUINTA CLASE. - Abarca aquellas instalaciones cuya pérdida implicaría consecuencias significativas, por lo que suelen contar con un SPDA

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

totalmente integrado. Este sistema incluye terminales aéreas, conductores de bajada y electrodos de puesta a tierra. Dentro de esta clase se encuentran, por ejemplo, las siguientes estructuras:

- Edificio de elevada valía estética, patrimonial o inherente.
- Edificio albergando combustible u material explosivo.
- Tanques o conjuntos de tanques.
- Estructuras que almacenan sustancias potencialmente peligrosas, cuyo derrame podría producirse como resultado de una descarga atmosférica.
- Complejos energéticos y estación de impulsión.
- Subestaciones eléctricas.
- Redes de conducción eléctrica de alta tensión.

4.2. MÉTODOS PARA LA TABULACION DEL SISTEMA DE PARARRAYOS

Para realizar las tabulaciones correspondientes al diseño del subsistema de captación de descargas electroatmosféricas en el sector en el cual se emplazará la infraestructura, y una vez definido tanto el nivel como la zona de protección requeridos según lo establecido en la norma NFPA 780 (edición 2020), es indispensable contar con la siguiente información:

- Ubicación geoespacial de la edificación, evaluando si la misma se encuentra en condición exenta, situada en la cota superior de una prominencia topográfica, rodeada por edificaciones más altas o bajas.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

- Dimensiones de la Estructura
- Frecuencia de ocupación.
- Dificultades de accesos.
- Riesgos de pánico.
- Contenido de la estructura.
- Cantidad de servicio.
- Naturaleza del techo.
- Forma e inclinación de los techos.

4.3. Determinaciones de los Métodos de Tabulación a Emplear

Las técnicas sugeridas conforme a la NFPA-780/2020 son:

- El fundamento de la envolvente electrostática conforme a Faraday.
- El postulado del conductor captor elevado de acuerdo con Franklin.
- El método de la esfera giratoria de Golde.

Con base en las condiciones previamente descritas, y considerando tanto el nivel isoceráunico como las características de protección requeridas, se aplicará la metodología de la esfera itinerante, derivado de las formulaciones conceptuales modelos electrogeométricos. Este enfoque permite definir con mayor precisión las zonas de SPDA.

4.3.1. Métodos de la esfera giratoria o rodante.

Se emplea un método conocido como modelo electrogeométrico o 'método de la esfera rodante' para salvaguardar edificaciones frente a descargas atmosféricas, como los rayos. Tradicionalmente, este método se ha aplicado de forma gráfica, representando las zonas de protección

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

mediante planos a escala. Sin embargo, este enfoque gráfico presenta limitaciones en términos de precisión y dependencia de la planimetría. Para los ingenieros, resulta fundamental contar con un modelo formalismo analítico que les acceda analizar la dinámica operativa del SPDA con un grado superior de exactitud y sin limitaciones de representación gráfica. Por ello, la finalidad de este trabajo es desarrollar un compendio de expresiones matemáticas que posibilite a los ingenieros electricistas el cálculo y diseño de la topología de un SPDA, permitiendo su verificación matemática y la generación de representaciones gráficas del sistema. (Mora Martínez, 2017)

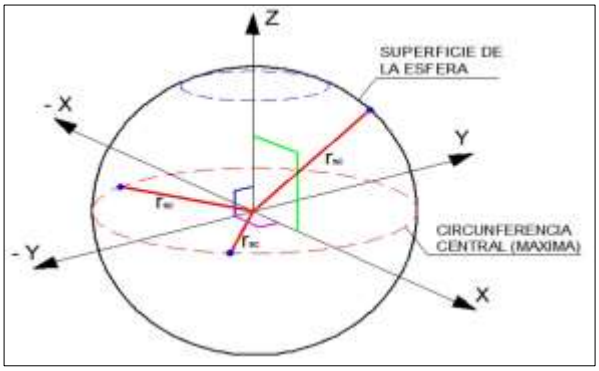
La técnica de la esfera traslativa constituye una derivación del esquema electrogeométrico. Este procedimiento se fundamenta en concebir una envolvente esférica con un diámetro proporcional al alcance de impacto, la cual se hace rodar sobre el contorno de las estructuras que se desean proteger contra descargas eléctricas. Los puntos que la esfera no alcanza a tocar se consideran dentro de la zona segura. (Mora Martínez, 2017)

El radio r_{sc}, utilizado en este método, se calcula de forma similar al modelo electrogeométrico. Aunque es habitual emplear un radio estándar de 150 pies (equivalente a 45.72 m), para los fines de este proyecto se adoptará un radio de 30 metros como parámetro referencial para la configuración del subsistema de salvaguardia. (Mora Martínez, 2020)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Tabla 7

Corte transversal de una esfera, que describe una circunferencia

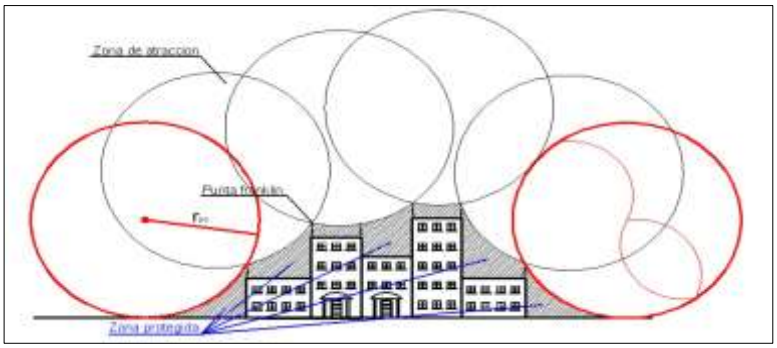


Nota: Adaptado de NFPA 780

Esta esfera debe apoyarse únicamente en los extremos de los terminales de captación y, finalmente, descender hasta el suelo sin tocar ninguna parte de la superestructura, generando de esta manera una zona de resguardo integral que envuelve por completo la edificación. Es importante destacar que la técnica de la esfera traslativa debe implementarse tanto en sentido longitudinal como transversal, cubriendo toda la extensión del edificio a proteger. (Mora Martínez, 2017)

Tabla 8

Aplicación de los métodos de la esfera rodante



Nota: Adaptación de la técnica de la esfera traslativa, conforme a el estándar NFPA 780, aplicado al análisis de una estructura de configuración compuesta

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Aunque la técnica de la esfera traslativa ha sido empleada convencionalmente de manera gráfica, este trabajo busca desarrollar un modelo matemático que permita a los ingenieros diseñar sistemas de apantallamiento usando solo herramientas como geometría, trigonometría y álgebra. Con ello, se podrá calcular con mayor precisión el área protegida y la ubicación ideal de los pararrayos, asegurando una cobertura eficaz según los requisitos del diseño. (Mora Martínez, 2017)

Este proyecto tiene como objetivo analizar los distintos escenarios que pueden surgir en la práctica al diseñar un sistema de apantallamiento. A partir de este análisis, se busca desarrollar un conjunto de ecuaciones que acceda tabular, de manera analítica, todas las variables relevantes que deben considerarse durante el proceso de diseño. (Mora Martínez, 2020)

Dado que la envolvente esférica traslativa posee una circunferencia cuyo diámetro máximo atraviesa su punto central y recorre todo su ecuador, se propone simplificar los cálculos utilizando dicha circunferencia como base. Esta simplificación no compromete la efectividad del método, ya que todo punto ubicado sobre la superficie esférica mantiene una distancia constante respecto al centro, igual al radio "r_{sc}". (Mora Martínez, 2017)

4.3.2. Conceptos para el caso 1

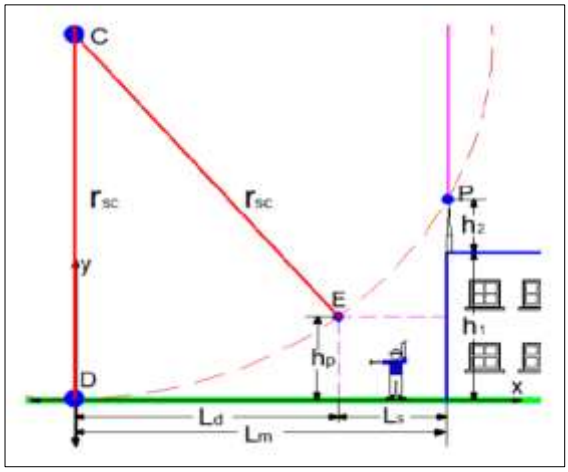
El supuesto inicial se evidencia en el instante en que la esfera traslativa establece contacto con la superficie del terreno y, de forma concurrente, con un elemento captor puntual situado en uno de los vértices de la edificación. Este escenario representa una de las condiciones básicas a

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

considerar al calcular el área protegida mediante este método. (Mora Martínez, 2020)

Tabla 9

Altura protegida hp



Nota: Adaptado de (Mora Martínez, 2017)

Donde:

- Lm: Se refiere a la distancia de alcance de impacto, es decir, la separación límite entre la estructura y el punto del terreno con mayor probabilidad de ser interceptado directamente por una descarga electroatmosférica.
- Ld: Corresponde al espaciamiento de diseño que representa la distancia entre el punto de incidencia y la zona de resguardo.
- hp: Altura protegida.
- Ls: Distancia protegida que corresponde a la amplitud de la región de seguridad adyacente a la infraestructura.
- h1: Altura de la edificación en la cual se encuentra instalado el dispositivo captor.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

- h2: Altura del pararrayos

Separación de impacto:

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

Distanciamiento de incidencia:

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

Intervalo de configuración:

$$Ls = Lm - Ld$$

Altura Protegida:

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

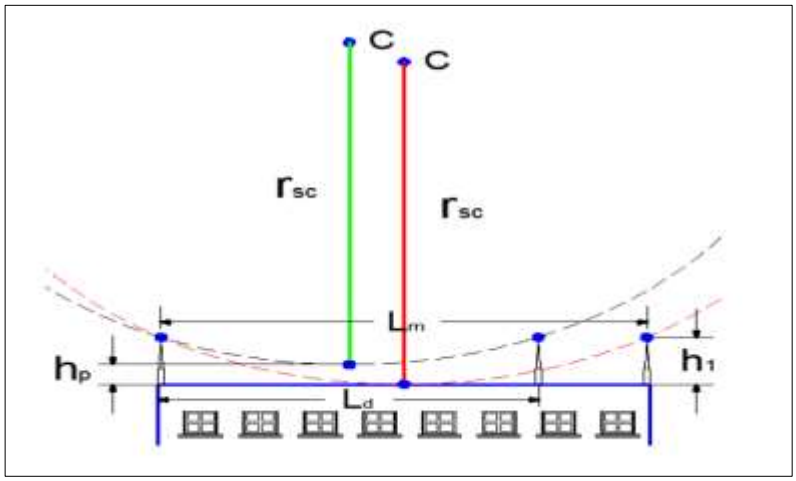
4.3.3. Conceptos para el caso 2

El segundo caso ocurre cuando la esfera rodante se apoya simultáneamente sobre la parte superior de dos puntas captadoras que se encuentran a la misma altura sobre la edificación. Este escenario permite definir el área de protección generada entre ambas puntas, clave para el diseño de sistemas distribuidos de captación. (Mora Martínez, 2020)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 6

Altura y separación protegidas en superficies



Nota: Adaptado de (Mora Martínez, 2017)

Donde:

- Ld: Corresponde a el espaciamiento de configuración, es decir, la distancia entre dispositivos captores que, al ser dispuestos conforme a dicha medida, al ser instalados a esa medida específica, generan una zona de protección segura entre la esfera rodante y la estructura, evitando el contacto directo con la edificación. (Mora Martínez, 2017)

- Lm: Se entiende por separación de impacto la distancia máxima entre pararrayos que aún permite que una descarga eléctrica pueda impactar directamente algún punto de la edificación, dejando así zonas sin protección efectiva.

- h1: Altura del pararrayos
- hp: La altura protegida

Distanciamiento de incidencia:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

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

Intervalo de configuración:

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

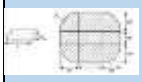
Altura Protegida

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

4.4. Determinación del nivel de protección

Tabla 10

Sistema de Protección por tablas en Excel

DETERMINACION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION					
DATOS DE ENTRADA		**CALCULO**			**RESULTADO**
	Equivalente colectiva zona Ae = LW + 6H(L + W) + pi9H^2 Aplicable a configuraciones estructurales de geometría rectangular.	L		m	**Ae = 0**
		W		m	
		H		m	
		H^2		m2	
	área colectiva equivalente para una estructura, en la que una parte prominente abarca todas las partes de la parte inferior de la estructura Ae= piH^2	H	15	m	**Ae = 706.86**
Frecuencia que un rayo esperado, golpee a la estructura Nd = (Ng)(Ae)(C1)(10^6)		Ng	=	1.18	**Nd = 0.00083409**
		Ae	=	706.86	
		C1	=	1	
Frecuencia de descargas tolerable a la estructura Nc = (1.5 x 10-3) / C Donde: C = (C2)(C3)(C4)(C5)		C2	=	1	**Nc = 0.00005**
		C3	=	3	
		C4	=	1	
		C5	=	10	
Si Nd ≤ Nc, un LPS puede ser opcional. Si Nd > Nc, un LPS debe ser instalado.		**DETERMINACIÓN, SE DECIDE QUE**			**SI, COLOCAR PARARRAYOS**

Fuente: Elaboración propia

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Interpretación

La tabla muestra la aplicación práctica del cálculo de riesgo para definir la instalación del SPDA. Se determinaron los valores del área equivalente colectiva (Ae = 706.86 m²) y de la densidad de rayos (Ng = 1.18), obteniéndose una frecuencia esperada de impactos Nd = 0.00083409.

Con los coeficientes estructurales (C2 = 1, C3 = 3, C4 = 1, C5 = 10), se calculó una frecuencia tolerable Nc = 0.00005. Al compararse ambos valores (Nd > Nc), se resulta imprescindible la implementación de un dispositivo de resguardo estructural mediante pararrayos. Este resultado confirma la alta vulnerabilidad de la estructura y justifica la implementación de un LPS completo según los estándares de la NFPA 780 (2020)

El índice de riesgo establece que, si la frecuencia estimada de descargas (Nd) es mayor que la frecuencia admisible (Nc), se debe proceder con la instalación de un SPDA, el cual debe contemplar la totalidad de los componentes imprescindibles para una protección integral. (*"Pararrayos,"* 2015)

El análisis final arrojó un resultado de 0.00083409, valor que supera el umbral de 0.00005 establecido por la norma NFPA-780. Por lo tanto, se concluye que es necesario instalar un SPDA en la estructura evaluada. (*"Pararrayos,"* 2015)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

4.4.1. Determinaciones de la eficiencia necesaria (Ec)

Ecuación:

$$Ec = 1 - {}^{Nc}/_{Nd}$$

$$Ec = 94.01\%$$

Una vez cuantificada la operatividad óptima requerida, se procede a seleccionar la categoría correspondiente de salvaguarda estructural.

Tabla 11

Nivel de la Eficacia Necesaria

NIVEL DE LA EFICACIOA NECESARIA (Ec=1-Nc/Nd)						
DATOS DE ENTRADA			EFICACIA CALCULADA	NIVEL DE PROTECCION	EFICACIA	NIVEL A SER CONCIDERADO
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 %	--

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

La tabla presenta el cálculo de la eficacia necesaria (Ec) para el SPDA, obtenida mediante la relación Ec = 1 – (Nc/Nd). Con una frecuencia tolerable Nc = 0.00005 y una frecuencia esperada de impacto Nd = 0.000834095, se obtuvo una eficacia del 94.01%, correspondiente al Nivel II de protección según la NFPA 780 (2020).

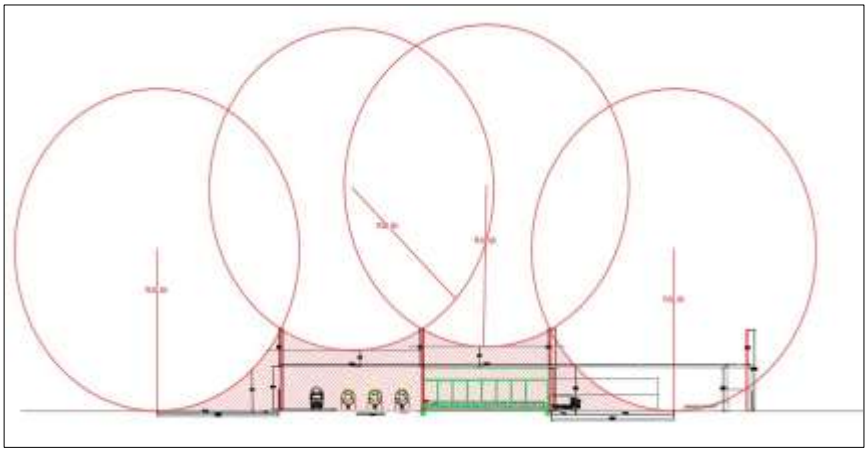
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Este resultado indica que el sistema debe ofrecer alta sensibilidad y cobertura frente a descargas atmosféricas, garantizando una protección confiable y adecuada para la planta envasadora de gas.

Dado que se conocen la magnitud dimensional de la edificación y la cota vertical del captor de descargas atmosféricas, es de 15.00 metros, y considerando que el nivel de riesgo ha sido clasificado como II, el radio de la esfera rodante correspondiente será de 30 metros. Bajo estas condiciones, la esfera se desplazará sobre la estructura siguiendo un trayecto que permita evaluar las zonas protegidas de acuerdo con dicho radio:

Figura 7

Instalación eléctrica de 4 pararrayos – Vista lateral

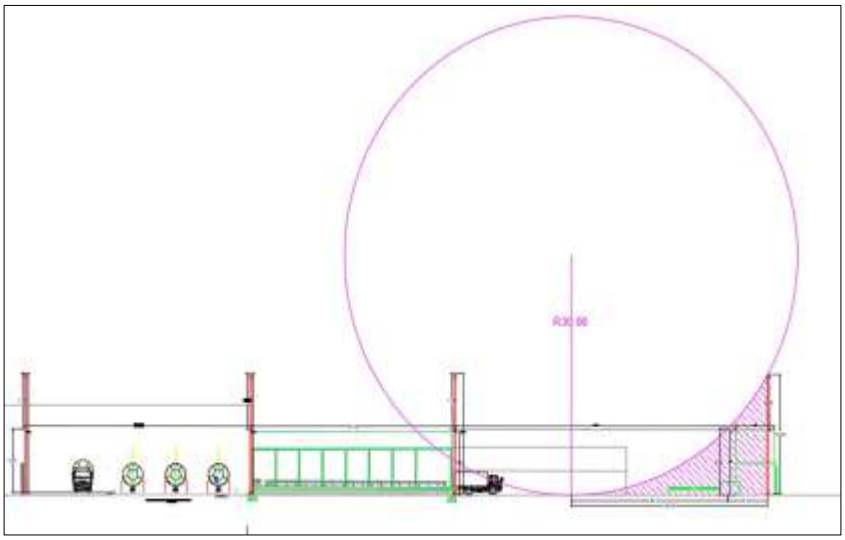


Producción autogenerada

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 8

Instalación eléctrica de un pararrayo – Vista lateral



Producción autogenerada

4.4.2. Tabulación de la sección lateral izquierda

$$h_1 = 8.00\ m$$

$$h_2 = 7.00\ m$$

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

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

Distanciamiento de incidencia:

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

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

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

$$Lm = 25\ m$$

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Intervalo de configuración:

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

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

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

$$\mathrm{Ld} = 20\,m$$

Separación Protegida

$$Ls = Lm - Ld$$

$$Ls = 25\,m - 20m$$

$$Ls = 5\,m$$

Altura Protegida:

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

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

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

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

$$hp = -22.36 + 30$$

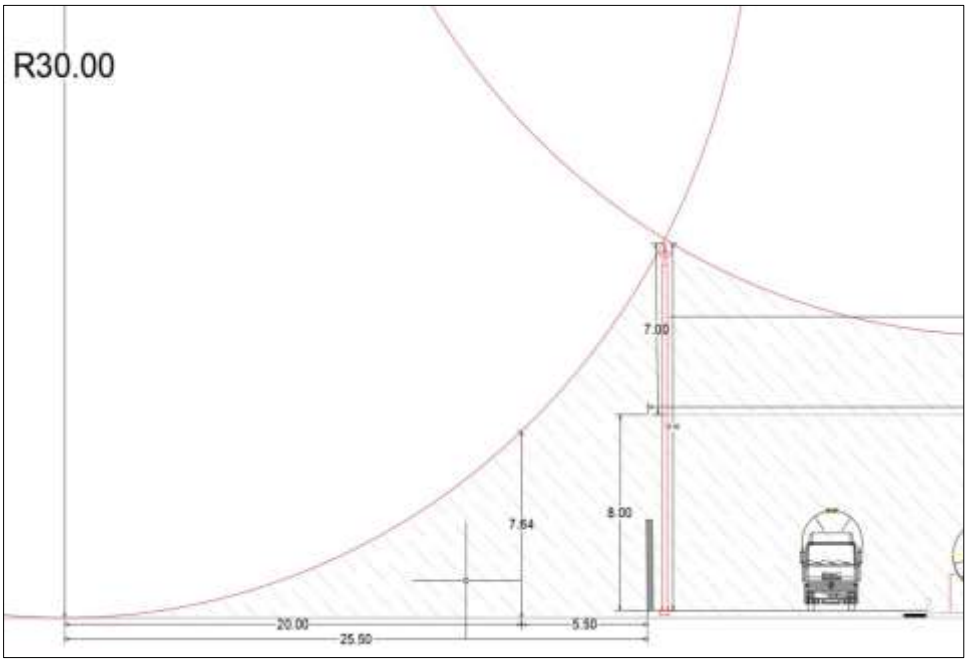
$$hp = 7.46\,m$$

Resultados se manifiestan en la figura:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 9

Instalaciones eléctricas de un pararrayo – Vista lateral



Producción autogenerada

4.4.3. Cálculos de las selecciones superior izquierda (cisterna de abastecimiento y tanques de almacenamiento):

$$h_1 = 7.00\, m$$

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

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

Distanciamiento de incidencia:

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

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

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

$$Lm = 38.5\, m$$

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Intervalo de configuración:

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

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

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

$$Ld = 30.8\, m$$

$$Ld = real\ en\ planta\ 30.0\, m$$

Teniendo en cuenta que la separación de diseño establecida es de 30.0 metros, se adoptará una distancia máxima de 30.8 metros entre electrodos para el diseño del sistema. Este valor servirá como base para calcular la altura efectiva de protección dentro del área cubierta por el sistema de pararrayos.

Altura Protegida:

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

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

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

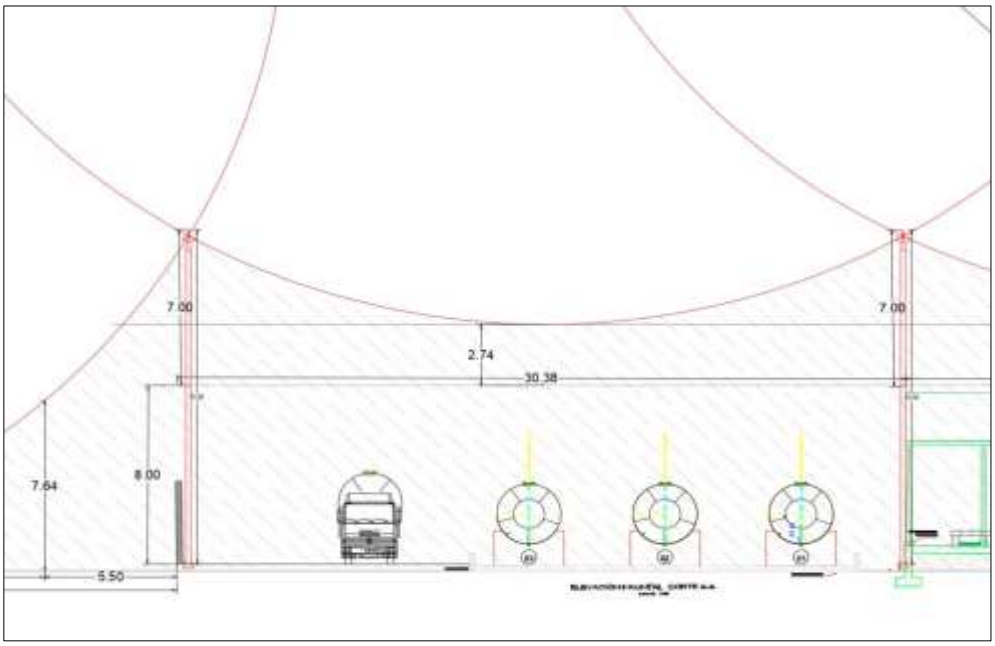
$$hp = 2.98\, m \approx 3.00\, m$$

Resultados se manifiestan en la figura:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 10

Instalaciones eléctricas de 2 pararrayos – Vista lateral



Producción autogenerada

4.4.4. Cálculos de las secciones central (plataforma de envasado)

$$h_1 = 7.00\ m$$

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

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

Distanciamiento de incidencia:

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

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

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

$$Lm = 38.5\ m$$

Intervalo de configuración:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

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

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

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

$$Ld = 30.8\, m$$

$$Ld = real\ en\ planta\ 27.0\, m$$

Partiendo de una separación de diseño de 27.0 metros, se establecerá una distancia máxima de 30.8 metros entre electrodos para el desarrollo del diseño. Este valor será utilizado como referencia para calcular la altura que quedará protegida dentro del sistema de captación.

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

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

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

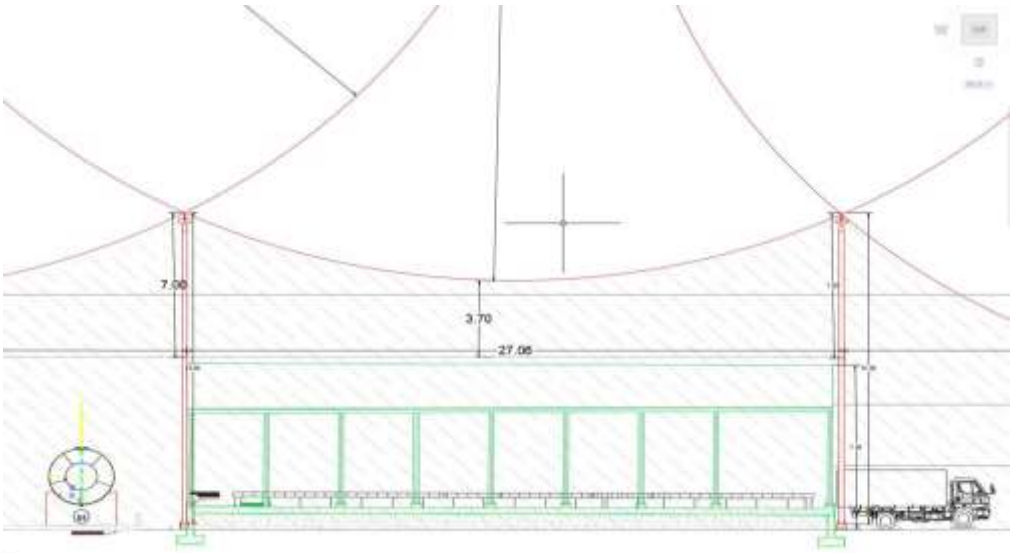
$$hp = 3.7\, m$$

Resultados se manifiestan en la figura:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 11

instalaciones eléctricas de 2 pararrayos de 7m de altura – Vista lateral



Elaboración Propia

4.4.5. Tabulación de la Sección Lateral Derecha (Patio de Maniobras)

$$h_1 = 8.00\,m$$

$$h_2 = 7.00\,m$$

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

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

- Separación de Impacto:

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

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

$$Lm = \sqrt{900 - 225}$$
$$Lm = 25\,m$$

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Separación de diseño:

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

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

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

$$Ld = 20\ m$$

Distancia Salvaguardada:

$$Ls = Lm - Ld$$

$$Ls = 25\ m + 20\ m$$

$$Ls = 5\ m$$

Cota Resguardada:

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

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

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

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

$$hp = -22.36 + 30$$

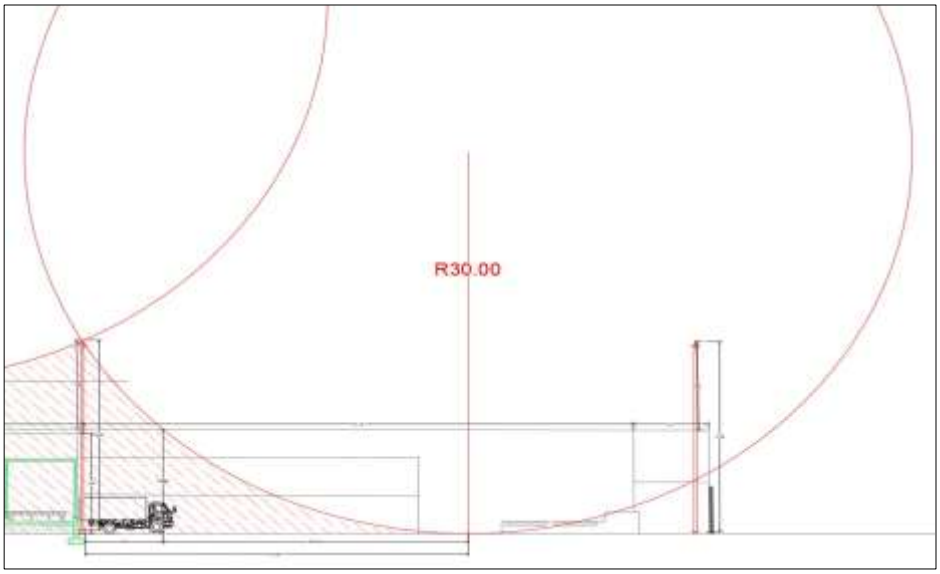
$$hp = 7.64\ m$$

Resultados se manifiestan en la siguiente figura:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Figura 12

Instalaciones eléctricas de un pararrayo – Vista lateral



Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabulación realizados para los captadores de descargas atmosféricas Nº2, Nº3 y Nº4, se concluye que sus ubicaciones son adecuadas para brindar protección efectiva a las instalaciones de la planta envasadora. En particular, cubren las áreas críticas como la zona de tanques de almacenamientos, el patio operacional o sector de maniobras, destinada a la recepción y despacho de vehículos de distribución, la plataforma de envasado y el área de descarga de camiones cisterna. Todos estos pararrayos se instalarán a una altura uniforme de 15 metros.

En cuanto al captador de descargas atmosféricas N°1, este funcionará de forma independiente con el propósito de proteger áreas específicas como el Sector de Bombas del Sistema Antiincendios, el Compartmento de Máquinas, la Sala de Tableros y el Almacén General.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

La tabulación correspondiente a este pararrayos se desarrolla de la siguiente manera.

4.4.6. Tabulación de la Sección Lateral Derecha e Izquierda (Salada De Tableros, Cuarto De Bombas SCI, Sala De Máquinas y Almacén)

$$h_1 = 8.13\ m$$

$$h_2 = 7.00\ m$$

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

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

Separación de Impacto:

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

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

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

$$Lm = 26.05\ m$$

Separación de diseño:

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

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

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

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

$$Ld = 20.84\ m$$

Separación Protegida:

$$Ls = Lm - Ld$$

$$Ls = 26.05\ m + 20.84\ m$$

$$Ls = 5.20\ m$$

Cota Resguardada:

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

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

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

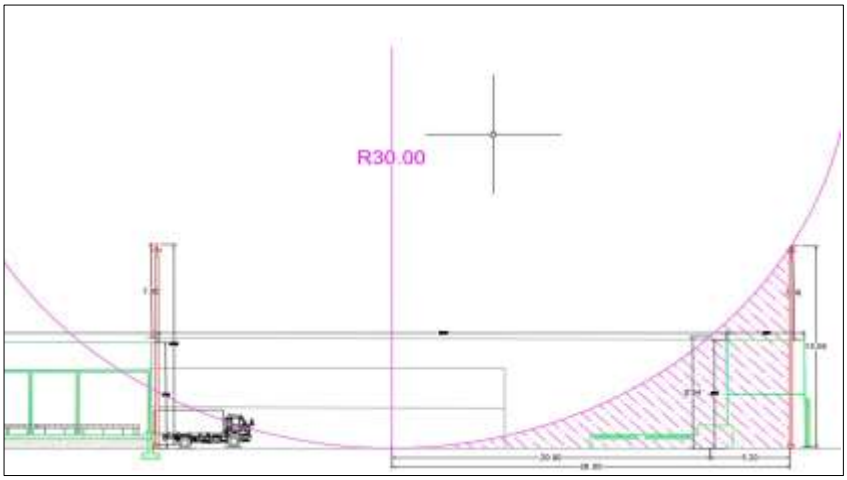
$$hp = -\sqrt{465.69} + 30$$

$$hp = -21.36 + 30$$

$$hp = 8.13\ m$$

Figura 13

instalaciones eléctricas de un pararrayo – Vista lateral



Fuente: Elaboración propia

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Con base en la tabulación realizados para el Pararrayo Nº1, se concluye que su ubicación garantiza una cobertura adecuada para la protección de áreas clave dentro de la planta envasadora, incluyendo el Sector de Bombas del Sistema Antiincendios, el Compartmento de Máquinas, la Sala de Tableros y el Almacén General. Este pararrayos se instalará a una altura de 15 metros, al igual que los demás dispositivos de captación previstos en el interior del establecimiento.

DISCUSIÓN

Según las tabulaciones efectuados para el SPDA, aplicando los lineamientos establecidos en la norma NFPA 780, se logró determinar de manera precisa la elección de los pararrayos y el diseño del sistema de captación destinado a proteger adecuadamente las infraestructuras del complejo envasador de GLP.

4.4.7. Selección de Pararrayos Para Manejar

Con base en el Atlas Ceraúnico del Perú, compilado por Osinergmin, la densidad media de ocurrencia de descargas eléctricas atmosféricas en la zona es de 15. Con base en este valor, y considerando que el Índice de Riesgo calculado fue de 0.000834095 superior al umbral de 0.00005 (Nd > Nc), se concluye que es necesario implementar un SPDA. Asimismo, según la información proporcionada por el plano de distribución del establecimiento, se ha determinado que el área total a proteger es de 5,700.00 m², específicamente en las zonas donde se ubicarán el Sistema de Tanques Estacionarios (S.T.E.) y el área de Envasado.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Se ha optado por un sistema integral de captadores de descargas atmosféricas del modelo Dipolo-Corona, el cual, según especificaciones del fabricante, ofrece un radio de resguardo de 30 m cuando se instala a una cota mínima de 10 m. Este dispositivo está diseñado para soportar corrientes de hasta 40,000 amperios, permitiendo la conducción de descargas atmosféricas recurrentes sin sufrir deterioro ni requerir mantenimiento.

El sistema está compuesto por los siguientes:

- Anillo equipotencial.
- Adaptador Concéntrico.
- Zapata de conexión.
- Varilla de descarga.
- Disco Dieléctrico con excitador Toroidal.

Se sugiere implementar este artefacto integral mediante un elemento de electroconducción para disipación geoeléctrica con un conductor de calibre mínimo 1/0 AWG, preferiblemente de la misma marca que el captador de descargas atmosféricas, con el fin de garantizar la compatibilidad y el desempeño óptimo del sistema de protección.

4.4.8. Para el Sistema de Captación

Según la clasificación de zonas establecida por la norma ANSI/NFPA, el área destinada a la Unidad de Procesamiento y Envasado de GLP se encuentra incorporada en la Quinta Categoría. Por consiguiente, esta área

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

requiere recibir una intervención integral en la elección del sistema de captadores de descargas atmosféricas, lo que implica la realización del cálculo del índice de riesgo y la implementación de un SPDA. (*"Pararrayos,"* 2015)

El índice de riesgo es una herramienta que accede determinar si es necesario instalar un SPDA, basándose en el criterio de que si Nd (frecuencia estimada de descargas) es mayor que Nc (frecuencia admisible), la instalación del sistema es obligatoria; de lo contrario, su implementación es opcional. En este caso, el análisis final arrojó un resultado de 0.000834095 > 0.0005. Por lo tanto, conforme a lo determinado en la norma NFPA 780-2020, se concluye que debe instalarse un SPDA (*"Pararrayos,"* 2015)

Dado el índice ceraúnico regional (15), la categoría de riesgo del sector y los datos técnicos disponibles, se sugiere instalar un sistema de captadores de descargas atmosféricas tipo Dipolo-Corona. Este modelo, según el fabricante, brinda una cobertura de hasta 30 metros de radio a una cota de 11 metros, y conforma las normas IEC 61024-1 y NFPA 780/2020.

Los 4 captadores de descargas atmosféricas definidos en este compendio de tabulación deberán ser instalados sobre mástiles, sumando a cada uno la punta del tipo Dipolo Corona, alcanzando así una altura total de 15.00 metros. Según el proveedor, este modelo genera un cono de protección con un ángulo de 72°, lo que se traduce en un radio de resguardo geoeléctrico de 46.15 m. A partir de dicho radio, se proyectó la cobertura sobre el área a proteger,

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

concluyéndose que se requiere la instalación de al menos cuatro puntas captadoras para asegurar la protección completa de las zonas críticas del proyecto, incluyendo los tanques de almacenamiento y la plataforma de envasado.

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

Para estructuras de hasta 23 metros de altura, se debe seleccionar un conductor que cumpla con los criterios normativos de materiales Clase I de especificación mínima, priorizando su flexibilidad, resistencia y correcta fijación. De acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas, se recomienda usar un cable trenzado desnudo de calibre 1/0 AWG como electrodo de descarga, siguiendo las recomendaciones del proveedor del sistema.

4.4.10. Mantenimiento

El encargado del establecimiento protegido deberá coordinar con la empresa instaladora un protocolo de conservación operativa para el dispositivo de protección sugerido o previamente implementado. Este mantenimiento deberá ejecutarse conforme a lo establecido en la norma NFC 17-102 y/o las Normas Técnicas Peruanas (NTP), cumpliendo con la siguiente condición:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Tabla 12

Cuadro de mantenimientos

GRADO DE RESGUARDO	INSPECCIÓN ÓPTICA PERIODICA (AÑOS)	EVALUACIÓN INTEGRAL PERIÓDICA (AÑOS)	AUDITORÍA INTEGRAL DE INFRAESTRUCTURAS CRÍTICAS (AÑOS)
I Y II	1	2	1
III Y IV	2	4	1

NOTA: Los SPDA (S-PCD) instalados en estructuras con potencial de detonación deben someterse a inspecciones visuales cada seis meses. Además, se recomienda realizar pruebas eléctricas completas del sistema al menos una vez al año, con la finalidad de corroborar su operatividad idónea y la inviolabilidad operacional.

Una excepción válida al mantenimiento anual programado sería realizar las pruebas dentro de un ciclo de 14 a 15 meses. Esta alternativa puede resultar beneficiosa cuando se desea evaluar el comportamiento las impedancias de disipación geoeléctrica en diferentes periodos estacionales del calendario, permitiendo así identificar posibles variaciones estacionales en su desempeño.

Nota: Norma NFC 17-102

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

CONCLUSIONES

PRIMERA. En términos generales, la implementación del procedimiento de la esfera rotatoria permitió diseñar un sistema de protección integral y confiable, disminuyendo significativamente el riesgo por descargas atmosféricas y garantizando la seguridad operativa de la planta envasadora de gas.

SEGUNDA. Se identificó que las infraestructuras del complejo envasador de gas en Juliaca presentan alto nivel de vulnerabilidad frente a descargas atmosféricas, debido a su ubicación geográfica en una zona de alta densidad de rayos y a la carencia de un sistema de protección adecuado.

TERCERA. La implementación del procedimiento de la esfera rotatoria accedió a delimitar con exactitud las áreas críticas expuestas al impacto de rayos y establecer áreas seguras dentro de la planta. Esto demuestra que el método es eficaz para la configuración de dispositivos de resguardo operacional.

CUARTA. El diseño técnico propuesto, considerando la distribución de tanques, plataformas de envasado y patios de maniobra, optimizó la ubicación y número de pararrayos necesarios. Este diseño mejoró la cobertura y eficiencia del sistema de protección.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

RECOMENDACIONES

PRIMERA. Realizar la implementación inmediata de un dispositivo de resguardo contra descargas atmosféricas en el complejo envasador de gas en Juliaca, considerando que actualmente las instalaciones presentan alto nivel de riesgo. Esto permitirá reducir las vulnerabilidades detectadas y proteger tanto al personal como a la infraestructura crítica.

SEGUNDA. Continuar aplicando el procedimiento de la esfera rotatoria en futuros proyectos de configuración y evaluación de sistemas de protección, dado que demostró eficacia en la identificación de zonas críticas y seguras. Se recomienda utilizarlo como referencia técnica obligatoria en instalaciones industriales de alto riesgo.

TERCERA. Ejecutar el diseño propuesto de manera integral, instalando pararrayos en las posiciones óptimas definidas, complementados con un dispositivo de disipación geoeléctrica y conductores de conducción descendente. Además, realizar simulaciones periódicas para verificar la cobertura en función de cambios estructurales en la planta.

CUARTA. Establecer un plan de mantenimiento y verificación periódica del sistema de protección, que incluya inspecciones visuales y pruebas eléctricas anuales, así como capacitación al personal encargado. Con ello se garantiza que el sistema mantenga su confiabilidad a lo largo del tiempo y responda a las exigencias de la normativa internacional.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Anteproy-m1-nrf-048-pemex. (2007). *Diseño de instalaciones eléctricas*.

Flores Guerrero, R. (2019). Estudio técnico de sistemas de captación externa aplicando normativa NFPA 780 en infraestructura educativa universitaria.

Huancollo Huancollo, B. G. (2018). Evaluación de fallas en transformadores de distribución por descargas eléctricas atmosféricas en zonas rurales altoandinas.

Landeo Mallasca, J. C. (2023). Estudio de diseño de protección externa contra rayos en proyectos de expansión eléctrica en subestaciones de media tensión. https://energiaeducativa.org.pe

Lujan Bravo, J. J. J. (2018). Revisión de criterios normativos de la NFPA 780 para el diseño de sistemas contra descargas en instalaciones eléctricas expuestas.

Mansilla Yanqui, J. G. (2021). Implementación de sistema de captación tipo PDC sin activación electrónica en zona rural altoandina según normativa UNE vigente.

"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). Formulación de modelos matemáticos para determinar ubicaciones óptimas de sistemas captadores en

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

edificaciones de múltiples niveles.

Mora Martínez, J. (2020). Desarrollo de ecuaciones analíticas para definir posiciones seguras de pararrayos en estructuras con geometría semiesférica utilizando el modelo de protección con esfera móvil.

Moreno Zarate, L. E. (2018). Simulación de redes de puesta a tierra ante eventos transitorios por impactos eléctricos atmosféricos.

NFPA 780. (2020). Reglamento técnico para la instalación de sistemas de protección contra rayos. www.normasproteccion.org

NRF-036-PEMEX. (2003). Directrices para la clasificación de zonas con riesgo y lineamientos para elegir equipamiento eléctrico adecuado..

Oscanoa Guadalupe, W. R. (2020). *Metodología de ubicación de pararrayos para optimizar su distribución en la linea de transmisión mollepata - cangallo 69 kv*.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ANEXOS

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Anexo 1

Matriz de consistencia

TITULO: DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA PLANTAS ENVASADORAS DE GAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESFERA RODANTE JULIACA, 2025

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
Problema general	**Objetivo general**	**Hipótesis general**			
P. G. ¿Cómo influye el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas mediante el método de la esfera rodante en la seguridad operativa de una planta envasadora de gas en el año 2025?	**O. G.** Diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas en una planta envasadora de gas mediante la aplicación del método de la esfera rodante, para reducir riesgos eléctricos y garantizar la seguridad de las instalaciones en el año 2025.	**H. G.** La aplicación del método de la esfera rodante permite diseñar un sistema de protección eficaz que disminuye significativamente el riesgo por descargas atmosféricas en plantas envasadoras de gas.	**Método de la esfera rodante.**	- Identificación de zonas críticas - Cobertura geométrica - Radio de la esfera (rsc) - Selección del nivel de protección (LP)	- Tipo: Aplicada. - Nivel: Descriptivo–explicativo. - Diseño: No experimental, transversal. - Método: Descriptivo–ingenieril. - Técnicas: Revisión documental, análisis técnico. - Instrumentos: Normas (NFPA 780, IEC 62305), planos estructurales, mapas ceráunicos.
Problemas específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**	**Sistema de protección contra descargas atmosféricas en plantas envasadoras de gas.**	- Captación (pararrayos) - Conducción (bajantes) - Puesta a tierra - Equipotencialidad y EMC - Mantenimiento	
P. G. 1. ¿Qué nivel de riesgo presentan actualmente las instalaciones de la planta envasadora de gas ante descargas atmosféricas? **P. G. 2.** ¿Cuál es la eficacia del método de la esfera rodante para determinar zonas de protección contra descargas atmosféricas? **P. G. 3.** ¿Cómo se optimiza el diseño del sistema de protección considerando la distribución de estructuras y equipos de la planta?	**OE1:** Identificar los puntos críticos de riesgo ante descargas atmosféricas en la planta envasadora de gas. **OE2:** Aplicar el método de la esfera rodante para delimitar las zonas de protección necesarias. **OE3:** Proponer un diseño técnico del sistema de protección adaptado a la infraestructura de la planta.	**HE1:** Las instalaciones actuales de la planta presentan vulnerabilidades frente a descargas atmosféricas debido a la falta de un sistema de protección adecuado. **HE2:** El método de la esfera rodante permite identificar con precisión las zonas que requieren protección contra descargas eléctricas. **HE3:** El diseño propuesto basado en la geometría de la planta y el método de la esfera rodante mejora la cobertura y eficiencia del sistema de protección.			

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ANEXO 2: 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.

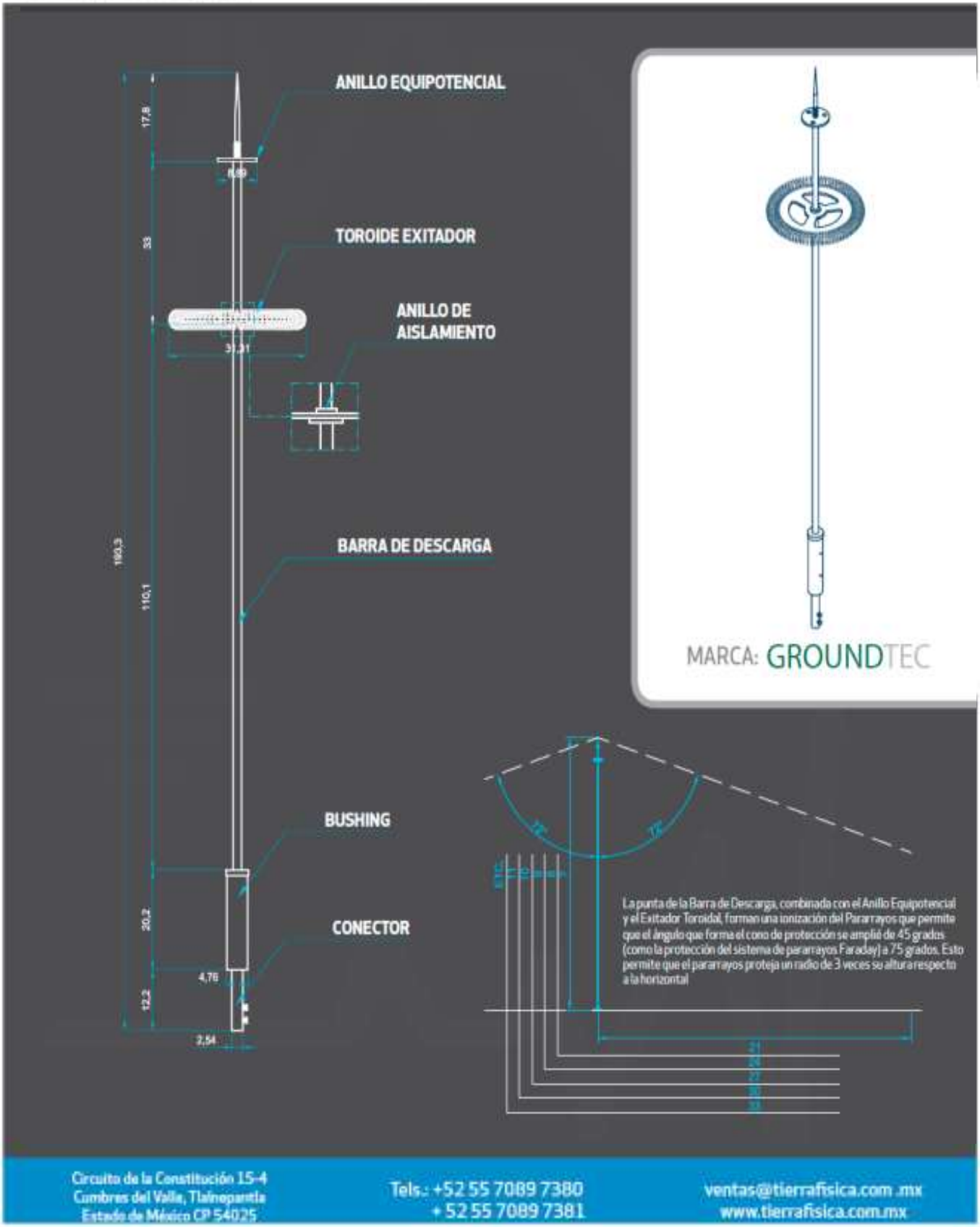
Aplicaciones: Centros de trabajo, torres de telecomunicaciones, residencias, oficinas, hotelería, postes de CCTV e Industria en general, etc

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

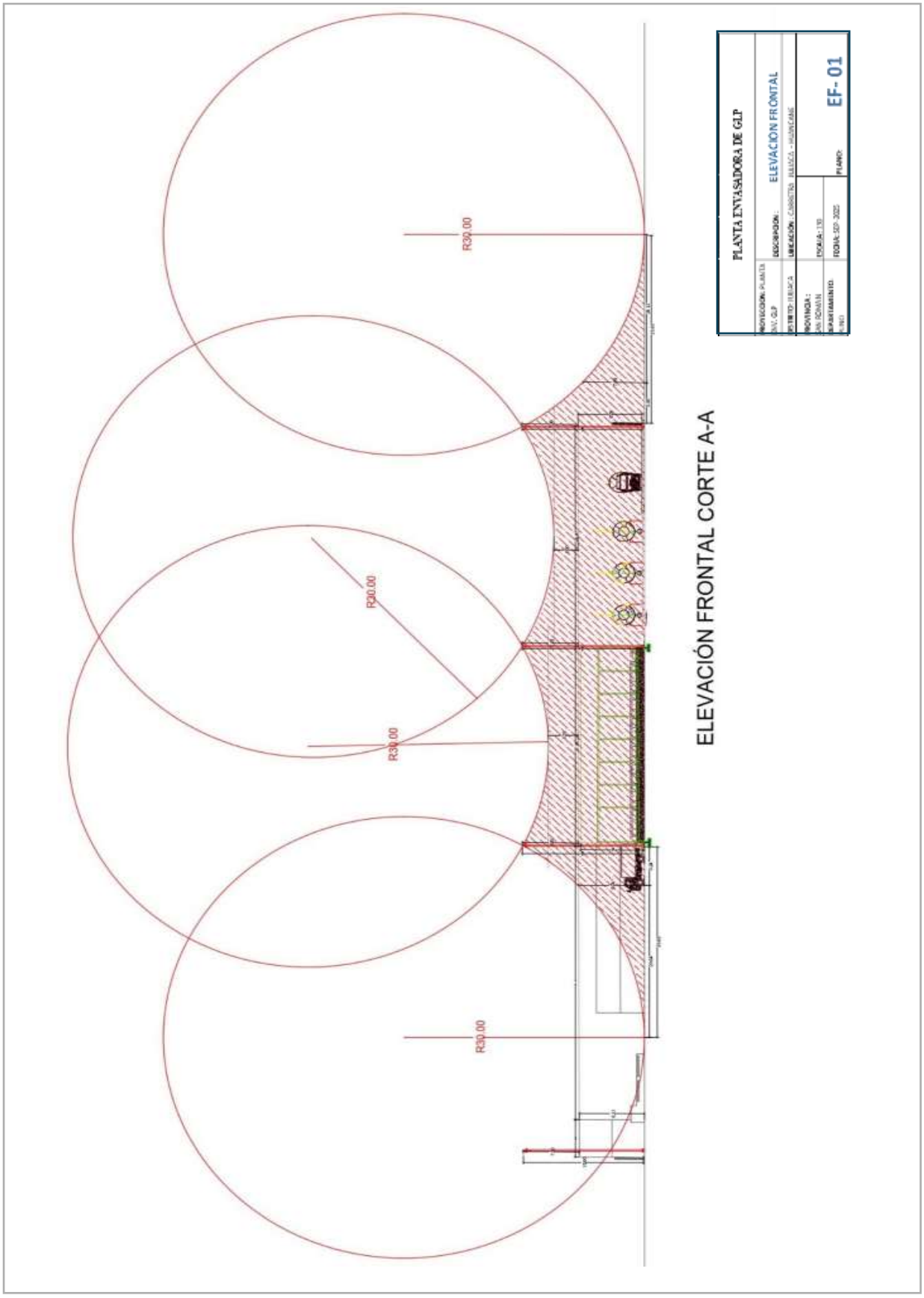


OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

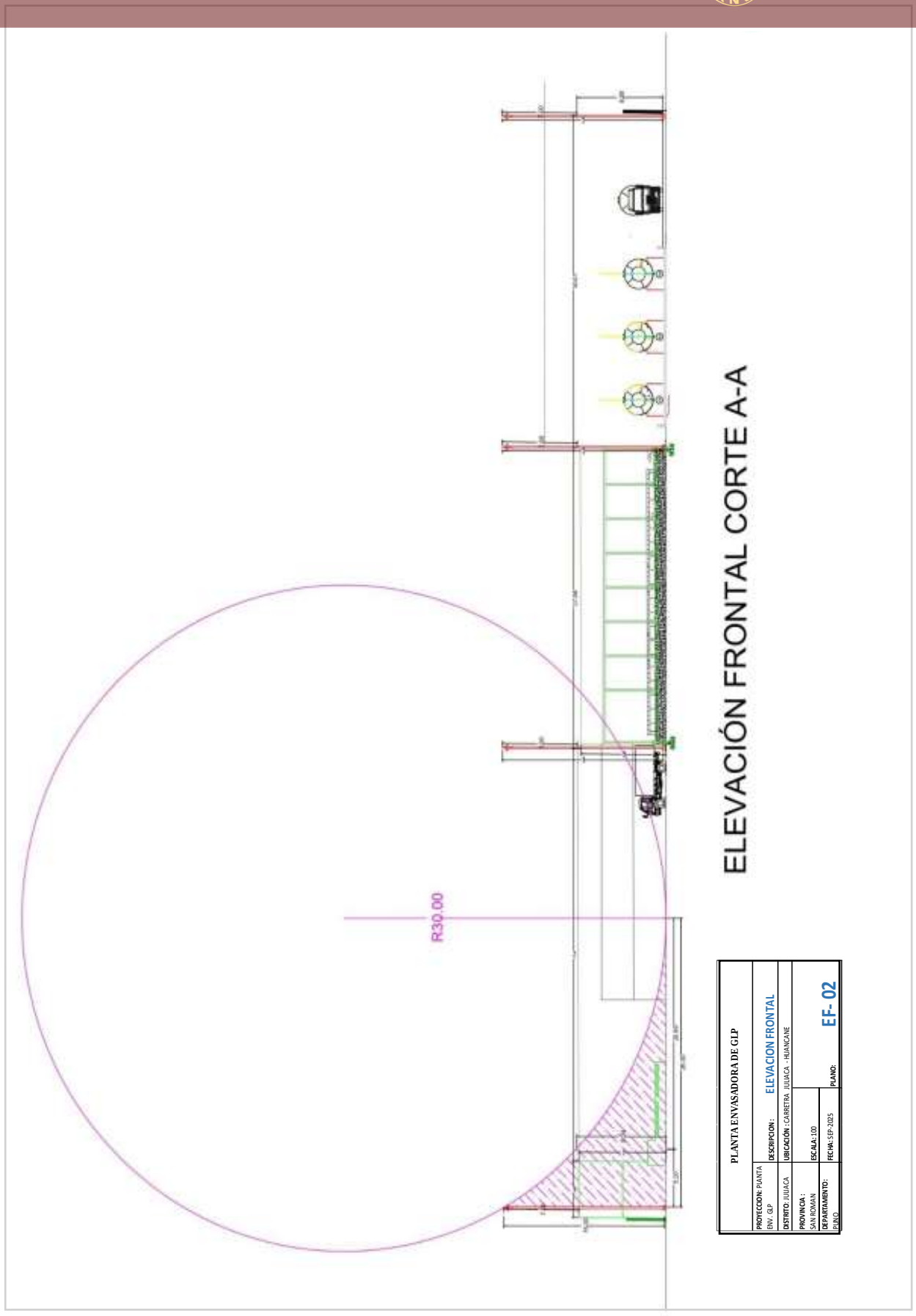
FICHA TÉCNICA DIPOLO CORONA



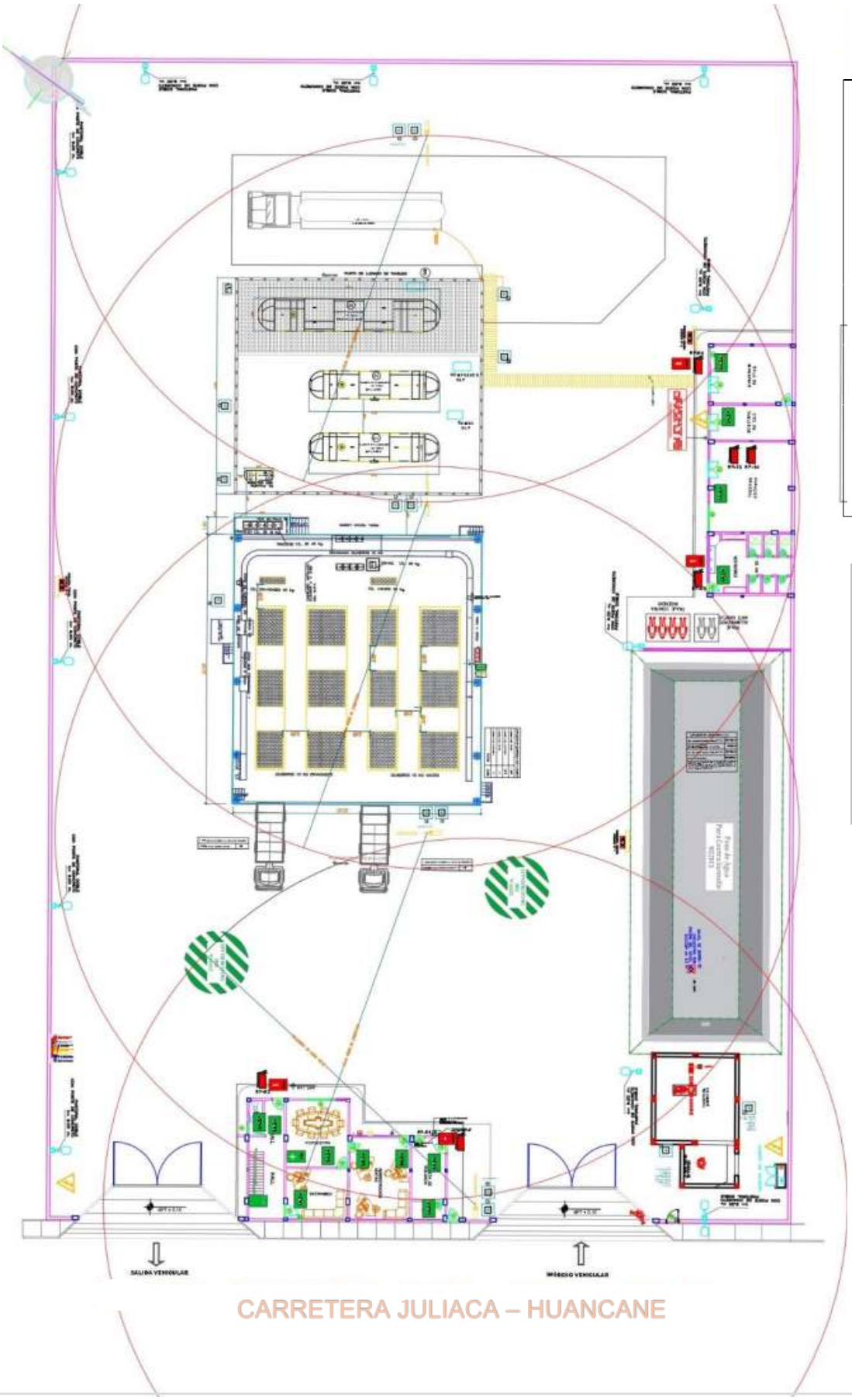
ANEXO 3 : PLANOS

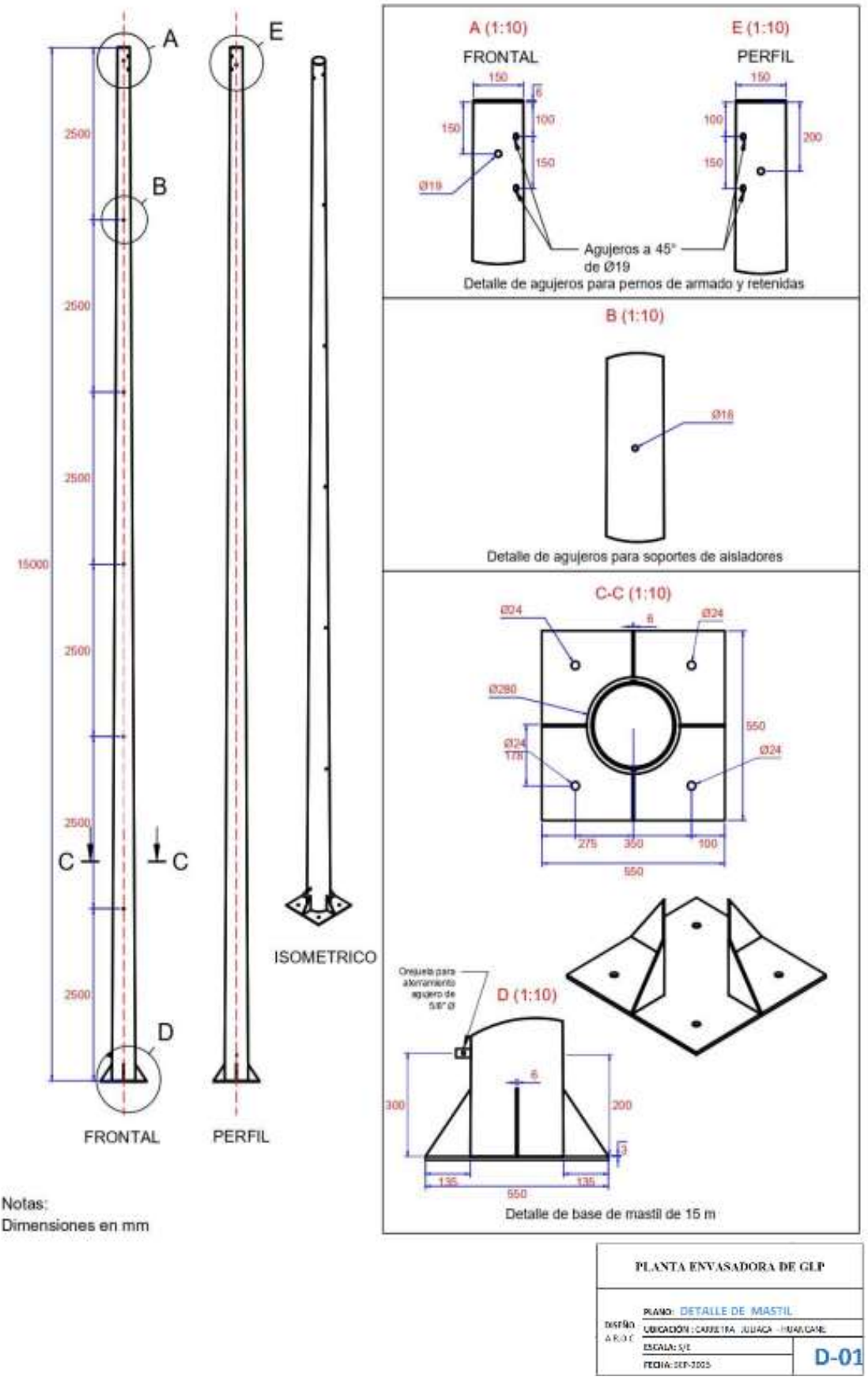


OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/



OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

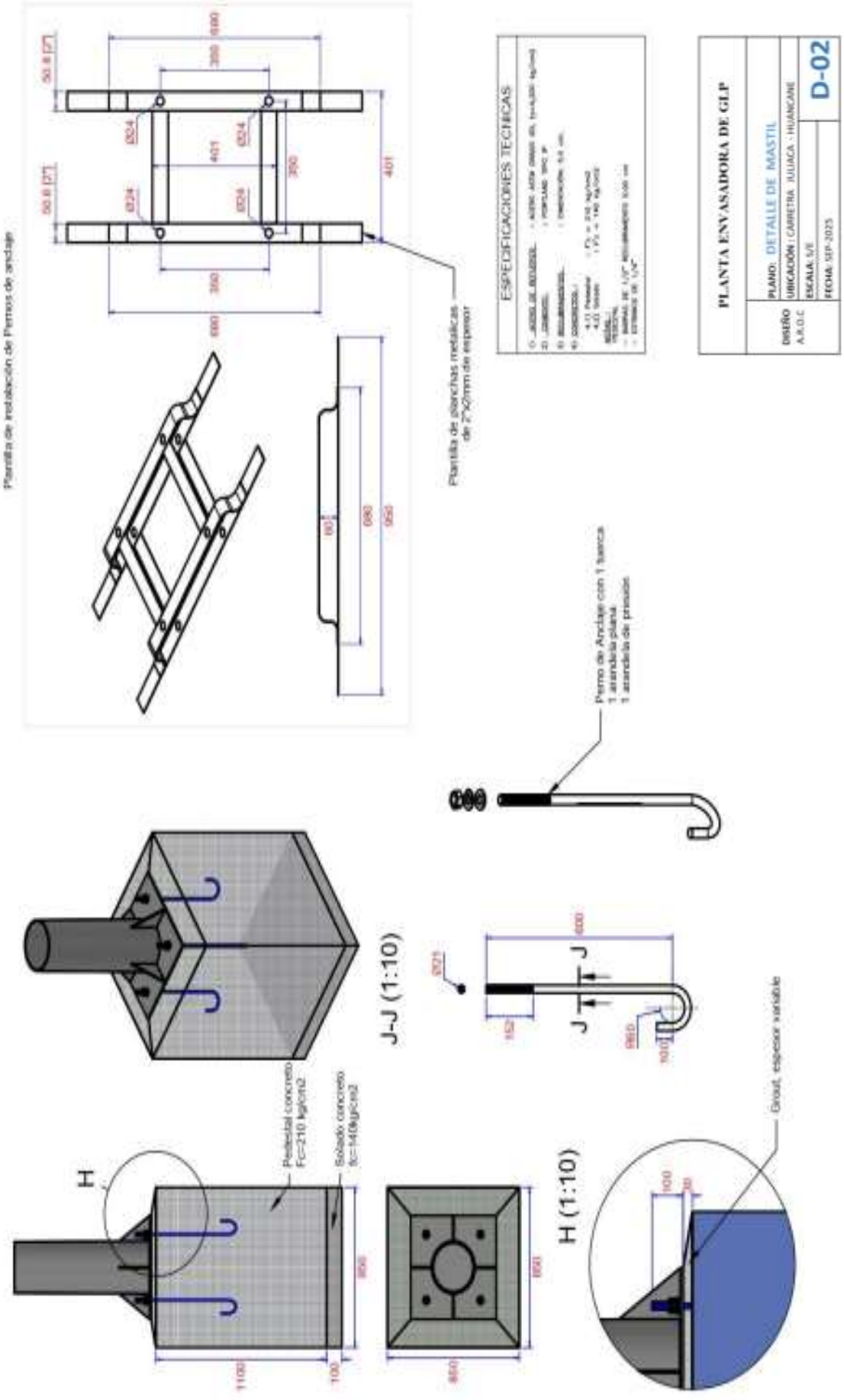

PLANTA ENVASADORA DE GLP
PROYECCION: PLANTA ENV. GLP
DESCRIPCION : SEGURIDAD
DISTRITO: JULIACA
UBICACIÓN: CARRETRA JULIACA - HUANCANE
PROVINCIA : SAN ROMAN
ESCALA: 1/100
DEPARTAMENTO: PUNO
FECHA: SEP-2025
PLANO: S-01
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
1 TANQUE ESTACIONARIO 14,000 GALONES AEREO
2 TANQUE ESTACIONARIO 14,000 GALONES AEREO
3 TANQUE ESTACIONARIO 24,000 GALONES VOLUMETRICA AEREO
T1 TANQUE PULMON 254 GALONES
SALIDA VEHICULAR
INGRESO VEHICULAR
CARRETERA JULIACA – HUANCANE



Notas:
Dimensiones en mm

PLANTA ENVASADORA DE GLP		
DISEÑO A.R.O.C	PLANO: DETALLE DE MASTIL	
	UBICACIÓN : CARRETERA JULIACA - HUANCANE	
	ESCALA: S/E	D-01
	FECHA: SEP-2015	

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/


ESPECIFICACIONES TECNICAS
PLANTA ENVASADORA DE GLP
PLANO: DETALLE DE MASTIL
UBICACIÓN : CARRETRA JULIACA - HUANCANE
ESCALA: S/E
FECHA: SEP-2025
DISEÑO
A.A.O.C
D-02
Plantilla de instalación de Pernos de anclaje
Plantilla de planchas metálicas de 2"x2"mm de espesor
Perno de Anclaje con 1 tuerca
1 arandela plana
1 arandela de presión
J-J (1:10)
H
H (1:10)
Pedestal concreto f'c=210 kg/cm2
Solado concreto f'c=140kg/cm2
Grout, espesor variable

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☐ Fecha de entrega: 14-05-2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Williams Jeyssen Ancco Santander
Dirección: Jr Mariscal Nieto 165
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 45207308
Teléfono: 938469895 email: anccosantanderwilliamsJ@gmail.com
Nombres y Apellidos:
Dirección:
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:
Teléfono: email:
Facultad y/o Escuela de Posgrado: Facultad de Ingeniería y ciencias Puras
Escuela Profesional o Mención: Ingeniería Mecanica Electrica
Título o Grado Académico a optar: Ingeniero Mecánica Electricista
Asesor: Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreon
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐
Título: Diseño de sistema de protección contra descargas ATmosfericas para plantas Envasadoras de Gas Mediante el metodo de Esfera Rodante Juliaca, 2025
Palabras claves, (3 a 5 términos): descargas ATmosfericas, Metodo de Esfera Rodante
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV [1,2]?
1

[1] Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.
[2] Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Titulo ☐ 2da Especialidad ☐ Maestria ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.

☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____

☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comérciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

☐ Sí autorizo

☒ No autorizo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral**. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☐ Internacional

☒ Nacional

Línea de investigación: Ingeniería y Tecnología Electrica - P18



Firma de Autor | huella digital | 14-05-2026 Fecha

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/