

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,

INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS
ATMOSFERICAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD DEL HOSPITAL
DE ANDAHUAYLAS-APURÍMAC 2023**

PRESENTADO POR:

Br. Reynaldo Luque Carbajal

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

ASESOR:

Dr. Willy Morales Alarcon

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD DEL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS - APURIMAC 2023

presentado por: Br. Reynaldo Lague Carbajal con DNI Nro.: 46525756 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Electricista

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por dos veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 02 de diciembre de 2024



Firma

Post firma Ing. Willy Morales Alarcón

Nro. de DNI 23854222

ORCID del Asesor 0000-0002-0956-6815

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:411391429

Reynaldo Reynaldo Luque Carbajal

Turnitin Tesis Diseño de SPCDA - V.Final - (ROTULADO DE DIPLOMA).pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:411391429

Fecha de entrega

2 dic 2024, 5:42 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

2 dic 2024, 6:00 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Turnitin Tesis Diseño de SPCDA - V.Final - (ROTULADO DE DIPLOMA).pdf

Tamaño de archivo

20.4 MB

257 Páginas

54,820 Palabras

283,454 Caracteres

10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de fuentes excluidas
- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
121 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
19 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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.

DEDICATORIA

A Dios, por darme fuerza, fe, fortaleza, la salud y la esperanza para terminar mis estudios y hacer realidad este triunfo.

A mis padres, Donato Luque y Teodora Carbajal por su paciencia, apoyo incondicional y por enseñarme a luchar por lo que quiero y alcanzar mis metas.

A mi esposa Liz K. e hija adorada Zoe Abigail, quienes me dan la fortaleza para seguir superándome día tras día y cumplir mis metas propuestas.

A mis hermanos Willington, Edith y Marleny, por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro es también de Ustedes.

Reynaldo Luque Carbajal

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincera gratitud:

*A todos los **Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco** y en especial a mi asesor de tesis, Ingeniero Willy Morales Alarcón, por ser clave en el proceso de la elaboración de la presente tesis.*

PRESENTACIÓN

Señor:

Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica.

En cumplimiento con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos Vigentes, con la finalidad de optar al Título de Ingeniero Electricista, presento a vuestra consideración la Tesis intitulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS
ATMOSFERICAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD DEL HOSPITAL DE
ANDAHUAYLAS-APURÍMAC 2023”**

Br. Reynaldo Luque Carbajal

RESUMEN

El presente trabajo, "**Diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas para mejorar la seguridad del Hospital de Andahuaylas-Apurímac 2023**", se realizó con el fin de resguardar a las personas y al equipamiento del Hospital de Andahuaylas ante los efectos de los rayos. Para ello, se llevó a cabo el análisis, diagnóstico y diseño para su implementación, cumpliendo con lo estipulado por la norma NTP-IEC 62305.

La presente tesis está dividida en los capítulos que se detallan a continuación:

Capítulo I desarrolla los aspectos generales para la correcta visualización del problema y la solución de la tesis, partiendo desde el planteamiento del problema, la problemática actual, los objetivos a conseguir, la metodología empleada, así como los alcances y delimitaciones.

Capítulo II desarrolla el marco teórico, donde se encuentran los conocimientos, conceptos y definiciones referidos a las descargas atmosféricas, nivel cerámico del terreno, resistencia, resistividad del suelo, y los equipos de protección externos e internos. Toda esta información es necesaria para realizar un adecuado diseño de protección.

Capítulo III presenta la teoría para la estimación del riesgo, donde se abordan dos metodologías: el análisis de riesgo bajo el enfoque normativo **NFPA 780** y el análisis de riesgo bajo el enfoque normativo **NTP-IEC 62305**.

Capítulo IV realiza el cálculo y la evaluación del riesgo actual del Hospital de Andahuaylas frente a las descargas atmosféricas. Posteriormente, se plantea el diseño de protección.

Capítulo V presenta los resultados del riesgo, antes y después de implementar el diseño de protección contra descargas atmosféricas propuesto.

Palabras claves: Protección contra descargas atmosféricas, seguridad, resistencia del suelo, análisis y evaluación de riesgo

Contenido

1.	Capítulo I: Generalidades	19
1.1.	Introducción	19
1.2.	Lugar de Estudio	19
1.3.	Planteamiento del Problema.....	20
1.4.	Formulación del Problema	24
1.4.1.	Problema General	24
1.4.2.	Problemas Específicos.....	25
1.5.	Objetivos	25
1.5.1.	Objetivo General	25
1.5.2.	Objetivos Específicos	25
1.6.	Justificación e Importancia del Estudio	26
1.7.	Variables e Indicadores	27
1.7.1.	Variable Independiente	27
1.7.2.	Variable Dependiente	27
1.8.	Alcances y Limitaciones	28
1.8.1.	Alcances	28
1.8.2.	Limitaciones	28
1.9.	Hipótesis.....	28
1.9.1.	Hipótesis General	28

1.9.2. Hipótesis Específicas.....	29
1.10. Metodología	29
1.10.1. Enfoque de la Investigación	29
1.10.2. Tipo de la Investigación	29
1.10.3. Diseño de Investigación	29
1.11. Muestra.....	30
1.12. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	30
1.12.1. Técnicas de Recolección de Datos	30
1.12.2. Análisis y Procesamiento de Datos	30
2. Capítulo II: Marco Teórico y Normativo.....	31
2.1. Introducción	31
2.2. Antecedentes	31
2.3. Tormenta Eléctrica	33
2.3.1. Células de Tormenta.....	34
2.4. Descargas Atmosféricas	35
2.4.1. Proceso de Electrificación de la Nube de Tormenta	37
2.4.2. El Rayo.....	39
2.4.3. Parámetros de la Corriente de Rayo.....	43
2.4.4. Nivel Ceraunico.....	45
2.5. Principales Consecuencias y Efectos de los Rayos.....	48

2.5.1.	Efectos de la Corriente del Rayo que Generan Posibles Daños	49
2.6.	Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosféricas Externa.....	57
2.6.1.	Sistemas de Captores.....	59
2.6.2.	Sistema de Conductores de Bajada	73
2.6.3.	Sistemas de Puesta a Tierra.....	78
2.7.	Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosféricas Interna.....	94
2.7.1.	Tecnología en la Protección Contra Sobretensiones Transitorias	95
2.7.2.	Clases de Dispositivos de Protección Contra Sobretensiones.....	97
2.7.3.	Características Técnicas y Parámetros para la Selección del DPS.....	100
2.7.4.	Funcionamiento de los Dispositivos de Protección Contra Sobretensiones	101
2.7.5.	Sistemas de Distribución según la Configuración de la Puesta a Tierra	102
2.7.6.	Técnicas de Instalación de DPS	107
3.	Capitulo III: Metodología para el Análisis de Riesgo	111
3.1.	Introducción	111
3.2.	Evaluación de Riesgo Bajo Enfoque Normativo NFPA-780	111
3.2.1.	Factores que Intervienen en la Cuantificación del Riesgo según NFPA-780	112
3.2.2.	Verificación del Grado de Requerimiento del SPCDA según NFPA-780.....	117
3.3.	Evaluación de Riesgo Bajo Enfoque Normativo NTP IEC-62305	118
3.3.1.	Procedimiento para el Análisis de Riesgo Según Norma IEC-62305	118
3.3.2.	Verificación del Grado de Requerimiento del SPCDA según NTP IEC-62305 .	148

4. Capítulo IV: Diagnostico y Diseño del Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas del Hospital Andahuaylas	149
4.1. Introducción	149
4.2. Área de Construcción y Suministro Eléctrico del Hospital de Andahuaylas	149
4.2.1. Consideraciones para el Análisis de Riesgo Contra Descargas Atmosféricas	152
4.3. Estimación del Riesgo Inicial Aplicando la Norma NFPA 780.....	154
4.3.1. Frecuencia Anual de Impactos de Rayos Esperados en la Estructura (Nd).....	154
4.3.2. Frecuencia Anual de Impactos de Rayos Tolerables en una Estructura (Nc).....	156
4.3.3. Evaluación de Requerimiento del SPCDA Bajo Enfoque NFPA 780	158
4.4. Estimación del Riesgo Inicial Aplicando la Norma NTP IEC-62305.....	159
4.4.1. Cálculo de los Componentes de Riesgo Ante Pérdidas de Vidas Humanas	160
4.4.2. Componentes de Riesgo ante Perdidas Inaceptables de Servicio Público	161
4.4.3. Evaluación del Requerimiento del SPCDA, Bajo enfoque NTP IEC-62305.....	162
4.4.4. Selección del Nivel de Protección Contra Descargas Atmosféricas	165
4.4.5. Análisis de Riesgo con el Nivel de Protección Propuesto	167
4.4.6. Diseño y Selección del SPCDA Externo.....	171
4.4.7. Diseño del Sistema de Conductores de Bajada	174
4.4.8. Diseño de la Malla del Sistema de Puestas a Tierra.....	176
4.4.9. Diseño de Protección Interna Contra Descargas Atmosféricas.....	187
5. Capítulo V: Resultados de la Investigación	190

5.1.	Resultados del Análisis de Riesgo inicial	190
5.2.	Resultados del Análisis de Riesgo Final	191
6.	Conclusiones	194
7.	Sugerencias	198
8.	Bibliografía	199
9.	ANEXO.....	208

ÍNDICE DE IMÁGENES

FIGURA 1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL HOSPITAL ANDAHUAYLAS	19
FIGURA 1.2 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS.....	20
FIGURA 2.1 COMPORTAMIENTO DEL AIRE EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA ALTURA.....	34
FIGURA 2.2 TIPOS DE RAYOS INTRA NUBE, ENTRE NUBE Y NUBE A TIERRA	37
FIGURA 2.3 TEORÍA DE CARGA DE LA NUBE SEGÚN SIMPSON	38
FIGURA 2.4 CARGA DE LA GOTA DE LLUVIA SEGÚN LA TEORÍA DE WILSON	39
FIGURA 2.5 TIPOS DE DESCARGAS ELÉCTRICAS NUBE - TIERRA	40
FIGURA 2.6 PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE LA DESCARGA NUBE A TIERRA (RAYO)	41
FIGURA 2.7 FORMACIÓN DE LA DESCARGA A TIERRA Y DESCARGAS SUBSECUENTES.....	42
FIGURA 2.8 FORMA DE ONDA REAL DE LA CORRIENTE DE RAYO	43
FIGURA 2.9 FORMA DE ONDA DEL PRIMER IMPACTO DE UNA DESCARGA ATMOSFÉRICA.....	44
FIGURA 2.10 FORMA DE ONDA DE UN IMPACTO DE RAYO DE LARGA DURACIÓN	44
FIGURA 2.11 MAPA ISOCERÁUNICO DEL PERÚ REALIZADO POR EL ING. JUSTO HERMILIO YANQUE MONTUFAR – 2011.....	47
FIGURA 2.12 EFECTOS DE LA DISIPACIÓN DEL RAYO POR EL SPCDA	51
FIGURA 2.13 EFECTOS DE LA CORRIENTE ALTERNA (15 A 100 Hz) SOBRE LAS PERSONAS	52
FIGURA 2.14 DAÑOS A LAS PERSONAS DEBIDO A LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	57
FIGURA 2.15 ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO	59
FIGURA 2.16 CAPTORES TIPO PUNTA FRANKLIN TETRA PUNTALES.....	61
FIGURA 2.17 VOLUMEN PROTEGIDO POR CABLES DISPUESTOS EN MALLAS	62
FIGURA 2.18 ACTUACIÓN DE UN SISTEMA DE DISIPACIÓN O DE TRANSFERENCIA DE CARGA – CTS.....	64
FIGURA 2.19 CONSTITUCIÓN FÍSICA DE UN CTS.....	64
FIGURA 2.20 CONSTITUCIÓN FÍSICA DE UN PARARRAYO RADIOACTIVO.....	65
FIGURA 2.21 TIPOS DE PARARRAYOS DE EMISIÓN DE CHISPAS.....	66
FIGURA 2.22 COLOCACIÓN DE CAPTORES, $A \geq 254$ MM (10 PULGADAS)	67
FIGURA 2.23 ÁNGULOS DE PROTECCIÓN PARA CADA CLASE DE SPCDA	69

FIGURA 2.24 VOLUMEN PROTEGIDO SEGÚN EL MÉTODO DE ÁNGULO DE PROTECCIÓN	69
FIGURA 2.25 APLICACIÓN EN UN EDIFICIO DEL MÉTODO DEL ÁNGULO DE PROTECCIÓN	70
FIGURA 2.26 ESQUEMA DEL MODELO ELECTRO GEOMÉTRICO	71
FIGURA 2.27 PROTECCIÓN SEGÚN EL MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE	72
FIGURA 2.28 PROTECCIÓN SEGÚN EL MÉTODO DE LA MALLA	72
FIGURA 2.29 FUERZA ELECTROMOTRIZ GENERADO POR LA AUTO INDUCTANCIA, CUANDO CIRCULA LA CORRIENTE	74
FIGURA 2.30 RECOMENDACIÓN DE CURVAS EN LOS CONDUCTORES DE BAJADA	75
FIGURA 2.31 EQUIPOS CONTADORES DE RAYOS; ELECTROMECAÑICOS (A), ELECTRÓNICOS (B) Y DIGITALES (C)	75
FIGURA 2.32 BUCLE EN UN CONDUCTOR DE BAJADA.....	76
FIGURA 2.33 DISEÑO DE SPCDA, CONSIDERANDO LA DISTANCIA MÍNIMA DE SEPARACIÓN “s”	78
FIGURA 2.34 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD	81
FIGURA 2.35 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO POR INCREMENTO DE SALINIDAD	82
FIGURA 2.36 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA	82
FIGURA 2.37 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO POR LA COMPACTACIÓN DEL SUELO	83
FIGURA 2.38 VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN UN PERFIL ESTRATIGRÁFICO	84
FIGURA 2.39 MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TERRENO POR EL MÉTODO DE WENNER.....	85
FIGURA 2.40 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO POR EL MÉTODO DE SCHLUMBERGER.....	86
FIGURA 2.41 EFECTO DE LA LONGITUD DEL ELECTRODO EN LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	88
FIGURA 2.42 EFECTO DEL DIÁMETRO DEL ELECTRODO EN LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	88
FIGURA 2.43 VISTA SUPERIOR DE LA ESFERA DE INFLUENCIA DE UNA VARILLA VERTICAL DE LONGITUD L	89
FIGURA 2.44 MODELAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	92
FIGURA 2.45 OPERACIÓN DE UN DESCARGADOR DE SOBRETENSIÓN TIPO CROWBAR	96
FIGURA 2.46 OPERACIÓN DE UN DESCARGADOR DE SOBRETENSIÓN TIPO CLAMPING.....	97
FIGURA 2.47 INSTALACIÓN EN CASCADA DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	98
FIGURA 2.48 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON ESQUEMA DE CONEXIÓN TT	103
FIGURA 2.49 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON ESQUEMA DE CONEXIÓN TN-S	104
FIGURA 2.50 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON ESQUEMA DE CONEXIÓN TN-C	105

FIGURA 2.51 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON ESQUEMA DE CONEXIÓN TN-C-S.....	105
FIGURA 2.52 ESQUEMA DE CONEXIÓN IT CON PAT DE FORMA INDIVIDUAL.....	106
FIGURA 2.53 ESQUEMA DE CONEXIÓN IT CON PAT POR GRUPOS.....	107
FIGURA 2.54 LONGITUD DE CONDUCTOR RECOMENDADA PARA LA CONEXIÓN DE DPS.....	108
FIGURA 2.55 COORDINACIÓN EN CASCADA DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	110
FIGURA 3.1 SUPERFICIE DE CAPTACIÓN DE UNA ESTRUCTURA RECTANGULAR AISLADA	113
FIGURA 3.2 SUPERFICIE DE CAPTACIÓN DE ESTRUCTURAS CONTIGUAS	114
FIGURA 3.3 SUPERFICIE DE CAPTACIÓN DE ESTRUCTURAS QUE SE SUPERPONEN	115
FIGURA 3.4 CALCULO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN, L, W Y H EN METROS.....	127
FIGURA 3.5 CALCULO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN ADYACENTE, L_j , W_j Y H_j EN METROS.....	129
FIGURA 4.1 VISTA EN PLANTA DE LAS REDES DE MEDIA TENSIÓN QUE SUMINISTRA ENERGÍA AL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS.....	150
FIGURA 4.2 VISTA EN PLANTA DE LA INFRAESTRUCTURA DEL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS.....	151
FIGURA 4.3 MAPA CERAUNICO DEL SECTOR DE ANDAHUAYLAS, CON EL NÚMERO TOTAL DE RAYOS POR $\text{KM}^2/\text{AÑO}$	154
FIGURA 4.4 DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE CAPTORES RECOMENDADO POR LA NFPA 780.....	173
FIGURA 4.5 GRAFICA DE LA RESISTIVIDAD APARENTE DEL TERRENO POR MÉTODO DE WENNER.....	177
FIGURA 4.6 SIMULACIÓN DEL TERRENO PARA EL SONDEO 1 CON EL PROGRAMA IPI2WIN.....	178
FIGURA 4.7 SIMULACIÓN DEL TERRENO PARA EL SONDEO 2 CON EL PROGRAMA IPI2WIN.....	178
FIGURA 4.8 GRAFICA DE LA TENSIÓN DE TOQUE (IZQUIERDA) Y TENSIÓN DE PASO (DERECHA), DEL DISEÑO INICIAL DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA.....	183
FIGURA 4.9 GRAFICA DE LA TENSIÓN DE TOQUE DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA, CON MEJORAMIENTO DE TERRENO HASTA $20 \text{ OHM} \cdot \text{M}$	185
FIGURA 4.10 VALORES DE NIVELES DE TENSIÓN CONTRA SOBRETENSIONES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS.....	188
FIGURA 4.11 UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS CONTRA SOBRETENSIONES DE ACUERDO A LA ZONA DE PROTECCION	188

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 EMERGENCIAS Y DAÑOS EN EL DEPARTAMENTO DE APURÍMAC DEBIDO A TORMENTAS ELÉCTRICAS POR AÑO	21
TABLA 1.2 LLUVIAS OCURRIDAS EN LA PROVINCIA DE APURÍMAC.....	21
TABLA 1.3 INTERRUPCIONES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS ALIMENTADORES DE MT DE LA REGIÓN DE APURÍMAC, DEBIDO A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	22
TABLA 1.4 CANTIDAD DE DENUNCIAS POR DETERIORO DE ARTEFACTOS POR SOBRETENSIÓN EN EL SE APURÍMAC.....	23
TABLA 2.1 PARÁMETROS TÉCNICOS DE LAS NUBES DE TORMENTA CUMULONIMBUS	36
TABLA 2.2 PARÁMETROS DE LA CORRIENTE DE RAYO DE ACUERDO A LOS NIVELES DE PROTECCIÓN	45
TABLA 2.3 NÚMERO DE DÍAS CON DESCARGAS ATMOSFÉRICAS POR AÑO EN ZONAS DEL PERÚ	46
TABLA 2.4 EFECTOS DEL RAYO EN ESTRUCTURAS HOSPITALARIAS Y CENTROS DE SALUD	48
TABLA 2.5 EFECTOS PRODUCIDOS POR EL RAYO EN LOS COMPONENTES DEL SPCDA	50
TABLA 2.6 EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL CUERPO HUMANO	53
TABLA 2.7 MÁXIMA TENSION DE TOQUE, EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	56
TABLA 2.8 VALORES MÁXIMOS DE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE PROTECCIÓN, PARA CADA CLASE DE SPCDA	68
TABLA 2.9 VALORES TÍPICOS DE DISTANCIAS ENTRE LOS CONDUCTORES DE BAJADA	73
TABLA 2.10 VALORES DEL COEFICIENTE k_i , PARA CÁLCULO DE AISLAMIENTO EXTERNO DEL SPCDA.....	77
TABLA 2.11 VALORES DEL COEFICIENTE k_m , PARA CÁLCULO DE AISLAMIENTO EXTERNO DEL SPCDA.....	77
TABLA 2.12 VALORES DEL COEFICIENTE k_c , PARA CÁLCULO DE AISLAMIENTO EXTERNO DEL SPCDA	77
TABLA 2.13 VALORES APROXIMADOS DE LA RESISTIVIDAD EN FUNCIÓN DEL TERRENO.....	79
TABLA 2.14 VALORES ORIENTATIVOS DE LA RESISTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA NATURALEZA DEL TERRENO	80
TABLA 2.15 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, SEGÚN LA CONFIGURACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA.....	102
TABLA 2.16 SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR DE CONEXIÓN DEL DPS CON LA BARRA DE PAT	108
TABLA 2.17 SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR DE COBRE QUE UNEN CON LA INSTALACIÓN DE TIERRA	109
TABLA 3.1 VALORES DEL COEFICIENTE AMBIENTAL C_1	115
TABLA 3.2 VALORES DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL C_2	116
TABLA 3.3 VALORES DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO C_3	117

TABLA 3.4 VALORES DE COEFICIENTE DE OCUPACIÓN C_4	117
TABLA 3.5 VALORES DE COEFICIENTE DE CONSECUENCIAS DE LOS RAYOS.....	117
TABLA 3.6 ANÁLISIS DE FUENTE DE DAÑO, TIPO DE DAÑO Y TIPO DE PERDIDA, CONFORME A LA NTP IEC-62305-2.....	119
TABLA 3.7 VALORES PARA EL FACTOR DE LOCALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	128
TABLA 3.8 VALORES PARA EL FACTOR DE TIPO DE LÍNEA.....	129
TABLA 3.9 VALORES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.....	130
TABLA 3.10 VALORES EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE LA LÍNEA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.....	131
TABLA 3.11 VALORES PARA MEDIDAS DE PROTECCIONES ADICIONALES CONTRA LAS TENSIONES DE TOQUE Y DE PASO	132
TABLA 3.12 VALORES DE PROBABILIDAD DE QUE UNA DESCARGA EN LA ESTRUCTURA PRODUZCA DAÑOS FÍSICOS	133
TABLA 3.13 VALORES DE PROBABILIDAD EN FUNCIÓN AL NIVEL DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES TRANSITORIAS.....	133
TABLA 3.14 FACTORES QUE DEPENDEN DEL APANTALLAMIENTO, LA PUESTA A TIERRA Y EL AISLAMIENTO DE LA LÍNEA	134
TABLA 3.15 VALORES DEL FACTOR KS_3 LOS CUALES SE ENCUENTRAN EN FUNCIÓN DEL CABLEADO INTERNO	136
TABLA 3.16 VALORES DE TENSIÓN DE SOPORTE DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO CONFORME A LA NORMA IEC 60364-4-44.....	136
TABLA 3.17 VALORES DE LA PROBABILIDAD QUE UNA DESCARGA EN UNA LÍNEA CAUSARA UN CHOQUE ELÉCTRICO A LOS SERES VIVOS DEBIDO A TENSIONES DE TOQUE PELIGROSAS.....	137
TABLA 3.18 VALORES DE LA PROBABILIDAD QUE ESTÁ EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE PROTECCIÓN EN EL QUE LOS DISPOSITIVOS DE SOBRETENSIÓN ESTÁN DISEÑADOS	138
TABLA 3.19 VALORES DE PROBABILIDAD DE FALLA DE LOS SISTEMAS INTERNOS PLD	138
TABLA 3.20 VALORES DE PROBABILIDAD PLI , DEPENDE DEL TIPO DE LÍNEA Y DE LA TENSIÓN DE IMPULSO SOPORTADA DEL EQUIPO A PROTEGER.....	140
TABLA 3.21 VALORES MEDIOS DE LOS TIPOS LT , LF Y LO – TIPO DE PERDIDA L1.....	142
TABLA 3.22 FACTOR DE REDUCCIÓN rt , SE ENCUENTRA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUPERFICIE DEL SUELO O PISO	143
TABLA 3.23 FACTOR DE REDUCCIÓN rp EN FUNCIÓN DE LAS ACCIONES PARA REDUCIR LAS CONSECUENCIAS DEL FUEGO.....	143
TABLA 3.24 FACTOR DE REDUCCIÓN rf , EN FUNCIÓN DEL RIESGO DE FUEGO O EXPLOSIÓN EN LA ESTRUCTURA	143
TABLA 3.25 FACTOR DE AUMENTO hZ , DEBIDO A PERDIDAS POR LA PRESENCIA DE PERSONAS.....	144
TABLA 3.26 VALORES MEDIOS TÍPICOS DE LF Y LO – TIPO DE PERDIDA L2.....	145
TABLA 3.27 VALORES MEDIOS TÍPICOS DE LF – TIPO DE PERDIDA L3.....	146

TABLA 3.28 VALORES MEDIOS DE LOS TIPOS <i>LT, LF, LO</i> – TIPO DE PERDIDA L4.....	147
TABLA 3.29 VALORES TÍPICOS DE RIESGO TOLERABLE PARA EL ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DE SPCDA	148
TABLA 4.1 DIMENSIONES DE LOS AMBIENTES QUE CONSTITUYE EL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS	153
TABLA 4.2 CÁLCULO DE LA FRECUENCIA ANUAL DE IMPACTOS, SEGÚN NORMA NFPA 780	155
TABLA 4.3 CÁLCULO DE LA FRECUENCIA ANUAL DE IMPACTOS SEGÚN ENFOQUE NFPA 780	157
TABLA 4.4 EVALUACIÓN DE RIESGO DEL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS SEGÚN ENFOQUE NFPA 780.....	158
TABLA 4.5 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LAS COMPONENTES DE RIESGO	159
TABLA 4.6 CÁLCULO DE COMPONENTES DE RIESGO INICIAL ANTE PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS	160
TABLA 4.7 CÁLCULO DE COMPONENTES DE RIESGO ANTE PERDIDAS INACEPTABLES DE SERVICIO PÚBLICO	161
TABLA 4.8 EVALUACIÓN DE RIESGO POR PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS DEL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS SEGÚN ENFOQUE NTP-IEC 62305	163
TABLA 4.9 EVALUACIÓN DE RIESGO POR PÉRDIDA INACEPTABLES DE SERVICIO PÚBLICO DEL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS SEGÚN ENFOQUE NTP-IEC 62305	164
TABLA 4.10 DETERMINACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN A LOS COMPONENTES DEL RIESGO	165
TABLA 4.11 SELECCIÓN DE NIVEL DE PROTECCIÓN PARA EL NUEVO SPCDA, DEL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS	166
TABLA 4.12 COMPONENTES DE RIESGO ANTE PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS, CON EL NIVEL DE PROTECCIÓN PROPUESTO.....	167
TABLA 4.13 VALORES DE LAS COMPONENTES DE RIESGO ANTE PERDIDAS INACEPTABLES DE SERVICIO PÚBLICO CON EL NIVEL DE PROTECCIÓN PROPUESTO	168
TABLA 4.14 EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS, CON LOS NIVELES DE PROTECCIÓN PROPUESTOS	169
TABLA 4.15 EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE PÉRDIDAS INACEPTABLES DE SERVICIO PÚBLICO, CON LOS NIVELES DE PROTECCIÓN PROPUESTOS	170
TABLA 4.16 COMPONENTES DEL NUEVO SPCDA EXTERNO, PROPUESTO	173
TABLA 4.17 DISTANCIA MÍNIMA DE SEPARACIÓN PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO	175
TABLA 4.18 CÁLCULO DE LAS RESISTIVIDADES APARENTE DEL TERRENO, POR EL MÉTODO DE WENNER.....	176
TABLA 4.19 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO PARA 2 CAPAS.....	179
TABLA 4.20 CONSTANTE DE MATERIALES PARA CÁLCULO DE SECCIÓN DE CONDUCTOR.....	180
TABLA 4.21 VALORES MEDIOS DE LOS PARÁMETROS DE LA CORRIENTE DE RAYO SEGÚN CIGRE.....	180

TABLA 4.22 CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE CONDUCTOR DE ACUERDO A IEEE STD 80-2013	181
TABLA 4.23 CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE CONDUCTOR (NORMALIZADO) DE ACUERDO A IEEE STD 80-2013	181
TABLA 4.24 CÁLCULO DE PARÁMETROS DEL DISEÑO INICIAL DE LA MALLA DE PUESTA TIERRA	183
TABLA 4.25 CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA MALLA DE PUESTA TIERRA, CON MEJORAMIENTO INTEGRAL DE TERRENO HASTA $20 \Omega \cdot m$	184
TABLA 4.26 CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA MALLA DE PUESTA TIERRA, CON INCREMENTO DE CAPA SUPERFICIAL DE GRAVA	186
TABLA 5.1 ANÁLISIS DE RIESGO Y REQUERIMIENTO INICIAL DEL SPCDA PARA EL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS	190
TABLA 5.2 ANÁLISIS DE RIESGO Y REQUERIMIENTO FINAL DEL SPCDA PARA EL HOSPITAL DE ANDAHUAYLAS	191

TERMINOLOGÍA

<i>COER</i>	: <i>Centro de Operaciones de Emergencia Regional</i>
<i>IEC</i>	: <i>Comisión Electrotécnica Internacional</i>
<i>C</i>	: <i>Coulomb</i>
<i>DGIEM</i>	: <i>Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento</i>
<i>DPS</i>	: <i>Dispositivos de Protección contra Sobretensiones</i>
<i>Hospital</i>	: <i>Hospital de Andahuaylas Categoría II-2, 6° Nivel de Complejidad</i>
T_D	: <i>Índice Ceraunico</i>
<i>INACAL</i>	: <i>Instituto Nacional de Calidad</i>
<i>INDECI</i>	: <i>Instituto Nacional de Defensa Civil</i>
<i>kA</i>	: <i>Kilo Amperios</i>
<i>kg</i>	: <i>Kilogramo</i>
<i>km</i>	: <i>Kilometro</i>
<i>MT</i>	: <i>Media tensión</i>
<i>MV</i>	: <i>Mega Voltio</i>
<i>MINSA</i>	: <i>Ministerio de Salud</i>
<i>NTS</i>	: <i>Norma Técnica de Salud</i>
<i>NTP</i>	: <i>Norma Técnica Peruana</i>
<i>PDC</i>	: <i>Pararrayo con Dispositivo de Cebado</i>
<i>PAT</i>	: <i>Puesta a Tierra</i>
<i>PMI</i>	: <i>Punto de Medición a la Intemperie</i>
<i>REA</i>	: <i>Real Academia Española</i>
<i>GIS</i>	: <i>Sistema de información geográfica</i>
<i>SPCDA</i>	: <i>Sistema de protección contra descargas atmosféricas</i>
<i>SPAT</i>	: <i>Sistema de Puesta a Tierra</i>
<i>SIELSE</i>	: <i>Sistema Informático Electro Sur Este S.A.A</i>

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

INTRODUCCIÓN

Los hospitales son establecimientos destinados a la atención, diagnóstico y asistencia médica de personas enfermas, que, a través de personal capacitado y equipos biomédicos, electromecánicos e informáticos, realizan actividades como cirugías, operaciones y otros tratamientos médicos. Todo este sistema de atención está expuesto a los efectos y perturbaciones eléctricas producidas por las descargas atmosféricas, las cuales pueden ocasionar la pérdida de vidas humanas, el deterioro de equipos eléctricos, electrónicos e informáticos, e incluso daños a la infraestructura del hospital, lo que resulta crítico para un adecuado servicio de salud.

En la actualidad, la información sobre las descargas atmosféricas es incompleta, debido a que se trata de un fenómeno caprichoso, aleatorio y destructivo. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se diseñará la protección contra descargas atmosféricas para el Hospital de Andahuaylas, la cual comprenderá la protección externa, conformada por pararrayos, cables de bajada y el sistema de puesta a tierra; y la protección interna, conformada por los dispositivos contra sobretensiones (Surge Protective Device).

El sistema de protección propuesto será diseñado de acuerdo con los criterios establecidos por la Norma NTP-IEC 62305, aprobada mediante la Resolución Directoral N° 008-2022-INACAL/DN, con el fin de mejorar y garantizar la seguridad de todas las personas que se encuentren en el hospital ante los efectos de las descargas atmosféricas. Además, se busca mejorar la calidad de atención a los pacientes, evitando el deterioro de equipos eléctricos y biomédicos que son cruciales para el diagnóstico de enfermedades.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Capítulo I: Generalidades

1.1. Introducción

En este capítulo se describe la problemática que existe en el Hospital de Andahuaylas debido a la escasa seguridad que ofrece el sistema de protección contra descargas atmosféricas actualmente instalado. Asimismo, se justifica la importancia de diseñar un nuevo sistema de protección contra descargas atmosféricas, el cual se realizó siguiendo los criterios establecidos por la normatividad peruana vigente, con el fin de brindar la solución más adecuada y realizar un aporte significativo en los aspectos educativo y social.

1.2. Lugar de Estudio

El presente estudio tiene como escenario el Hospital de Andahuaylas; su ubicación geográfica se muestra en la Figura 1.1 y Figura 1.2.

Figura 1.1

Ubicación geográfica del Hospital Andahuaylas



Fuente: Sistema de información geográfica (GIS)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 1.2

Ubicación y extensión del Hospital de Andahuaylas



Fuente: Google Maps

1.3. Planteamiento del Problema

Entre los años 2000 y 2019, América Latina registró una incidencia de muertes debido a descargas atmosféricas 17 veces mayor que Europa y Estados Unidos. Brasil fue el país con mayor incidencia, con un total de 2,194 muertes, de las cuales el 21% ocurrieron dentro de casa (Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil, 2022). Por otro lado, Perú se ubica como el tercer país en Latinoamérica con el mayor número de muertes ocasionadas por los efectos de las descargas atmosféricas (Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil, 2022).

Según el reporte obtenido del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), en la región de Apurímac se presentan intensas lluvias acompañadas de tormentas eléctricas desde octubre hasta abril. Debido a ello, el COER declaró a la provincia de Andahuaylas como un sector donde se registran precipitaciones pluviales acompañadas de descargas atmosféricas de fuerte intensidad (Centro de Operaciones de Emergencia Regional - Apurimac, 2023). En la *Tabla 1.1* se muestra

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

la cantidad de emergencias y daños ocasionados por las tormentas eléctricas en la región de Apurímac.

Tabla 1.1

Emergencias y daños en el departamento de Apurímac debido a tormentas eléctricas por año

AÑO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Emergencias	10	14	15	34	25	10	9	14	7
Personas damnificadas	56	67	68	116	152	33	25	174	143
Personas afectadas	52	145	82	508	132	26	209	68	100
Viviendas destruidas	6	9	10	26	25	7	5	34	2
Viviendas afectadas	16	21	23	24	23	3	52	13	1
AÑO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	TOTAL
Emergencias	5	12	13	20	25	55	25	148	441
Personas damnificadas	786	1555	28	60	74	786	7	293	4423
Personas afectadas	0	5180	141	61	20	5428	212	1128	13492
Viviendas destruidas	10	0	1	1	2	138	2	37	315
Viviendas afectadas	0	1030	35	6	4	1672	23	772	3718

Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

Tabla 1.2

Lluvias ocurridas en la provincia de Apurímac

Mes	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	TOTAL
Enero	7	1	3	5	5	14	6	2	12	14	25	1	95
Febrero	26	2	2	9	3	9	14	19	16	18	25	20	163
Marzo	14	3		10	3	15	14	7	14	23	21	22	146
Abril	12			6	2	11	4	4		29	4	12	84
Mayo			1	4	1	3	1			3		3	16
Junio							9		1	2			12
Julio				10	1		4	1			1		17
Agosto		17		15	2		7			4	1		46
Setiembre					2		2	3	1	3	1		12
Octubre		1	1	4	1	1	4	1	3	6			22
Noviembre				2		2	3	4	1	9			21
Diciembre				5	2	1		4	4	8			24
TOTAL	59	24	7	70	22	56	68	45	52	119	78	58	658

Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Debido a las descargas atmosféricas, se registraron accidentes y pérdidas de vidas humanas, como el caso ocurrido el 19 de febrero de 2022, donde dos menores de edad, de 12 y 16 años, perdieron la vida instantáneamente. Esto sucedió en el sector de Santa María de Chicmo y Andarapa, ambos pertenecientes a la provincia de Andahuaylas (La Republica, 2022).

También, el 10 de abril de 2020, en el distrito de San Miguel de Chaccrampa, Andahuaylas, se suscitó la muerte de una niña de 13 años, y su hermana quedó gravemente herida (El Comercio, 2020). De igual manera, dos adolescentes de 17 y 10 años resultaron heridos; el mayor perdió la vida y el menor de 10 años sufrió graves quemaduras en el cuerpo. Esto ocurrió en el sector de Huacsone, distrito de Ranracancha, de la provincia de Chincheros, en Apurímac (El Comercio, 2020). Por otro lado, estos fenómenos también afectan a los animales domésticos, como es el caso ocurrido el 17 de diciembre de 2020 en la comunidad de Chocceceña, Andahuaylas, donde se produjo la muerte de 50 ovejas a causa de descargas atmosféricas (La Republica, 2020).

Asimismo, de acuerdo con el informe recabado de la empresa concesionaria Electro Sur Este - Región Apurímac, en los alimentadores de media tensión se registraron interrupciones en el suministro de energía eléctrica debido a descargas atmosféricas, cuya cantidad se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3

Interrupciones de energía eléctrica en los alimentadores de MT de la región de Apurímac, debido a descargas atmosféricas

Región	Sistema eléctrico	AMT	SED/AMT	Interrupciones	Incidencia	
Apurímac	Andahuaylas	SE0042	AN01	127	62	6.07%
			AN02	99	55	5.38%
			AN04	196	172	16.83%
			AN05	308	110	10.76%
			AN06	112	73	7.14%
			AN07	119	75	7.34%

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

			CP01	133	38	3.72%
Chacapunte	SE1042		CP02	100	10	0.98%
			CP03	89	105	10.27%
			CQ01	62	45	4.40%
Chuquibambilla	SE2042		CQ02	40	52	5.09%
			CQ03	209	97	9.49%
			TA02	91	16	1.57%
Abancay	SE0035		TA03	43	6	0.59%
			TA04	98	12	1.17%
			TA05	148	26	2.54%
Abancay Rural	SE0241		TA06	146	28	2.74%
			TA07	231	40	3.91%
Total, Interrupciones debido a descargas atmosféricas en la región de Apurímac					1022	100%

Nota: Los datos fueron obtenidos desde el 01 de enero del 2019 a 19 de octubre 2022

Fuente: Electro Sur Este – SIELSE

También, en la Tabla 1.4 se presenta el registro de denuncias de la población de Apurímac por el deterioro de sus artefactos eléctricos debido a sobretensiones en las redes eléctricas. Se puede observar que el alimentador AN02 tiene la mayor cantidad de denuncias registradas, y es este alimentador el que suministra energía eléctrica al Hospital de Andahuaylas, que es el motivo de la presente tesis.

Tabla 1.4

Cantidad de denuncias por deterioro de artefactos por sobretensión en el SE Apurímac

Región	Sistema Eléctrico	AMT	SED/ AMT	Clientes/ AMT	Denuncias	Incidencia	
		AN01	127	10683	48	8.6%	
		AN02	99	13941	93	16.7%	
		AN04	196	9880	7	1.3%	
	Andahuaylas	SE042	AN05	308	16337	56	10.0%
			AN06	112	6048	11	2.0%
			AN07	119	5718	15	2.7%
Apurímac			CP01	133	6380	17	3.0%
	Chacapunte	SE1042	CP02	100	6425	10	1.8%
			CP03	89	5612	3	0.5%
			CQ01	62	2020	24	4.3%
	Chuquibambilla	SE2042	CQ02	40	1046	0	0.0%
			CQ03	209	6778	10	1.8%

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

		TA02	91	9343	71	12.7%
Abancay	SE0035	TA03	43	6926	64	11.5%
		TA04	98	12770	68	12.2%
		TA05	148	8704	18	3.2%
Abancay Rural	SE0241	TA06	146	6757	24	4.3%
		TA07	231	8232	19	3.4%
Total, Denuncias por deterioro de artefactos debido a sobretensiones en la región de Apurímac					558	100%

Nota: Los datos fueron obtenidos desde el 01 de enero del 2019 a 09 de mayo 2023

Fuente: Electro Sur Este – SIELSE

Además, considerando que el Hospital de Andahuaylas es un establecimiento de salud de segundo nivel de atención, tendrá una gran concentración de personas las 24 horas, los 365 días del año. Asimismo, estará equipado con equipos biomédicos, eléctricos, electromecánicos, informáticos y de cómputo, cuyo valor en el mercado es considerable y que son muy importantes en la atención de los pacientes. Sin embargo, el Hospital de Andahuaylas no cuenta con un estudio de protección contra las descargas atmosféricas, acorde a lo establecido en la Norma Técnica Peruana de INACAL, y tampoco cumple con lo indicado en la Norma Técnica de Salud NTS N° 110-MINSA/DGIEM-V.01. Por lo tanto, la seguridad del hospital ante este fenómeno atmosférico es deficiente, exponiendo a las personas, la infraestructura y el equipamiento a peligros irreversibles causados por las descargas atmosféricas.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General

El Hospital de Andahuaylas, debido a la cantidad de personas que alberga y a los equipos eléctricos costosos, no cuenta actualmente con un sistema de protección contra descargas atmosféricas acorde a lo establecido en la normatividad vigente, por lo que no garantiza la seguridad de esta infraestructura (estructuras, ocupantes y equipos) ante los efectos de las descargas atmosféricas.

Lo que motiva la siguiente interrogante:

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

¿Cuál es el diseño del sistema protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac–2023?

1.4.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo influye la evaluación del nivel de riesgo actual frente a las descargas atmosféricas en el diseño de medidas de protección para mejorar la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac - 2023?
- b) ¿Cuál es el nivel de protección frente a las descargas atmosféricas que se requiere implementar para mejorar la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023?
- c) ¿Cuáles son los dispositivos que constituirá el nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023

1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar cómo la evaluación del nivel de riesgo actual frente a las descargas atmosféricas puede influir en el diseño e implementación de medidas que mejoren la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac, en el año 2023.
- b) Determinar el nivel de protección frente a las descargas atmosféricas para mejorar la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- c) Seleccionar los dispositivos que constituirá el nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.

1.6. Justificación e Importancia del Estudio

Ante los accidentes fatales ocurridos en la región de Apurímac, y especialmente en la provincia de Andahuaylas, resulta de especial interés conocer el riesgo que representan las descargas atmosféricas para el Hospital de Andahuaylas. Así, se busca adoptar las medidas necesarias para prevenir cualquier acontecimiento que pueda dañar a las personas, la infraestructura, y los equipos eléctricos y electrónicos, mejorando la seguridad del establecimiento de salud ante estos fenómenos climatológicos.

El presente estudio genera aportes en los siguientes aspectos:

Académico: La presente tesis está dirigida a estudiantes universitarios y a lectores interesados que deseen adquirir conocimientos acerca del análisis y los criterios a considerar en el diseño de sistemas de protección contra descargas atmosféricas para hospitales, aplicando las recomendaciones de la Norma Técnica Peruana NTP-IEC 62305, establecida por INACAL.

Social: La provincia de Andahuaylas tiene una población aproximada de 142,000 habitantes, quienes deben ser atendidos de manera continua y segura cuando se presenten descargas atmosféricas. Por lo tanto, el sistema de protección propuesto en el presente estudio protegerá a las personas, equipos e infraestructura, ofreciendo una mejor atención a los pacientes e incrementando la satisfacción de la población.

Económico: Al estar protegidos contra las descargas atmosféricas, los equipos eléctricos estarán siempre operativos para la atención de los pacientes; por lo tanto, las personas de escasos recursos podrán ser atendidas en el hospital y no necesitarán recurrir a clínicas costosas para

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

realizarse análisis u otros exámenes debido a posibles equipos deteriorados en el hospital. Asimismo, el Hospital de Andahuaylas no incurrirá en gastos de mantenimiento por equipos deteriorados a causa de descargas atmosféricas.

Tecnológico: Se verificarán las características y tipos de dispositivos que constituyen el sistema de protección contra descargas atmosféricas, tanto externo como interno, los cuales no son considerados en proyectos similares.

1.7. Variables e Indicadores

1.7.1. *Variable Independiente*

- Diseño de protección contra descargas atmosféricas

Indicadores:

- Cobertura del sistema de protección (bloques o áreas protegidas en %)
- Eficiencia del sistema de protección (capacidad en Amperios o en %)
- Tipo y cantidad de elementos del sistema de protección
- Resistencia del sistema de puesta a tierra (Ohmios)
- Tensión de toque y de paso (Voltios)

1.7.2. *Variable Dependiente*

- Seguridad del Hospital frente a descargas atmosféricas

Indicadores:

- Reducción de riesgo de daño a la estructura, equipos eléctricos y personas
- Nivel de protección del sistema
- Percepción de seguridad del personal y usuarios del hospital

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

1.8. Alcances y Limitaciones

El presente trabajo estará enfocado en los estudios de la Ingeniería Eléctrica, considerando lo siguiente:

1.8.1. Alcances

- El presente trabajo realizará un diagnóstico actual del sistema de protección contra descargas atmosféricas del Hospital de Andahuaylas, con el fin de corroborar que el hospital no cumple con lo establecido en la normatividad vigente.
- Desarrollará una propuesta de solución contra los efectos de las descargas atmosféricas, tomando como base la normatividad nacional o, en su defecto, acudiendo a otras normas internacionales, con el fin de que el diseño propuesto sea confiable.
- El diseño de protección contra descargas atmosféricas del presente estudio contempla la protección de los bloques nuevos, así como de los bloques que solo serán remodelados.

1.8.2. Limitaciones

- El presente estudio no considera el análisis de riesgo ni los efectos que pudieran sufrir los equipos y elementos conectados a los cables y/o redes de telecomunicaciones, así como a otros distintos del circuito eléctrico.

1.9. Hipótesis

1.9.1. Hipótesis General

Un nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas mejora la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

1.9.2. Hipótesis Específicas

- a) La evaluación del nivel de riesgo actual frente a las descargas atmosféricas permite identificar vulnerabilidades críticas y diseñar medidas específicas que mejoran la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac, en el año 2023.
- b) La seguridad frente a las descargas atmosféricas del Hospital de Andahuaylas mejora con la implementación del nivel de protección propuesto.
- c) Los dispositivos que conforma el diseño de protección contra descargas atmosféricas propuesto, garantizan la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurimac-2023.

1.10. Metodología

1.10.1. Enfoque de la Investigación

La presente tesis tiene un **enfoque cuantitativo y descriptivo**, ya que implica la medición y evaluación de datos específicos sobre la seguridad del hospital, como la resistencia de la puesta a tierra, la capacidad del sistema de protección, entre otros. También es descriptivo porque busca detallar cómo el diseño de un sistema de protección influye en la mejora de la seguridad hospitalaria frente a descargas atmosféricas.

1.10.2. Tipo de la Investigación

La presente tesis es de tipo **aplicado** porque tiene como objetivo diseñar un sistema de protección y evaluar su impacto en la seguridad del hospital, buscando mejorar la situación actual mediante soluciones prácticas y concretas.

1.10.3. Diseño de Investigación

El presente trabajo tiene un **diseño experimental**; debido que, se va intervenir o modificar directamente en la variable independiente (diseño del sistema de protección), basándose en

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

normativas y estándares ya establecidos. Se analizará el estado actual y se aplicarán soluciones basadas en estos datos.

1.11. Muestra

La muestra está conformada por todas las personas, equipos e infraestructura que se encuentren en el Hospital de Andahuaylas.

1.12. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

1.12.1. Técnicas de Recolección de Datos

Para recabar la información, se emplearán las siguientes técnicas y herramientas de recolección de datos:

Análisis Documental: Expedientes técnicos, planos, memoria descriptiva, consultas bibliográficas y artículos académicos, normatividad nacional e internacional, fichas técnicas y catálogos sobre dispositivos instalados en sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

Entrevistas: Se realizarán entrevistas verbales a los ingenieros de la concesionaria Electro Sur Este, sede Andahuaylas y Abancay, quienes son conocedores de los sucesos y problemas que conllevan las descargas atmosféricas.

1.12.2. Análisis y Procesamiento de Datos

Para realizar el análisis y procesamiento de los datos, se utilizaron distintos softwares, tales como AutoCAD, Google Earth, y Microsoft Office (MS Word, MS Excel, MS PowerPoint), así como el programa ETAP e IPI2win.

Capítulo II: Marco Teórico y Normativo

2.1. Introducción

Con el fin de evaluar la situación actual del Hospital de Andahuaylas en materia de seguridad contra los fenómenos de las descargas atmosféricas, es necesario tener conocimiento de conceptos y definiciones relacionados con el nivel cerámico del terreno, resistencia, resistividad, sistemas de protección convencionales y radiactivos, dispositivos contra sobretensiones y métodos de protección contra el rayo. En este sentido, en el presente capítulo se detalla el marco conceptual para el buen desarrollo de la tesis.

2.2. Antecedentes

Merly Rosario Sánchez Huamán, Veriosca Eliana Escalante Aguirre “DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE PERAYOC 2016”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco – 2017.

Objetivo: Diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas de la Ciudad Universitaria de Perayoc 2016.

Resumen: El trabajo de tesis, pretende diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas para los edificios de las escuelas profesionales de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco ubicados en el Campus Universitario de Perayoc, tomando en consideración el nivel de riesgo ante los rayos que presenta la Región de Cusco, este trabajo está enfocado en el diseño de protección externa para descargas atmosféricas.

Conclusión: Se pudo verificar que el sistema de protección contra descargas atmosféricas existente actualmente es deficiente, para lo cual la tesis pretende implementar 16 pararrayos tipo

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

PDC, para disminuir el riesgo a un valor tolerable y así proteger a las personas contra descargas para la ciudad Universitaria de Perayoc.

Rolando Flores Guerrero “*DISEÑO DE PROTECCIONES ATMOSFÉRICAS EXTERNAS SEGÚN NORMA NFPA 780 – CASO EDIFICIO E - UDEP*”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico de la Universidad de Piura – 2019.

Objetivo: Aplicar la norma NFPA 780 para el diseño del Sistema de protección externo para el Edificio E de la Universidad de Piura.

Resumen: El presente estudio utilizara los conceptos del rayo y los captadores que son los pararrayos, como también la norma internacional NFPA 780 para evaluar si es necesario implementar un SPCDA para el edificio “E” de la UDEP, posterior a este análisis se diseñara y evaluara técnica y económicamente la instalación del de protecciones contra descargas atmosféricas.

Conclusión: El Edificio E de la UDEP requiere la instalación del sistema de protección contra descargas atmosféricas y el proceso realizado para el presente estudio, puede ser utilizado para todo tipo de edificaciones, sin embargo, no considera la protección interna que es vital para salvaguardar las vidas y equipos eléctricos de sobretensiones en la red. También cabe mencionar que la implementación del sistema de protección corresponde al 0.5% del costo de inversión para la construcción del edificio “E” de la UDEP.

Edison Oswaldo Jara Vaca “*ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DIRECTAS EN EDIFICIOS*”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electricista de la Escuela Politécnica Nacional – Quito 2005.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Objetivo: Analizar diferentes métodos de protección contra descargas atmosféricas directas en edificios y establecer su grado de efectividad.

Resumen: El presente proyecto realiza un estudio de diferentes tipos de descargas atmosféricas con el propósito de atenuar los efectos que pudieran ocasionar a las instalaciones de las edificaciones, también se puede observar que menciona diferentes sistemas de protección que son comercializados en el mercado tomando en cuenta las normas internacionales.

Conclusión: se logró demostrar que los sistemas empleados en el presente estudio no ofrecen una protección al 100% eficaz contra los efectos de una descarga atmosférica, sin embargo, estas se pueden atenuar a valores que no puedan afectar considerablemente la integridad de las personas y equipos electrónicos

El Edificio E de la UDEP requiere la instalación del sistema de protección contra descargas atmosféricas y el proceso realizado para el presente estudio, puede ser utilizado para todo tipo de edificaciones, sin embargo, no considera la protección interna que es vital para salvaguardar las vidas y equipos eléctricos de sobretensiones en la red. También se pudo ver que la implementación del sistema de protección tiene un costo mínimo del 0.5% del presupuesto contractual para la construcción del edificio “E” de la UDEP.

2.3. Tormenta Eléctrica

La Real Academia Española (RAE) define una tormenta eléctrica como un “fenómeno meteorológico caracterizado por la formación de descargas atmosféricas y sus perturbaciones electromagnéticas, sonoras, lumínicas y de onda expansiva, acompañadas de fuertes vientos, precipitaciones, granizos y, en algunos casos, nevadas”.

Las tormentas eléctricas son creadas por nubes convectivas; es decir, nubes en las que se produce transferencia de calor debido a la circulación de masas de aire ascendentes y/o

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

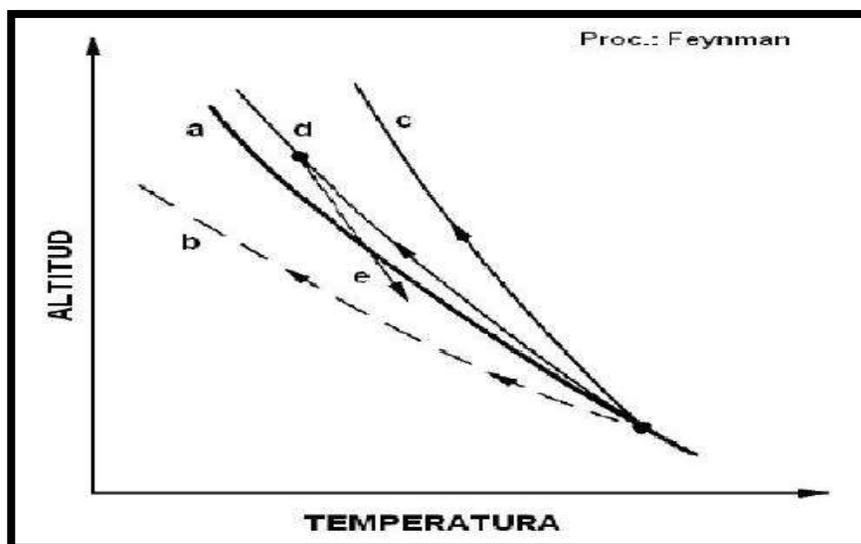
descendentes. Además, la presión y la humedad del aire sobre la superficie terrestre, la exposición a los rayos solares y el relieve del terreno influyen en gran medida en la aparición de tormentas eléctricas (Rodríguez Jiménez et al., 2004, p. 102).

2.3.1. Células de Tormenta

La formación de una nube de tormenta se ve afectada por el comportamiento del aire seco y húmedo, así como por su temperatura y altura, como se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1

Comportamiento del aire en función de la temperatura y la altura



Fuente: (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016)

La curva "a" representa la variación de la temperatura del aire seco en buen tiempo y en estado de equilibrio; se podría definir como el caso ideal (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 29).

La curva "b" muestra el desplazamiento del aire seco en la superficie terrestre que, al calentarse, disminuye su densidad y comienza a subir. Este aire, durante su ascenso, se va expandiendo y enfriándose al mismo tiempo, llegando a una determinada altura donde el aire está

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

más frío que el aire que lo rodea, lo que provoca que vuelva a bajar hasta el punto de origen “P” (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 29).

La curva "c" muestra el desplazamiento del aire húmedo (aire que contiene vapor de agua) ascendente, donde, a medida que se expande y se enfría, el vapor de agua se condensa y libera calor (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, págs. 29-30).

La curva "d" muestra el desplazamiento del aire húmedo junto con el aire seco en ascenso, donde, a medida que la masa de aire húmedo se expande y se condensa en gotas de agua, arrastra consigo una importante cantidad de aire seco (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, págs. 29-30).

La curva "e" muestra el desplazamiento del aire húmedo en descenso. Esto se debe a que las gotas de agua que se han estado condensando incrementan su tamaño y la corriente de aire ascendente no puede sostenerlas, por lo que comienzan a caer, arrastrando algo de aire con ellas. Así se inicia una corriente descendente con la trayectoria de la curva "e", pasando a estar a una temperatura menor que la correspondiente al estado de equilibrio (curva "a"). De esta forma, seguirá cayendo en forma de lluvia hasta llegar a la superficie terrestre (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 30).

2.4. Descargas Atmosféricas

Las descargas atmosféricas son eventos naturales sobre los cuales el hombre no tiene ninguna potestad. Representan un factor que pone en riesgo la seguridad de los seres vivos y el adecuado funcionamiento de los dispositivos, equipos y sistemas eléctricos y electrónicos (Arbeláez G. & Sanz A., 2006, p. 165).

Se originan en las nubes densas llamadas Cumulonimbus, las cuales contienen en la parte superior gotas de agua con fragmentos de hielo, y en su interior pueden contener hasta copos de nieve y granizo. Estas nubes pueden alcanzar tamaños verticales de entre 8 y 14 km de altura

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

(Rodríguez Jiménez et al., 2004, p. 127). Los Cumulonimbus están cargados con electricidad estática, generalmente con carga negativa en la base y carga positiva en la parte superior. Debido a los vientos y granizos que ocurren dentro de la nube, se generan descargas eléctricas, siendo de mayor intensidad las descargas entre nubes y de menor intensidad las descargas nube-tierra (Sierra Tamara & Escobar Morales, 2004, p. 13). En la Tabla 2.1 se detallan las características de las nubes de tormenta, en las cuales se pueden observar valores considerables que tienden a modificar las condiciones y parámetros de las descargas atmosféricas.

Tabla 2.1

Parámetros técnicos de las nubes de tormenta cumulonimbus

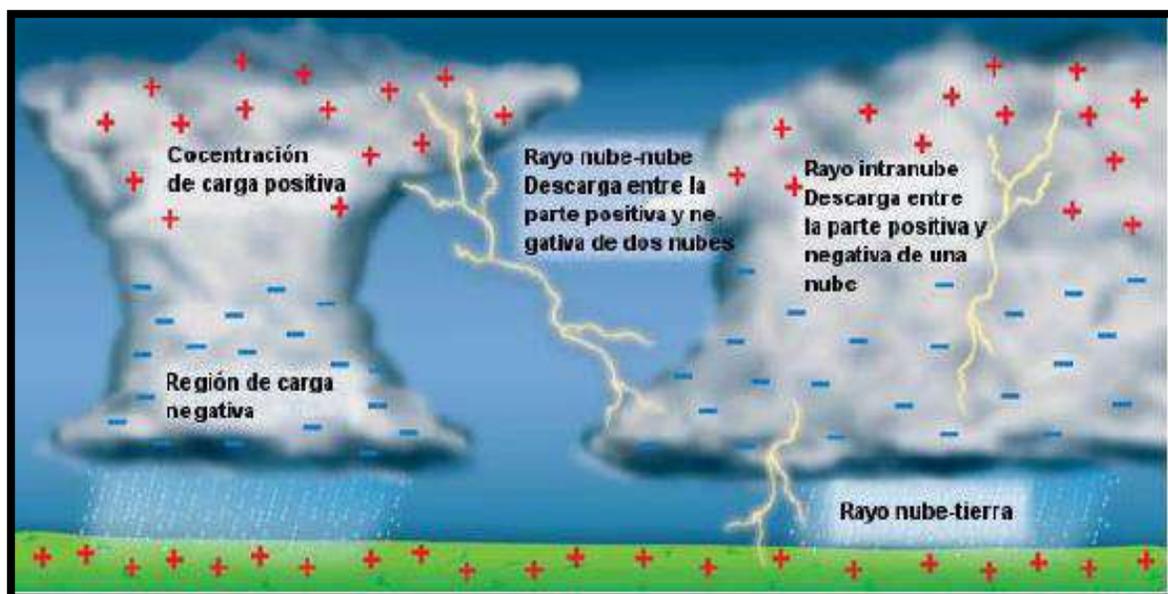
<i>Parámetros técnicos</i>	<i>Valor típico</i>
Diámetro de la nube	10 Km.
Altura desde la tierra hasta la parte superior de la nube	10-15 Km.
Altura desde la tierra hasta la parte inferior de la nube	1-2 Km.
Masa de agua de la nube	10 ⁸ Kg.
Carga de energía total	10 – 100 C
Diferencia de potencial entre nube – tierra	50 – 100 MV
Duración	1 hora

Fuente: (Alberto Medina , 2021)

Dentro de los Cumulonimbus se producen tres tipos de descargas atmosféricas, que son: las descargas intra nube, que ocurren con mayor frecuencia; las descargas entre nubes, que son menos frecuentes y pueden alcanzar longitudes de hasta 20 km; y las descargas nube a tierra, que son las más destructivas y peligrosas (Donaire Martínez & Gago Maldonado, 2018, p. 16).

Figura 2.2

Tipos de rayos intra nube, entre nube y nube a tierra



Fuente: (Sanchez Huaman & Escalante Aguirre, 2016)

2.4.1. Proceso de Electrificación de la Nube de Tormenta

Existen diversas teorías sobre el proceso de formación de las descargas atmosféricas; sin embargo, todas coinciden en que, dentro de la nube de tormenta, ocurre un proceso de separación de cargas entre los diferentes componentes que la conforman (gotas de agua, granizo, corrientes de aire, vapor de agua), quedando la región inferior de la nube con carga negativa y la región superior con carga positiva.

2.4.1.1. Teoría de Simpson

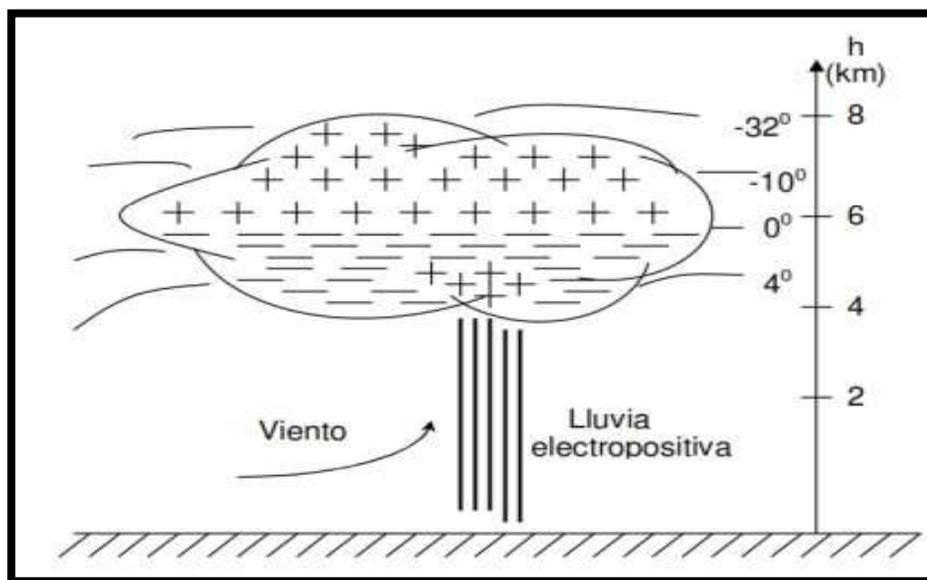
Esta teoría menciona que la formación de cargas eléctricas en la nube de tormenta se debe a la ruptura consecutiva de gotas de agua, provocada por la constante colisión de corrientes de aire que se encuentran dentro de la nube, con las corrientes de aire ascendentes provenientes del mar o de la superficie terrestre, lo que propicia la dispersión de cargas en la nube. Este flujo de aire

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ascendente transporta vapor húmedo, cargando positivamente la parte superior de la nube, mientras que la parte inferior queda cargada negativamente (Castillo Herrera, 2014, pág. 8).

Figura 2.3

Teoría de carga de la nube según Simpson



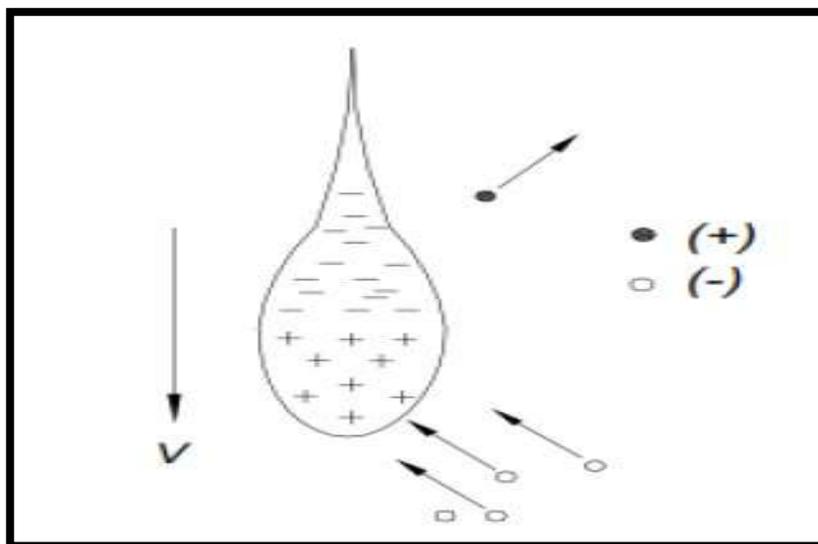
Fuente: (Castillo Herrera, 2014)

2.4.1.2. Teoría de Wilson – Ionización de la Gota de Lluvia

Esta teoría menciona que el intercambio de cargas entre las gotas de agua se debe a la acción de iones que se encuentran dentro de cada gota. La ruptura consecutiva de estas gotas ocasiona que la parte superior de la gota tenga carga negativa y la inferior, carga positiva (Castillo Herrera, 2014). Sin embargo, debido a la acción del viento que arrastra los iones hacia la nube, las cargas negativas son atraídas por las cargas positivas de la parte inferior de la gota, mientras que los iones positivos son repelidos por los iones negativos y transportados por el aire hacia la parte superior de la nube. Por lo tanto, la gota de agua continúa su caída solo con carga negativa (Castillo Herrera, 2014).

Figura 2.4

Carga de la gota de lluvia según la teoría de Wilson



Fuente: (Castillo Herrera, 2014)

2.4.2. El Rayo

El rayo es una descarga nube-tierra transitoria de muy corta duración y elevada intensidad. Puede tener polaridad positiva, negativa o ambas en una misma descarga, lo que se conoce como una onda bipolar (Jurado Machado, 2013, p. 7).

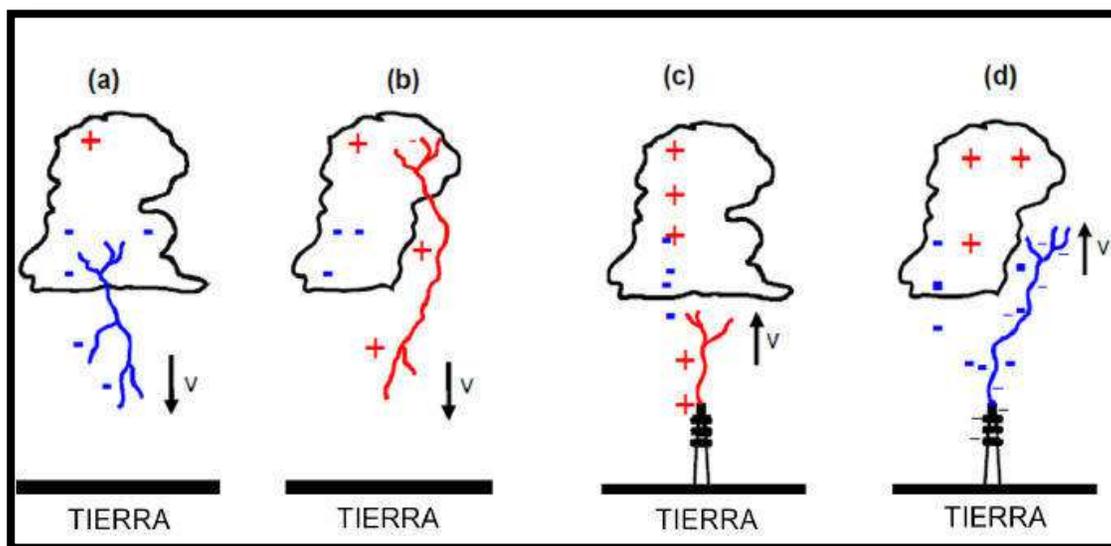
La Norma Técnica Peruana (NTP) menciona que existen dos tipos básicos de descarga: las descargas iniciadas por un líder descendente desde la nube a tierra y las descargas iniciadas por un líder ascendente desde una estructura en tierra hacia la nube (Norma Técnica Peruana IEC 62305-1, 2015, p. 33). Asimismo, estas descargas tienen una diferenciación complementaria por su polaridad, pudiendo presentarse descargas descendentes positivas o negativas, las cuales se originan en su mayoría en terrenos llanos y estructuras de poca altura; y las descargas ascendentes positivas o negativas que se dan en estructuras expuestas y/o elevadas (Norma Técnica Peruana 62305-1, 2015).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

En la Figura 2.5 se muestran los tipos de descargas nube-tierra, donde el 90% de las ocurrencias corresponden a las descargas negativas (a); menos del 10% son descargas positivas (b). También existen rayos iniciados desde la tierra hasta la nube (c y d), que, en su mayoría, ocurren en zonas de gran altitud, siendo muy raros y poco frecuentes (Jurado Machado, 2013, p. 7).

Figura 2.5

Tipos de descargas eléctricas nube - tierra



2.4.2.1. Proceso de Descarga de una Nube de Tormenta a Tierra

El 90 % de las descargas nube-tierra se origina en la zona de carga negativa de la nube. Una descarga electrostática que dura algunos milisegundos comienza a formar la guía escalonada o trazador descendente de la nube hacia la tierra (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 49).

Posteriormente, debido a la influencia del campo eléctrico establecido entre la nube y el suelo, los electrones de la guía escalonada se desplazan en pasos de decenas de metros de longitud, con una duración de microsegundos, donde el líder descendente emerge de la base de la nube de tormenta con dirección hacia el suelo (Grupo de Electricidade Atmosférica do Brasil, 2022).

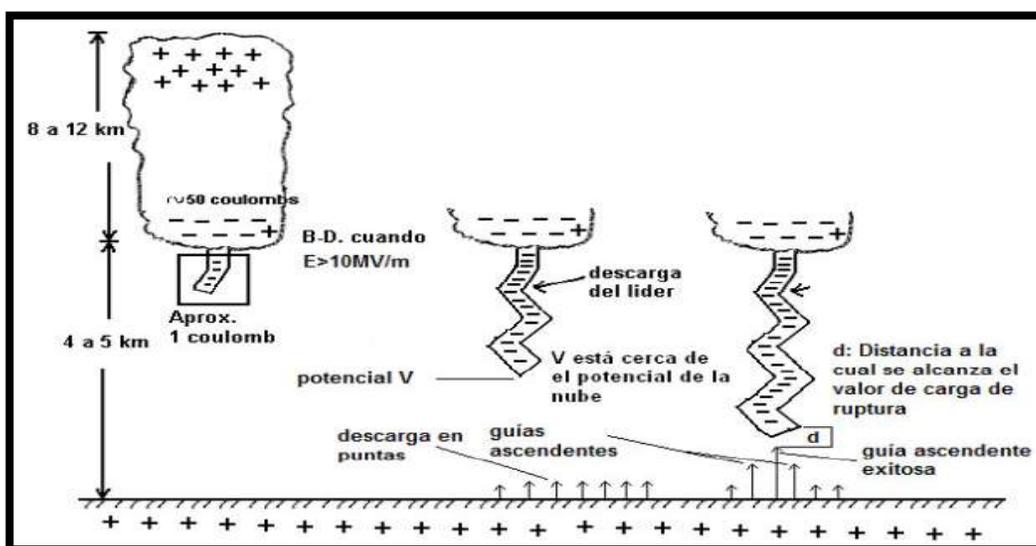
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Cuando el líder descendente se acerca al suelo, la carga eléctrica contenida en el canal produce un intenso campo eléctrico entre el extremo conductor y el suelo, provocando la ruptura de la rigidez dieléctrica del aire, lo que hace que una o más descargas positivas asciendan, originando el líder ascendente, que por lo general se da en los objetos más altos (Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil, 2022).

Cuando el líder ascendente se encuentra próximo al líder descendente, a una distancia entre 10 y 100 metros del suelo, se forma el canal del rayo y las cargas almacenadas comienzan a moverse hacia el suelo a una gran velocidad de unos 100.000 km/s (Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil, 2022).

Figura 2.6

Procedimiento de formación de la descarga nube a tierra (rayo)



Fuente: (Instituto de Ingenieria Electrica, 2016)

Las cargas depositadas en el canal, así como las que se encuentran alrededor y en la parte superior del canal, descienden por el centro del canal en una región de unos pocos centímetros de diámetro, produciendo una alta corriente de hasta 200 kA (Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil, 2022).

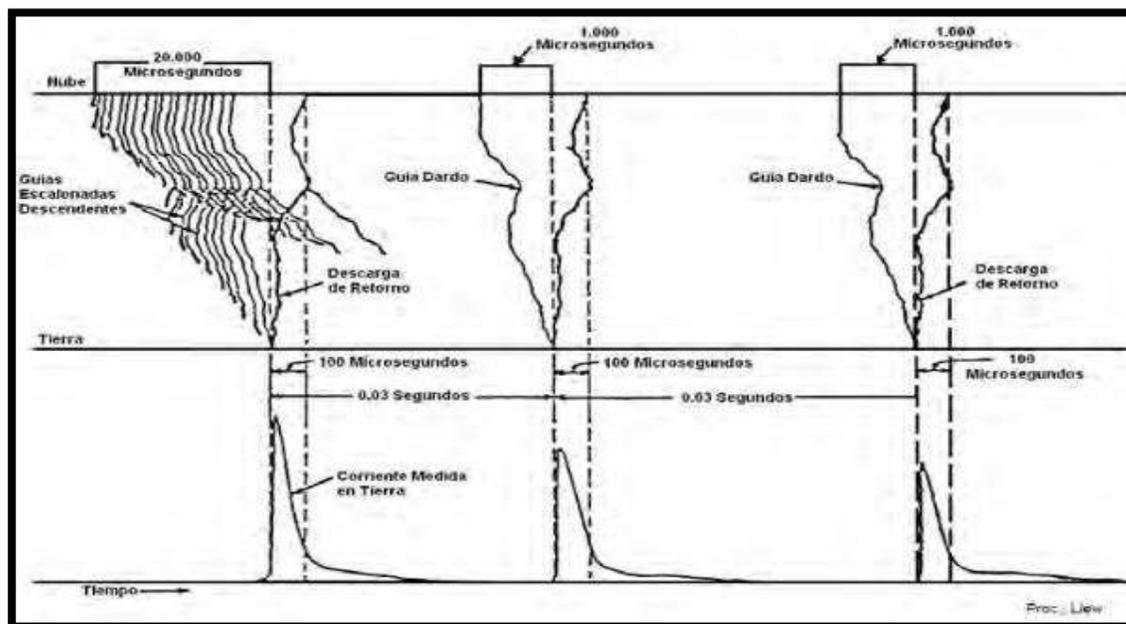
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

El rayo puede tener un destello único o múltiples destellos de retorno, los cuales tienen un intervalo de tiempo de 40 milisegundos entre destellos de retorno consecutivos, con corrientes normalmente menores que la primera descarga. Todos los destellos de retorno que siguen al menos parcialmente el mismo canal pertenecen a un solo rayo de nube a tierra, que pueden estar formados por uno o incluso docenas de golpes de retorno (Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil, 2022).

A menudo, en las descargas subsecuentes se transfiere una corriente del orden de 100 amperios a través del canal durante decenas a cientos de milisegundos, denominándose corriente continua, y son estas las que ocasionan los incendios (Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil, 2022).

Figura 2.7

Formación de la descarga a tierra y descargas subsecuentes



Fuente: (Instituto de Ingenieria Electrica, 2016)

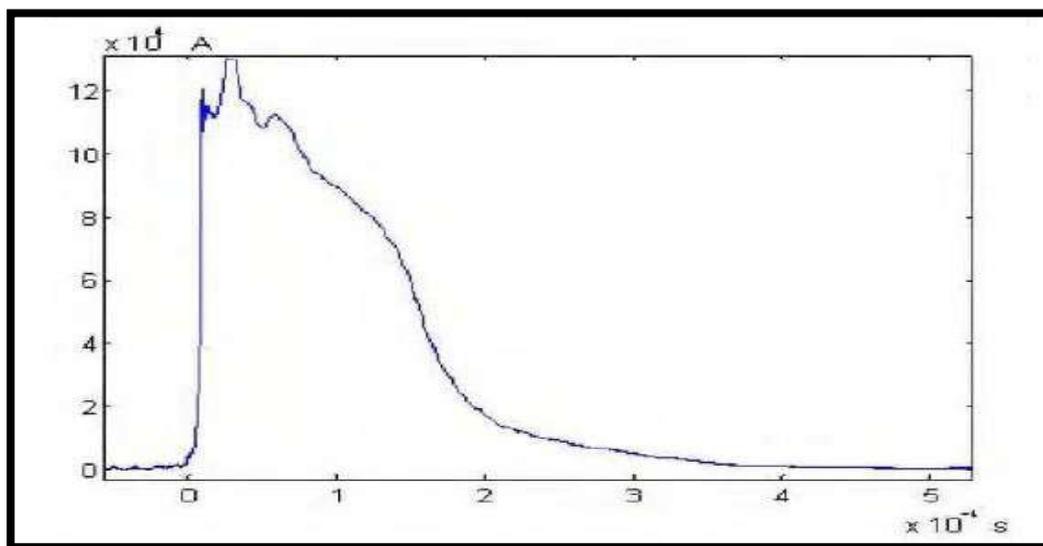
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.4.3. Parámetros de la Corriente de Rayo

Para poder realizar la protección contra los diferentes daños que ocasiona una descarga nube-tierra, se debe caracterizar la forma de onda de corriente del rayo y así poder llevar a cabo un diseño correcto que mitigue los efectos destructivos que este conlleva. En La Figura 2.8, se muestra una medición real de la corriente de un rayo, donde se pueden observar tres características importantes: un rápido crecimiento inicial, una corriente de pico máxima y un descenso mucho más lento (Instituto de Ingeniería Electrica, 2016, pág. 63).

Figura 2.8

Forma de onda real de la corriente de rayo



Fuente: (Instituto de Ingeniería Electrica, 2016)

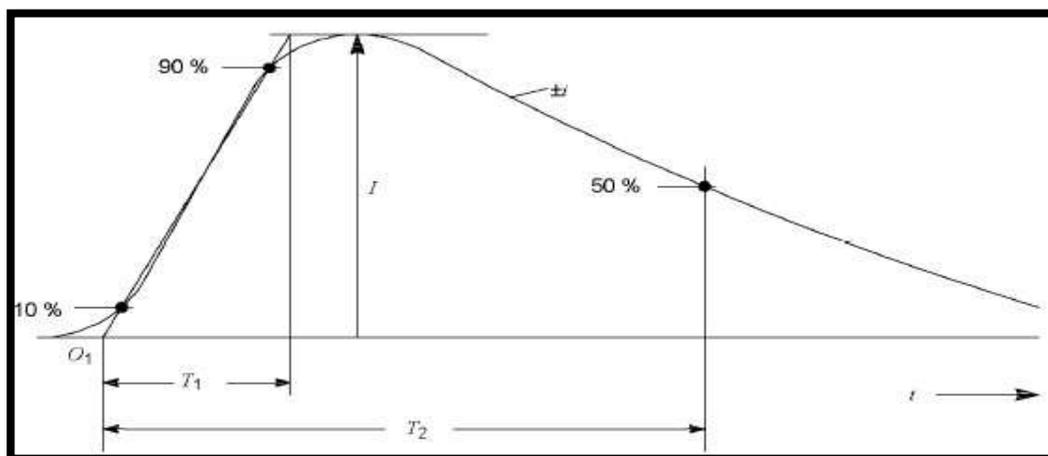
El rayo está formado por uno o más descargas que pueden ser: impactos de corta duración, menores a 2 ms, e impactos de larga duración, superiores a 2 ms (Norma Técnica Peruana IEC 62305-1, 2015, p. 33). La Figura 2.9 muestra una característica de la forma de onda del primer impacto del rayo, donde el valor pico de corriente nos ayuda a determinar la ubicación de los pararrayos y el dimensionamiento de las protecciones. Por último, el tiempo de bajada al 50% influye directamente en la cantidad de energía total que se disipa en los objetos y conductores por

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

los que circula el rayo (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 64). En la Figura 2.10, se muestra la forma de onda de larga duración.

Figura 2.9

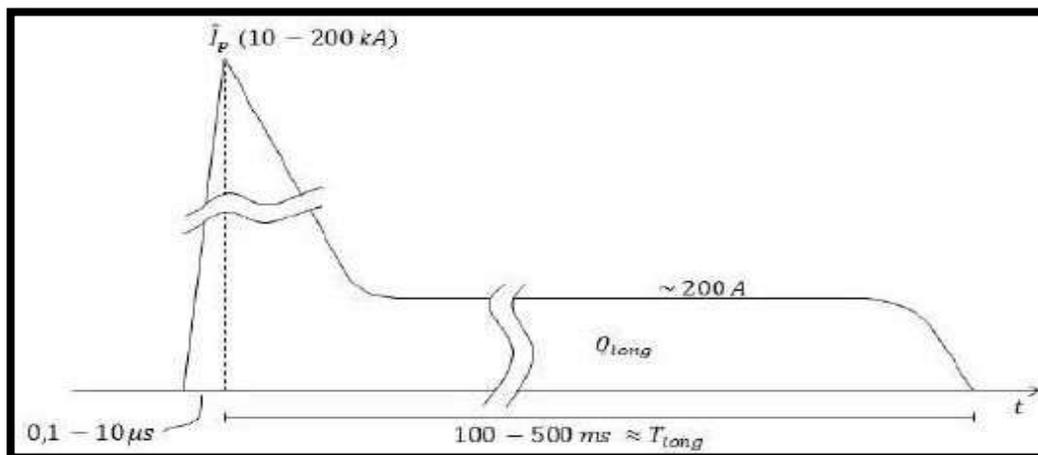
Forma de onda del primer impacto de una descarga atmosférica



Fuente: Norma Técnica Peruana NTP-IEC 62305-1

Figura 2.10

Forma de onda de un impacto de rayo de larga duración



Fuente: Norma Técnica Peruana NTP-IEC 62305-1

En la Tabla 2.2, se representan los parámetros para el rayo, los cuales son aplicables tanto a las descargas descendentes como a las ascendentes. Sin embargo, todos los parámetros de los

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

impactos cortos de las descargas ascendentes están cubiertos por las descargas descendentes. Por lo tanto, en los estudios de protección contra rayos, solo se consideran los valores máximos de las descargas descendentes (Norma Técnica Peruana IEC 62305-1, 2015, p. 35).

Tabla 2.2

Parámetros de la corriente de rayo de acuerdo a los niveles de protección

Primer impacto negativo de corta Duración						
Parámetros de la corriente	Símbolo	Unidad	Niveles de protección			
			I	II	III	IV
Valor de cresta máxima	I	kA	200	150	100	
Valor de cresta mínimo	I	kA	3	5	10	16
Carga del impulso corto	Q_{short}	C	100	75	50	
Energía específica	W/R	MJ/Ω	10	5.6	2.5	
Parámetros de tiempo	T_1/T_2	μ_s/μ_s		10/350		
Impactos Subsecuentes Negativos de Corta Duración						
Parámetro de la corriente de rayo	Símbolo	Unidad	Niveles de protección			
			I	II	III	IV
Valor de cresta máxima	I	kA	50	37.5	25	
Pendiente media	d_i/d_t	kA/μ_s	200	150	100	
Parámetros de tiempo	T_1/T_2	μ_s/μ_s		0.25/100		
Impulso larga duración						
Parámetros de la corriente	Símbolo	Unidad	niveles de protección			
			I	II	III	IV
Carga del impulso corto	Q_{long}	C	200	150	100	
Parámetros de tiempo	T_{long}	s		0.5		

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-1, 2015, pág. 27)

2.4.4. Nivel Ceraunico

La cantidad de tormentas eléctricas no es uniforme en todo el planeta; su máxima ocurrencia se da en zonas cercanas al ecuador, mientras que son bastante escasas sobre los océanos. Esta cantidad de descargas eléctricas que se producen en una zona se denomina índice cerámico (T_D), cuyo valor se estima por el número de días al año en que, en algún momento, hubo actividad eléctrica en esa área; no importa si se escuchó un trueno o diez, para ese día solo se cuenta uno (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 41).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

De toda la actividad eléctrica en una zona, se determina el número de descargas a tierra (rayos) por kilómetro cuadrado y por año (N_G). Este valor se calcula utilizando la ecuación (2.1), donde a y b son valores experimentales (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 42). Sin embargo, una expresión comúnmente utilizada es la ecuación (2.2).

$$N_G = a(T_D)^b \quad (2.1)$$

$$N_G = 0.04(T_D)^{1.25} \quad (2.2)$$

Donde:

T_D = Índice Ceraúnico [días de tormenta/ km^2 /año].

a, b = Valor experimental de 0.04 y 1.25 respectivamente [Adimensional].

Para el país de Perú, el valor T_D se puede obtener del mapa isoceraúnico del Perú, elaborado por el Ingeniero Electricista Justo Hermilio Yanque Montufar. Este mapa proporciona una representación visual de la distribución de la actividad eléctrica en diferentes regiones del país. Los valores específicos para cada área se pueden consultar en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3

Número de días con descargas atmosféricas por año en zonas del Perú

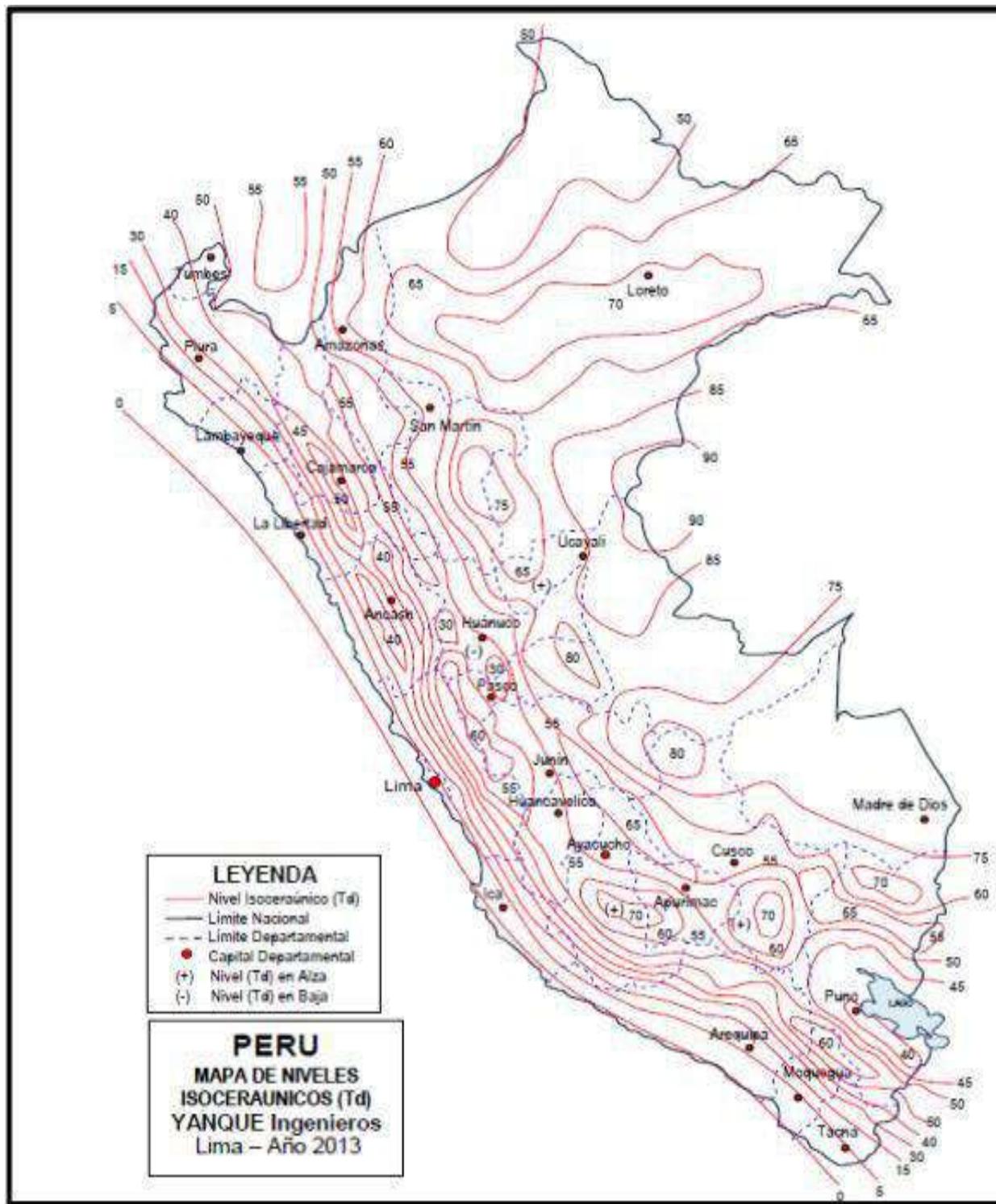
Zona	Altitud (msnm)	T_D	N_G
Sierra de baja altitud hacia el litoral	Hasta 2000 m	20	2
Sierra de media altitud	2000 a 3500 m	40	5
Sierra de gran altitud	Mayor a 3500 m	50	6
Microclimas de alta cota e interandinos	--	40 a 70	5 a 9
Zona yunga, valles altos	1000 a 2000 m	60	7
Selva baja o plana	Hasta 800 m	120	16
Selva alta o accidentada	800 a 1500 m	80	10
Costa norte ecuatorial	Hasta 1000 m	15	2
Costa Centro - Sur	Hasta 1000 m	0	0

Fuente: (Sanchez Huaman & Escalante Aguirre, 2016)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.11

Mapa isoceráunico del Perú realizado por el Ing. Justo Hermilio Yanque Montufar – 2011



Fuente: (Sanchez Huaman & Escalante Aguirre, 2016).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.5. Principales Consecuencias y Efectos de los Rayos

El impacto de un rayo en un edificio, especialmente en hospitales y otros establecimientos de salud, puede tener consecuencias severas. La Tabla 2.4 proporcionará ejemplos específicos de estos efectos y daños en hospitales, resaltando la importancia de un sistema de protección adecuado contra descargas atmosféricas.

Tabla 2.4

Efectos del rayo en estructuras hospitalarias y centros de salud

Tipo de estructura	Efectos del rayo
Hospitales, Centros de Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Daños estructurales: Perforación en los objetos expuestos al punto de impacto del rayo o al paso de la corriente de rayo, fisuras, grietas o incluso colapsos en la estructura del edificio. • Daños a equipos eléctricos y biomédicos: El rayo puede provocar sobrecargas y daños irreparables en equipos esenciales para el diagnóstico y tratamiento de pacientes. • Perdida de Vida: Las descargas eléctricas pueden ser fatales para las personas que se encuentren dentro o fuera del edificio en el momento del impacto. • Fallos en los sistemas internos: La interrupción del suministro eléctrico y la falla de los sistemas de comunicación pueden comprometer la atención de los pacientes y la seguridad del personal • Daños a los alrededores: La energía del rayo puede afectar también a las estructuras cercanas, provocando daños en la infraestructura externa del hospital • Otros: Riesgo de incendio y accidentes por tensiones de paso y toque; fallo de computadoras y pérdida de datos; problemas en asistencia a personas en cuidados intensivos y dificultades de rescates de personas inmovilizadas.

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP-IEC 62305-1

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.5.1. Efectos de la Corriente del Rayo que Generan Posibles Daños

Los parámetros de la corriente del rayo, como la corriente de pico (\hat{I}_p), la carga (Q), la energía específica ($\frac{W}{R}$), la pendiente media de la corriente ($\frac{di}{dt}$) y la duración (t), son cruciales para entender los efectos de las descargas atmosféricas en personas y sistemas de protección (Norma Técnica Peruana 62305-1, 2015, pág. 51). Cada uno de estos parámetros puede influir en los elementos de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, como se detalla a continuación:

- **Corriente de pico (\hat{I}_p):** Representa el valor máximo de corriente durante la descarga. Un alto \hat{I}_p puede causar daños severos a los sistemas eléctricos y puede ser letal para los seres vivos.
- **Carga (Q):** Se refiere a la cantidad total de electricidad que transporta el rayo. Altas cargas pueden superar la capacidad de los sistemas de protección, causando fallos en el equipo.
- **Energía específica ($\frac{W}{R}$):** La energía disipada por unidad de resistencia. Altas energías específicas pueden generar calentamiento excesivo en los conductores y componentes, llevando a su fallo.
- **Pendiente media de la corriente ($\frac{di}{dt}$):** Se refiere a la rapidez con la que cambia la corriente. Un valor elevado puede inducir voltajes transitorios en sistemas eléctricos, que pueden dañar los equipos conectados.
- **Duración (t):** El tiempo durante el cual la corriente fluye. Un rayo de larga duración puede tener efectos más destructivos que uno de corta duración, debido a la acumulación de energía

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La Tabla 2.5 proporcionará detalles sobre los efectos específicos que cada uno de estos parámetros tiene en los componentes de un sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Tabla 2.5

Efectos producidos por el rayo en los componentes del SPCDA

Componente	Efectos principales
Dispositivo captor	Erosión en el punto de impacto
Dispositivo captor y conductores de bajada	Calentamiento óhmico Efectos mecánicos
Componentes de conexión	Efectos combinados (térmicos, mecánicos y arcos)
Tomas de tierra	Erosión en el punto de impacto
Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias con explosores	Efectos combinados (térmicos, mecánicos y arcos)
Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias con varistores	Efectos energéticos (sobrecargas) Efectos dieléctricos (cebados/perforaciones)

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP-IEC 62305-1

2.5.1.1. Efectos Térmicos

Estos efectos, se producen debido a la circulación de la corriente eléctrica del rayo cuando atraviesa por cualquier componente del sistema de protección, debido que todos los elementos contienen una parte resistiva que disipa calor. El dimensionamiento de los componentes debe garantizar la correcta operación y no presentar sobrecalentamientos que pudieran provocar un incendio (Norma Técnica Peruana 62305-1, 2015, pág. 54).

En los componentes del SPCDA, puede desarrollarse un arco eléctrico produciéndose la fusión y erosión de los materiales, por el incremento considerable de temperatura debido a las altas densidades de corriente y cuya severidad del proceso está en relación a la amplitud de la corriente y el tiempo de duración (Norma Técnica Peruana 62305-1, 2015, pág. 56).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

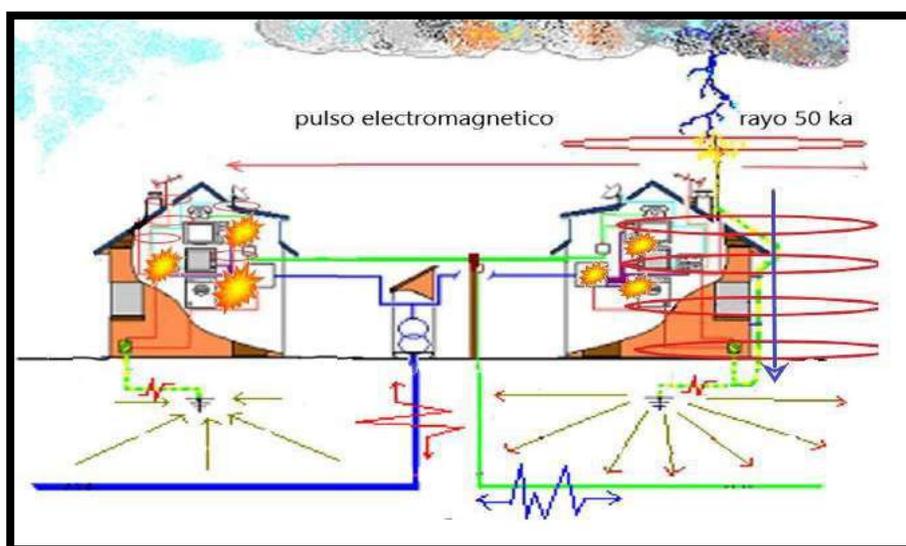
2.5.1.2. Interacción de la Descarga Atmosférica con Personas

El sistema de protección contra descargas atmosféricas (SPCDA) tiene como principal función conducir de manera segura la corriente del rayo desde el punto de impacto hasta su puesta a tierra. Sin embargo, durante este proceso, el paso de la corriente genera diferencias de potencial a lo largo del recorrido de la descarga, lo que provoca la inducción de gradientes de tensión no solo en las estructuras, sino también en el terreno circundante.

Estos gradientes de tensión pueden causar daños significativos a las personas, equipos y estructuras debido a la aparición de los siguientes fenómenos: tensión de paso, tensión de toque y descargas disruptivas laterales (Side Flash).

Figura 2.12

Efectos de la disipación del rayo por el SPCDA



Fuente: Evolución y efectos dinámicos del rayo

El paso de la corriente del rayo a través del cuerpo humano tiene efectos devastadores, ya que puede causar contracciones musculares severas, quemaduras y ampollas, como resultado del intenso calor generado por el flujo de corriente eléctrica. Además, los órganos vitales como el cerebro, corazón y pulmones son extremadamente vulnerables y pueden sufrir daños graves o

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

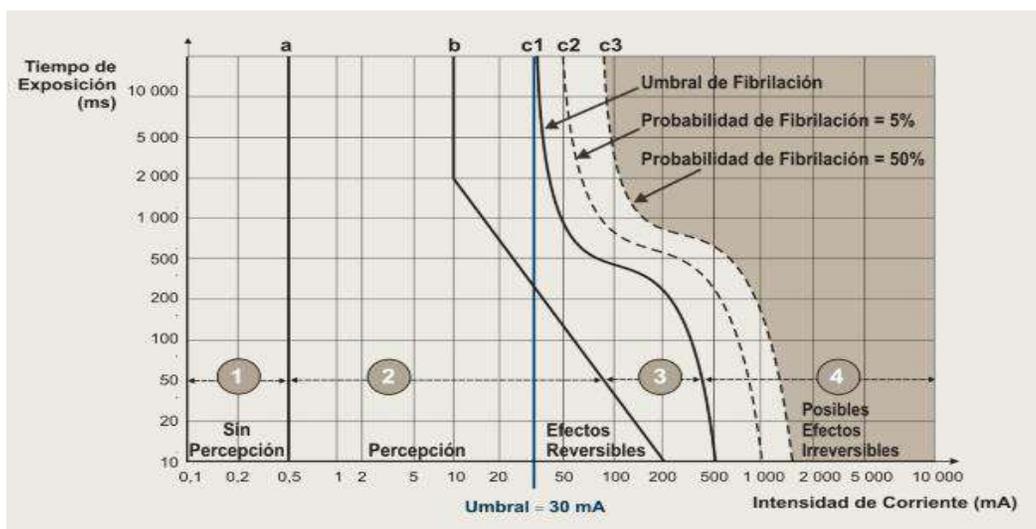
incluso irreversibles (Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion, 2006, pág. 648). La severidad de estos efectos depende de varios factores:

- **Parámetros fisiológicos:** Estos incluyen el estado de salud, la masa corporal, el área de contacto con la corriente y la resistencia interna del cuerpo humano. La resistencia del cuerpo puede variar en función de factores como la humedad de la piel o la presencia de ropa húmeda, lo que puede reducir la resistencia y aumentar el daño causado (Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion, 2006, pág. 249).
- **Parámetros eléctricos:** La intensidad de la corriente, el tiempo de exposición y el tipo de corriente (continua o alterna) juegan un papel clave en la gravedad de los daños. A medida que aumenta la corriente que atraviesa el cuerpo, mayor es el riesgo de lesiones graves o mortales (Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion, 2006, pág. 249).

Estos efectos se describen con más detalle en la Tabla 2.6.

Figura 2.13

Efectos de la corriente alterna (15 a 100 Hz) sobre las personas



Fuente: (Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion, 2006)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 2.6*Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano*

Zona	Límites de la zona	Efectos fisiológicos
Zona 1	Hasta 0.5 mA - línea "a"	Umbral de percepción, no tiene consecuencias
Zona 2	De 0.5-10 mA	Cosquilleos, calambres, ningún efecto fisiológico peligroso
Zona 3	De la línea "b" hasta la curva "c1"	Umbral de no soltar, contracciones musculares y dificultad de respiración para duración de paso de la corriente mayor de 2 segundos, impulsos en el corazón, fibrilación ventricular y paros cardiacos temporales.
Zona 4	Por encima de la curva "c1"	Los efectos de la Zona 3, además paro cardiaco, paro respiratorio y quemaduras severas.
Zona 4.1	Entre las curvas "c1" y "c2"	Probabilidad de fibrilación ventricular que aumenta hasta el 5 %
Zona 4.2	Entre las curvas "c2" y "c3"	Probabilidad de fibrilación ventricular que aumenta hasta aproximadamente el 50 %.
Zona 4.3	Por encima de la curva "c3"	Probabilidad de fibrilación ventricular superior al 50 %.

Fuente: (Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion, 2006)

2.5.1.2.1. Tensión de Paso

Se producen cuando una persona está caminando o de pie sobre el terreno donde ocurre el impacto del rayo. Como la corriente se desplaza a través del suelo, la diferencia de potencial entre los pies de la persona puede provocar una descarga a través de su cuerpo, lo que resulta extremadamente peligroso.

Para calcular la tensión de paso que se origina por la circulación de la corriente de rayo, se considera un escenario en el que una persona se encuentra sobre un terreno homogéneo. La corriente del rayo se dispersa radialmente desde el punto de impacto (o del conductor de bajada),

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

generando diferencias de potencial entre los puntos donde se encuentran los pies de la persona (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 85).

En la Figura 2.14, las distancias r_1 y r_2 representan las distancias desde el conductor de bajada hasta los pies de la persona. Estos pies están separados una distancia de un metro, lo que es una aproximación estándar para evaluar la tensión de paso (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 85). Entonces la diferencia de potencial estará representada por la ecuación (2.4).

$$\Delta U_{12} = \frac{I_p * \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.3)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{I_p * \rho}{2\pi * r_1 * (r_1 + 1)} \quad (2.4)$$

Donde:

ΔU_{12} = Tensión de paso [V]

I_p = Corriente pico [A]

ρ = Resistividad del terreno [$\Omega * m$]

r_1 y r_2 = Distancia del conductor a cada uno de los pies [m]

2.5.1.2.2. Tensión de Toque o Contacto

Ocurren cuando una persona toca una estructura metálica o conductora que está conectada o cercana al sistema de protección. Si la estructura está a un potencial diferente al de la tierra en la que se encuentra la persona, puede ocurrir una descarga peligrosa que atraviese su cuerpo.

El Código Nacional de Electricidad - Utilización define la tensión de toque como la diferencia de potencial que se genera cuando una persona o animal está en contacto con un punto a través del cual circula la corriente de rayo, mientras también está en contacto con la tierra. En este caso, parte de la corriente del rayo puede fluir a través del cuerpo de la persona, lo que

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

representa un riesgo significativo de lesión o muerte por electrocución (Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion, 2006, pág. 382).

Para calcular la tensión de toque, se considera la situación en la que una persona toca el conductor de bajada de la corriente de rayo a una altura de un metro sobre el terreno. En este caso, la tensión de toque se puede expresar utilizando la ecuación (2.5).

$$V_{toque} = R * I_p + L \frac{d_i}{d_t} \quad (2.5)$$

Donde:

V_{toque} = Tensión de toque [V]

I_p = Corriente pico [A]

R = Resistencia del cable desde el punto de contacto [Ω]

L = Inductancia del cable desde el punto de contacto [$\frac{H}{m}$]

$\frac{d_i}{d_t}$ = Derivada de la corriente [$\frac{kA}{\mu s}$]

Para obtener la tensión total de toque que afecta a una persona en contacto con un conductor de bajada durante una descarga atmosférica, se debe sumar la tensión de paso a la tensión de toque calculada previamente. Una vez que se calcula la tensión total de toque, es importante compararla con los valores de tensión de toque admisible que son seguros para el ser humano. Estos valores están especificados en normas de seguridad y se basan en estudios fisiológicos sobre los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.

La Tabla 2.7 proporciona los valores de la máxima tensión de toque admisible para un ser humano, considerando que el 95 % de las personas se encuentran en un sector o edificio de acceso público, lo que representa una zona donde se espera una mayor concentración de personas y, por lo tanto, un mayor riesgo en caso de impacto de rayo. Estos valores son clave para el diseño de

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

sistemas de protección contra rayos, ya que ayudan a garantizar la seguridad de las personas en caso de una descarga atmosférica (Ministerio de Energía y Minas de Colombia , 2024, pág. 37).

Tabla 2.7

Máxima tensión de toque, en función del tiempo

Tiempo de despeje de la falla [milisegundos]	Máxima Tensión de Toque admisible para el 95% de la población [Voltios]
Mayor a 2 segundos	50 voltios
1 segundo	55 voltios
700 ms	70 voltios
500 ms	80 voltios
400 ms	130 voltios
300 ms	200 voltios
200 ms	270 voltios
150 ms	300 voltios
100 ms	320 voltios
50 ms	345 voltios
40 ms	350 voltios
30 ms	355 voltios
20 ms	360 voltios
10 ms	365 voltios

(Ministerio de Energía y Minas de Colombia , 2024, pág. 37)

2.5.1.2.3. Daño a distancia por descargas disruptivas o arco eléctrico (Side Flash)

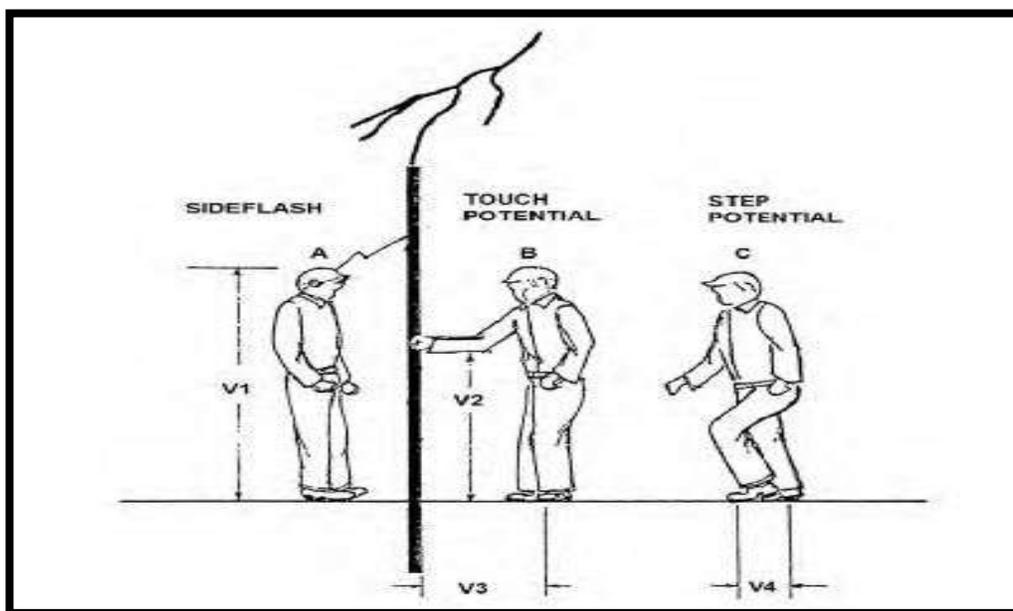
Se producen cuando la corriente del rayo, en lugar de seguir el camino previsto por el sistema de protección, se desvía hacia otros elementos conductores cercanos, como tuberías, estructuras metálicas o equipos eléctricos. Esto sucede debido a la diferencia de potencial entre el sistema de protección y los objetos cercanos, lo que origina la ruptura dieléctrica del aire y puede

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

provocar chispas o descargas laterales que pueden dañar equipos o poner en riesgo la seguridad de las personas.

Figura 2.14

Daños a las personas debido a las descargas atmosféricas



Fuente: (Instituto de Ingenieria Electrica, 2016)

2.6. Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosféricas Externa

Los sistemas de protección contra descargas atmosféricas externo están diseñados para proteger las estructuras y sus ocupantes frente a los efectos destructivos de los rayos. Estos sistemas constan de diferentes elementos que trabajan en conjunto para captar, conducir y disipar de manera segura la corriente de una descarga atmosférica hacia tierra (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015). La configuración y las características de estos elementos dependen de diversos factores, como el tipo de estructura, su ubicación y el nivel de protección requerido (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015).

La Norma Técnica Peruana IEC 62305-3 establece cuatro niveles de protección contra rayos, que son Nivel I (el más exigente) hasta Nivel IV (el menos exigente), los cuales están

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

diseñados en función de la evaluación de riesgo específica para cada estructura (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015). A continuación, se describen los principales aspectos de estos niveles de protección:

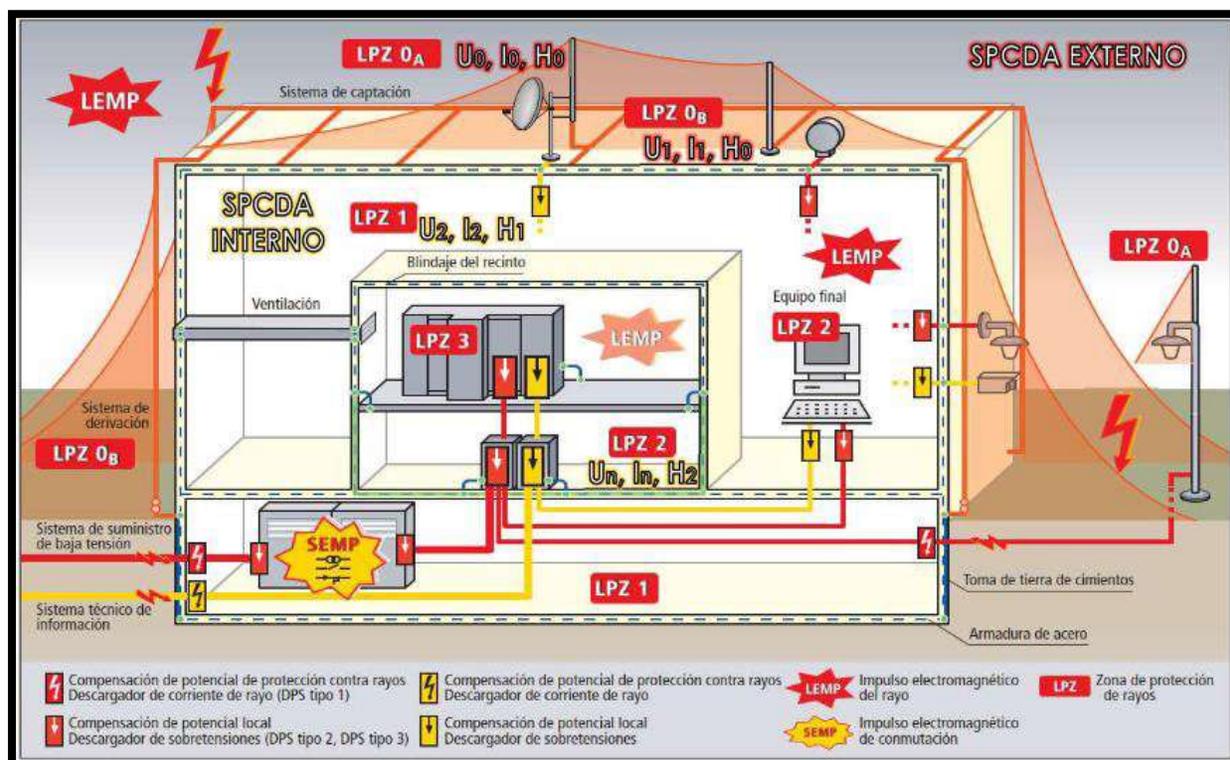
- **Nivel I:** Ofrece el mayor grado de protección y está diseñado para estructuras de alto riesgo, donde la probabilidad de impacto de un rayo es alta o donde las consecuencias de un impacto son graves (como en instalaciones críticas, hospitales, o áreas con alta densidad de ocupación). Los componentes de protección en este nivel son más robustos y los criterios de instalación más estrictos (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).
- **Nivel II:** Este nivel ofrece un grado de protección ligeramente inferior al Nivel I, pero sigue siendo adecuado para estructuras importantes o sensibles. Se utiliza en edificios donde el riesgo de impacto sigue siendo considerable, pero las consecuencias no son tan graves como en el Nivel I (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).
- **Nivel III:** Proporciona una protección moderada y está diseñado para estructuras comunes, como edificios residenciales o comerciales, donde el riesgo de impacto es menor o donde las consecuencias de un impacto son controlables (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).
- **Nivel IV:** Es el nivel de protección más básico y se utiliza en estructuras donde la probabilidad de impacto es baja y las consecuencias no son significativas. A menudo se emplea en áreas rurales o en edificios de menor relevancia (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

Una evaluación de riesgo precisa es esencial para determinar el nivel de protección adecuado y garantizar la seguridad y la continuidad operativa de la estructura.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.15

Zonas de protección contra el rayo



Fuente: (Alberto Medina , 2021)

2.6.1. Sistemas de Captores

Los sistemas de captadores, comúnmente conocidos como pararrayos, se utilizan para reducir el riesgo de que un rayo impacte directamente en una estructura o edificación. Estos dispositivos interceptan el líder descendente (la descarga que se origina en la nube) a través de la emisión de un líder ascendente, permitiendo que el rayo sea captado de manera controlada y conducido de forma segura hacia el sistema de puesta a tierra (Norma Técnica Peruana IEC 62305-3, 2015, p. 17).

Estos dispositivos pueden ser del tipo convencionales, como la punta franklin, cables de catenaria, conductores mallados o la combinación de estos; los cuales deben instalarse en las partes más altas de la edificación, como techos y esquinas, para maximizar su efectividad en la

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

interceptación de rayos (Alberto Medina , 2021). Además, los materiales utilizados en los captadores deben ser capaces de soportar los efectos térmicos producidos por la descarga del rayo. Estos materiales generalmente incluyen cobre o aluminio, ya que tienen alta conductividad eléctrica y resistencia térmica (Alberto Medina , 2021).

Entre las distintas clases de captadores, podemos mencionar los dispositivos pasivos y dispositivos activos.

2.6.1.1. Dispositivos Pasivos

Este tipo de pararrayos convencional (como la punta Franklin, cables de catenaria o conductores mallados) solo ejerce su función cuando la descarga atmosférica impacta directamente sobre ellos. Es decir, no generan un incremento en el rango del trazador ascendente que podría interceptar rayos a distancia. Esto implica que su efectividad está limitada a la estructura o edificio donde están instalados y no ofrecen protección para áreas o puntos que se encuentren significativamente más altos que el dispositivo mismo (Almao, 2022).

2.6.1.1.1. Captadores Tipo Punta Franklin

El pararrayos tipo Franklin es uno de los dispositivos más utilizados para la protección contra descargas atmosféricas. Se presenta en dos versiones: simples, con una sola punta, o múltiples, con cuatro puntas, y su funcionamiento está respaldado por las normas NTP-IEC 62305-2015 y la NFPA 780-2014.

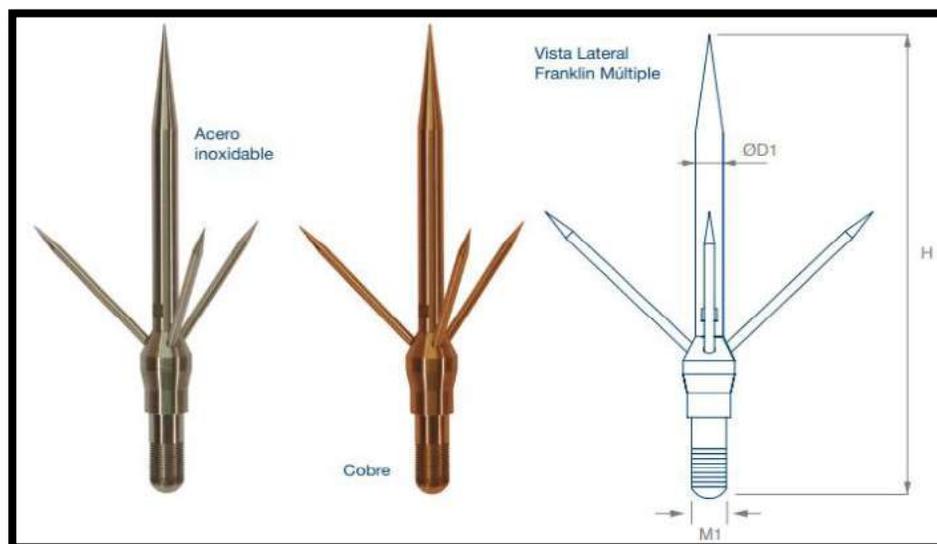
Estos pararrayos están fabricados con acero inoxidable o una aleación de cobre y níquel conocida como bronce de níquel, materiales que permiten resistir la corrosión y soportar los efectos térmicos de las descargas eléctricas. Su diseño se basa en el efecto punta, un fenómeno electromagnético que explica que la densidad de carga es mayor en las zonas con menor superficie, como las puntas afiladas. Esto implica que, en el pararrayos Franklin, las puntas afiladas permiten

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

una mayor acumulación de carga eléctrica, lo que facilita la atracción y captación de los rayos (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016).

Figura 2.16

Captadores tipo punta Franklin tetra puntales



Fuente: (INGESCO, 2020)

2.6.1.1.2. Arreglo de Cables Dispuestos en Mallas

Utilizado para proteger grandes espacios y estructuras, especialmente en edificaciones de gran altura. Este sistema está formado por una red de conductores interconectados que se instalan en el techo de las edificaciones y cuya disposición se ajusta a las necesidades del nivel de protección requerido (Alberto Medina , 2021).

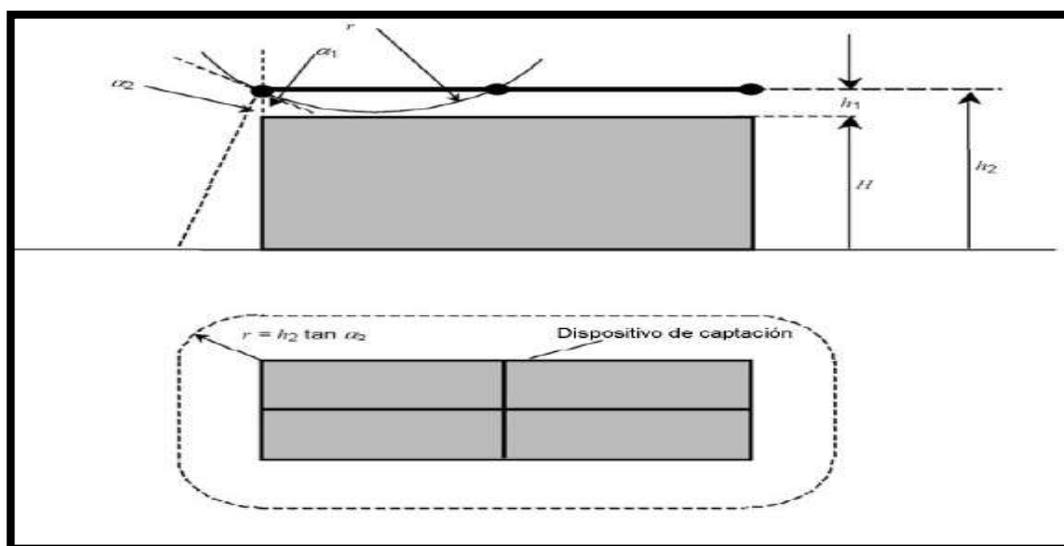
La distancia entre los conductores de la malla se determina en función del nivel de protección deseado, que puede variar de acuerdo a las normativas de protección contra rayos. Este tipo de sistema es particularmente útil para proteger no solo la parte superior del edificio, sino también las zonas laterales, especialmente en construcciones que superan los 60 metros de altura (Alberto Medina , 2021).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La Figura 2.17, ilustra el volumen protegido por los cables dispuestos en malla, como parte de un sistema de protección contra descargas atmosféricas. Esta configuración de cables ofrece una cobertura que protege el área y la estructura debajo de ellos de posibles impactos de rayos (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 40).

Figura 2.17

Volumen protegido por cables dispuestos en mallas



Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)

2.6.1.2. Dispositivos Activos

Este tipo de dispositivos, conocidos como pararrayos con sistema de ionización, tienen una funcionalidad adicional en comparación con los pararrayos pasivos convencionales, como la punta Franklin o los cables de catenaria. La característica principal de estos dispositivos es su capacidad para generar ionización activa, lo que permite incrementar el rango del trazador ascendente. Este proceso facilita la captura de rayos en puntos más altos, aumentando su radio de protección en comparación con los pararrayos tradicionales (Almao, 2022). Sin embargo, es importante destacar que la Norma Técnica Peruana NTP-IEC 62305 no avala la utilización de estos dispositivos de ionización. Esto se debe a que su efectividad no ha sido comprobada de manera consistente por

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

los organismos internacionales de normalización, lo que hace que, en algunos países y normativas, como en el Perú, no sean considerados como soluciones recomendadas para la protección contra descargas atmosféricas en infraestructuras.

2.6.1.2.1. Sistema de Disipación o de Transferencia de Carga – CTS

Estos dispositivos están diseñados con el propósito de modificar las condiciones eléctricas de la atmósfera en su zona de protección, evitando la acumulación de carga en las nubes y, de este modo, eliminando o reduciendo la probabilidad de formación de rayos (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016).

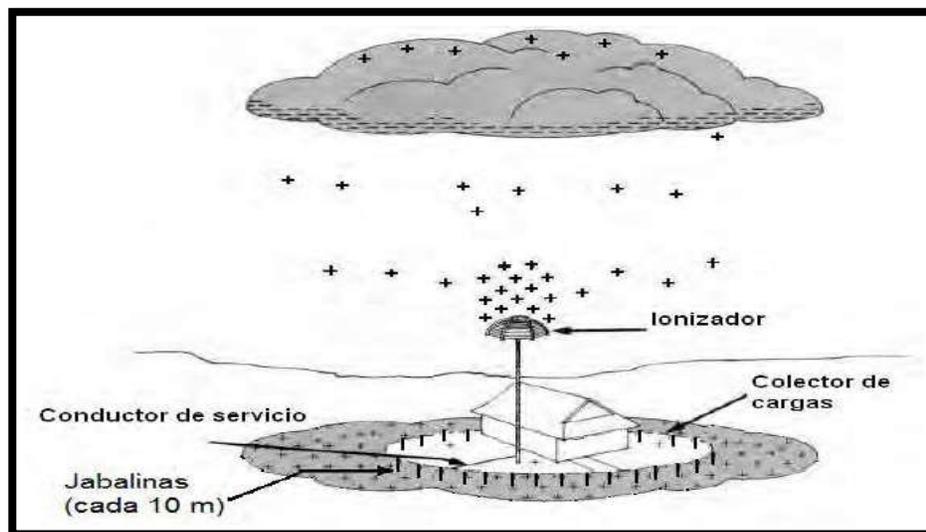
Estos sistemas se componen de tres elementos principales: el ionizador o disipador, que consiste en una estructura en forma de paraguas o esfera, rodeada de alambres con puntas; el colector o conductor de carga a tierra, cuyo diseño es similar a un cerco perimétrico con jabalinas separadas por una distancia de 10 metros, para lograr un sistema de puesta a tierra de muy baja impedancia; y, por último, el conductor de servicio, que conecta el ionizador con la puesta a tierra (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 163).

Su funcionamiento se basa en la disipación constante del campo eléctrico; sin embargo, varios estudios y pruebas de campo han demostrado que estos dispositivos no son capaces de evitar ni neutralizar los rayos.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.18

Actuación de un sistema de disipación o de transferencia de carga – CTS



Fuente: (Instituto de Ingenieria Electrica, 2016)

Figura 2.19

Constitución física de un CTS



Fuente: (Alberto Medina , 2021)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.6.1.2.2. Dispositivos de Emisión Adelantada de Trazador

También conocidos como pararrayos con dispositivo de cebado (PDC), según lo indicado por los fabricantes, estos dispositivos son capaces de generar un trazador ascendente más largo que el de una punta convencional, permitiendo que la guía escalonada descendente del rayo sea interceptada a una mayor distancia, lo que incrementa la zona de protección (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 177).

Existen dos tipos de dispositivos de emisión adelantada: pararrayos radioactivos y pararrayos no radioactivos. Los pararrayos radioactivos cuentan con un aro o una carcasa cónica que rodea la punta, donde se encuentra el elemento radioactivo, utilizado para mejorar la captación del rayo. Sin embargo, no se ha comprobado la eficacia de este aumento en la captación (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 182). La instalación de estos pararrayos está prohibida en muchos países debido al peligro potencial que representa el uso de sustancias radioactivas de manera diseminada y sin control (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 182).

Figura 2.20

Constitución física de un pararrayo radioactivo



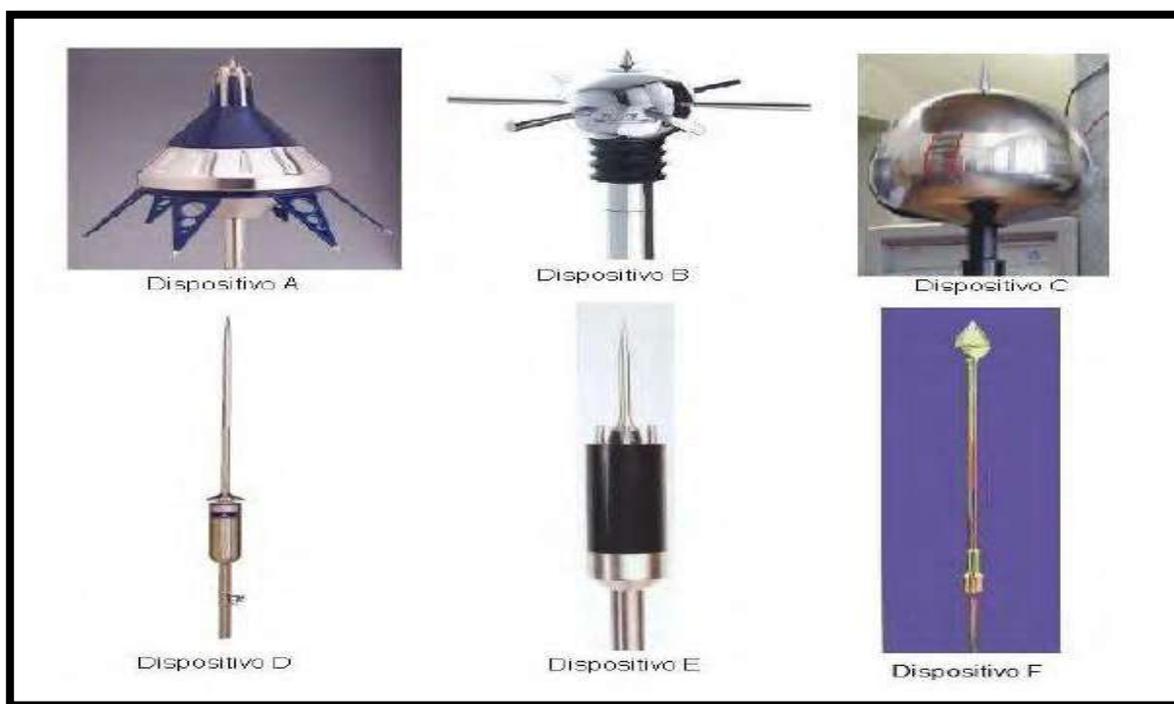
Fuente: (Alberto Medina , 2021)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Los pararrayos no radioactivos se caracterizan por producir chispas en las proximidades de la punta, lo que mejora la captación del rayo. Existen distintos tipos, como se muestra en la Figura 2.21, y cada uno presenta características propias para la generación de la chispa (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 185).

Figura 2.21

Tipos de pararrayos de emisión de chispas



Fuente: (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016)

Dado que estos tipos de pararrayos fueron probados en laboratorios cuyas condiciones no son consistentes con las observaciones de los fenómenos a escala real, y debido a la falta de evidencia concluyente de que puedan proteger un área mayor, estos pararrayos no están avalados por las normas NTP-IEC 62305 y NFPA 780.

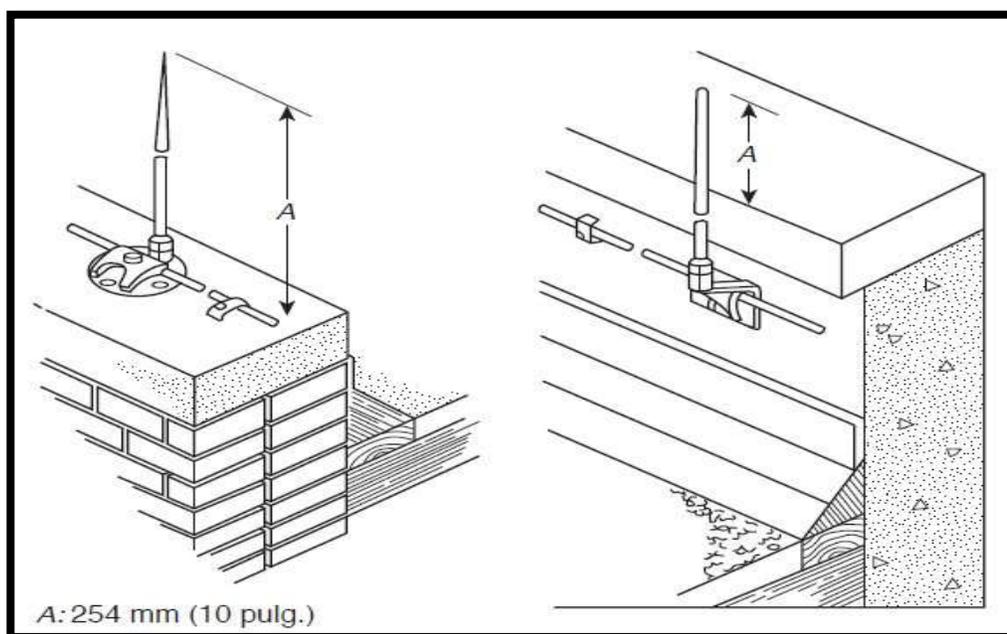
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.6.1.3. Colocación de los Dispositivos de Captación

Los captores deben colocarse en las esquinas, puntos salientes y ángulos, especialmente en la parte superior de las fachadas, a una distancia superior a 25.4 cm por encima del objeto o área a proteger (NFPA-780, 2008, pág. 11), como se muestra en la Figura 2.22.

Figura 2.22

Colocación de captores, $A \geq 254$ mm (10 pulgadas)



Fuente: (NFPA-780, 2008)

Los métodos recomendados por la norma NTP IEC-62305 para determinar la ubicación de los dispositivos de captación son:

- Método del ángulo de protección.
- Método de la esfera rodante.
- Método de la malla.

Estos métodos de diseño se utilizan para identificar los lugares más adecuados y óptimos para la instalación de los dispositivos de interceptación de descargas, y se realizan en función del

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

área de protección (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 18). Los valores máximos aplicables para cada nivel de protección se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8

Valores máximos de los distintos métodos de protección, para cada clase de SPCDA

MÉTODOS DE PROTECCIÓN			
Clase de SPCDA	Radio de la esfera rodante [m]	Tamaño de malla W_m [m]	Angulo de protección
I	20	5 * 5	Véase la <i>Figura 2.23</i>
II	30	10 * 10	
III	45	15 * 15	
IV	60	20 * 20	

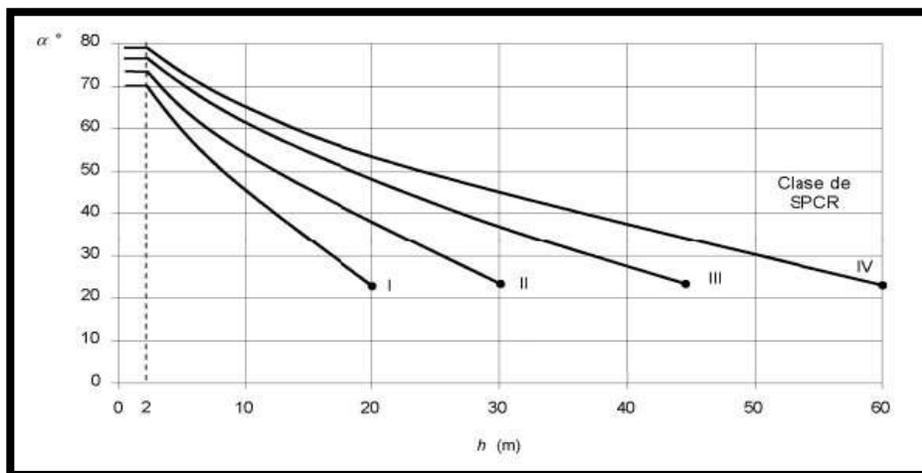
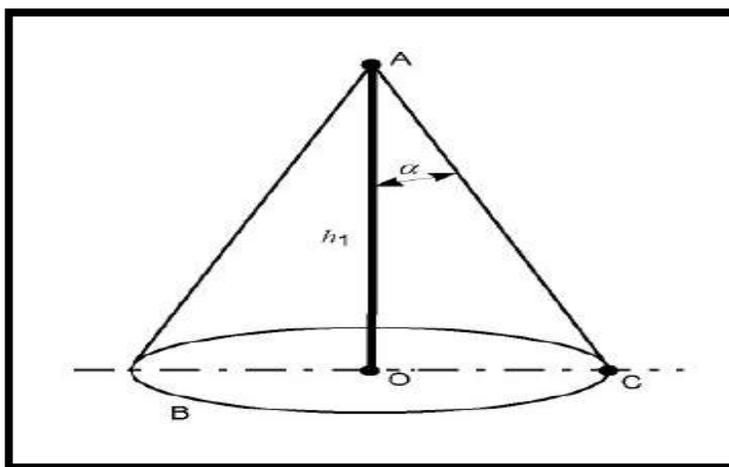
Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)

2.6.1.3.1. Método del Angulo de Protección

Este método se utiliza para la protección de edificios con formas simples. Su volumen de protección está limitado por la altura en la que se encuentra el sistema de captación con respecto a las superficies, como se muestra en la Figura 2.23. Si se superan las alturas indicadas para cada clase de protección, se deberá utilizar el método de la esfera rodante o el de la malla (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015).

El volumen protegido por este método tiene la forma de un cono de revolución, cuyo vértice es la punta del captor. El ángulo “ α ” se obtiene de la Figura 2.23 y está en función del nivel de protección y la altura del captador con respecto a la superficie (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 84).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.23*Ángulos de protección para cada clase de SPCDA**Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)***Figura 2.24***Volumen protegido según el método de Angulo de protección**Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)*

Donde:

A = Punta del elemento captador.

B = Plano de referencia.

OC = Radio de la zona protegida.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

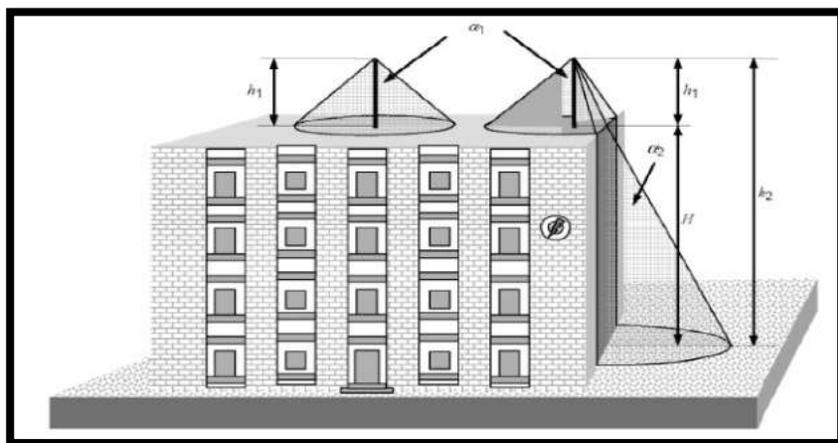
h_1 = Altura desde la punta captora hasta el terreno de referencia.

α = Angulo de protección según la Figura 2.23.

Es muy frecuente que el método del ángulo de protección se aplique fuera de su rango de validez, incrementando la altura del captor con mástiles con el fin de aumentar la zona de protección. Sin embargo, existe el riesgo de sufrir descargas en los bordes de la parte superior del edificio, ya que no están protegidos. Además, también existe la probabilidad de captar el rayo por la parte lateral (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 151).

Figura 2.25

Aplicación en un edificio del método del ángulo de protección



Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)

2.6.1.3.2. Método de la Esfera Rodante

El método de la esfera rodante es un derivado del método electrogeométrico, que consiste en posicionar los sistemas de captación en puntos estratégicos de tal manera que ningún punto de la estructura a proteger esté en contacto con una esfera de radio “r” predeterminado. Es decir, la esfera solo deberá tocar el suelo y el sistema de captación, o entre sistemas de captación (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 90).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La ecuación del radio de la esfera rodante (r_{sc} en el método electrogeométrico) fue establecida empíricamente, tomando en consideración la tensión de ruptura dieléctrica en grandes espacios de aire y la corriente máxima del rayo I_{max} (Martinez, 2017, pág. 3). El radio de la esfera rodante se calcula con la ecuación (2.7).

$$r_{sc} = 2 * I_{max} + 30 \left(1 - e^{-\frac{I_{max}}{6.8}} \right) \quad (2.6)$$

$$r_{sc} = 10 * I_{max}^{0.65} \quad (2.7)$$

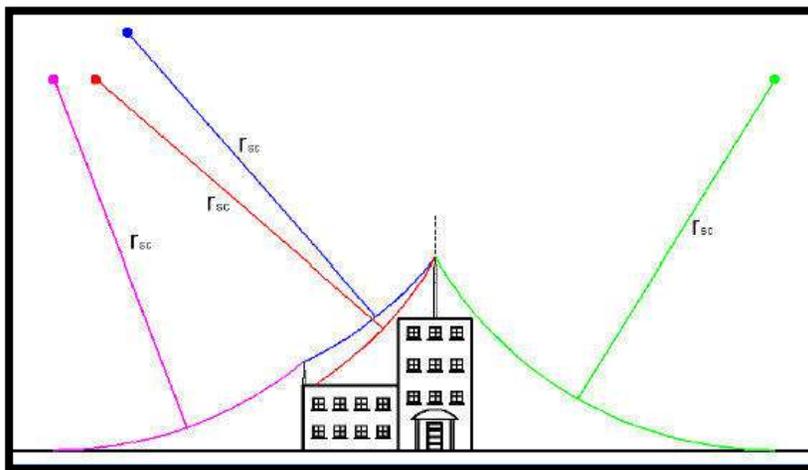
Donde:

r_{sc} = Radio de la esfera rodante [m].

I_{max} = Corriente máxima de rayo [kA].

Figura 2.26

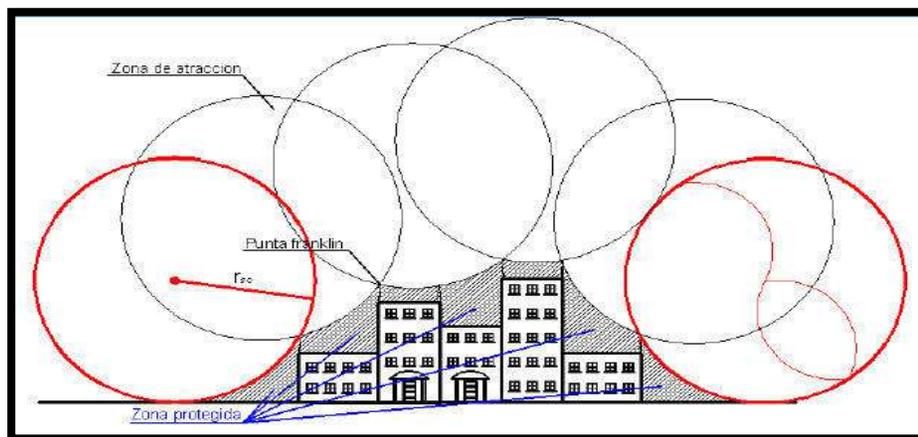
Esquema del modelo electro geométrico



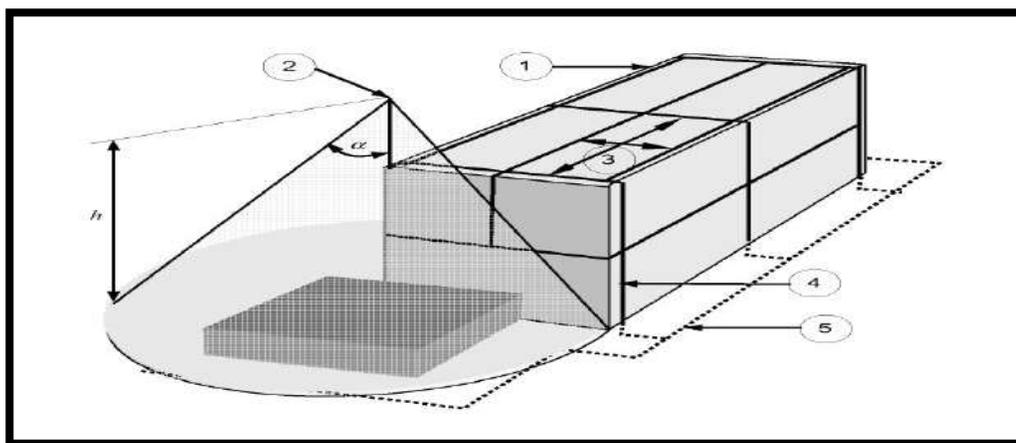
Fuente: (Martinez, 2017)

La zona protegida por este método es el volumen que se encuentra debajo de la esfera, cuando está en contacto entre captadores o entre el captador y el suelo, como se muestra en la Figura 2.27. La longitud del radio de protección dependerá del nivel de protección asignado a la estructura según la Tabla 2.8.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.27*Protección según el método de la esfera rodante**Fuente: (Martinez, 2017)***2.6.1.3.3. Método de la Malla**

Este método de la malla se utiliza junto con el método de la esfera rodante o el ángulo de protección; su finalidad es proteger superficies planas o inclinadas. También puede ser instalado en las fachadas de edificios con el fin de proteger de posibles descargas laterales a estructuras que superan los 60 metros de altura (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 42).

Figura 2.28*Protección según el método de la malla**Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)*

2.6.2. Sistema de Conductores de Bajada

Los conductores de bajada tienen la función de conducir la corriente de la descarga atmosférica hasta el sistema de puesta a tierra. Estos deben estar diseñados con materiales capaces de soportar los efectos térmicos y dinámicos generados por la circulación de la corriente del rayo, y pueden ser de cobre, pletina o incluso el acero utilizado en la construcción de la edificación.

Deben instalarse a lo largo del perímetro de la estructura, de modo que la corriente del rayo se distribuya uniformemente entre las bajantes, reduciendo así las perturbaciones electromagnéticas en el interior de la estructura (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 118).

Los conductores de bajada deben ser, como mínimo, dos por cada captor y estar lo más cortos y directos posible hacia tierra, para disminuir la inducción causada por el paso de la corriente del rayo (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 22). La instalación de estos conductores deberá distribuirse con una separación adecuada, que dependerá del nivel de protección requerido por la estructura, como se muestra en la *Tabla 2.9* (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 22).

Tabla 2.9

Valores típicos de distancias entre los conductores de bajada

Clase de SPCDA	Distancias típicas [metros]
I	10
II	10
III	15
IV	20

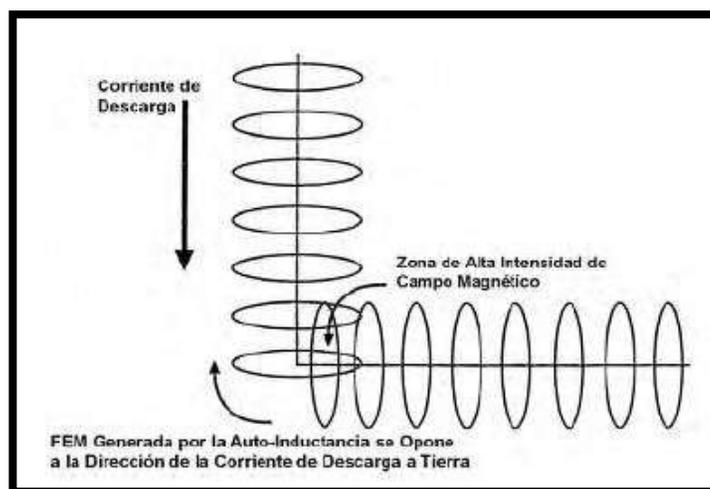
Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Los conductores de bajada deben instalarse con la menor cantidad de curvas posible, ya que en esos puntos se produce un aumento del campo magnético, lo que podría causar la ruptura dieléctrica del aire y generar chispas peligrosas.

Figura 2.29

Fuerza electromotriz generado por la auto inductancia, cuando circula la corriente



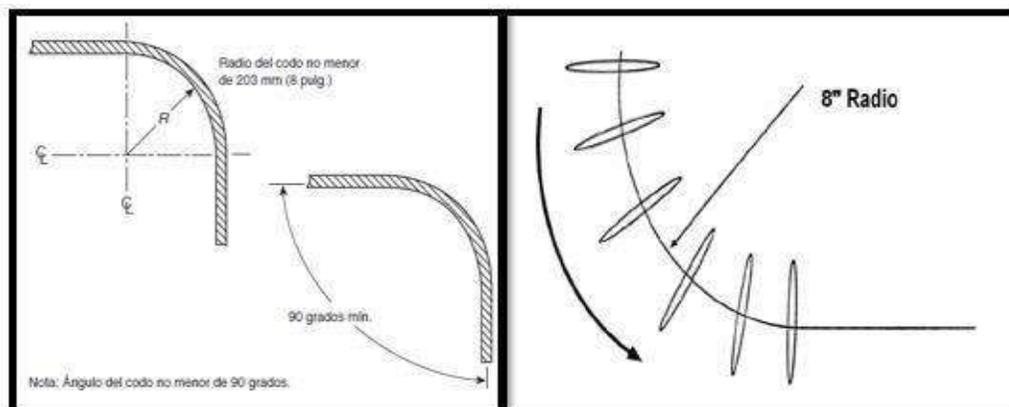
Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)

Las curvas, debido a proyecciones sobre techos u otros elementos, no deben formar un ángulo interior menor de 90 grados ni tener un radio de curvatura inferior a 203 mm, para evitar autoinductancias (NFPA-780, 2008, pág. 17). Este sistema de bajada también debe incluir elementos de medición o contadores de rayos, que se instalan en los puntos de conexión entre el conductor de bajada y la puesta a tierra. Estos dispositivos de medición pueden ser electromecánicos, electrónicos o digitales como se muestra en la Figura 2.31.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.30

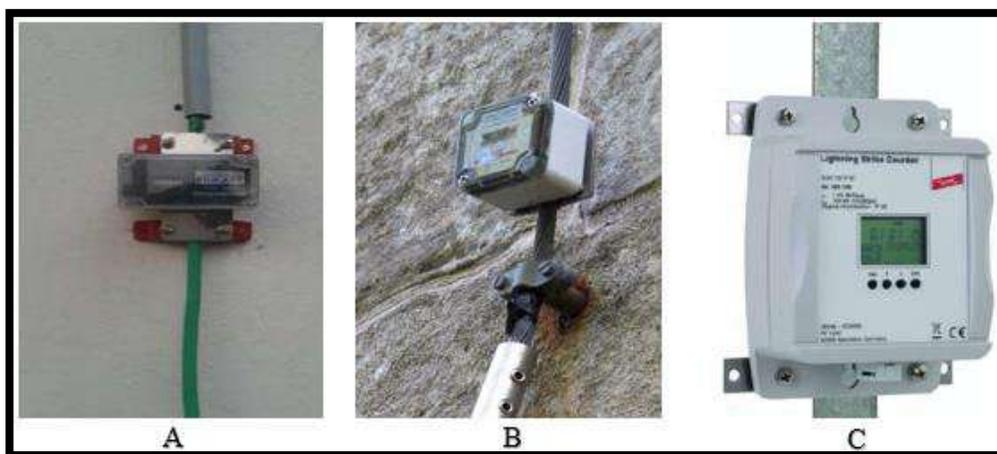
Recomendación de curvas en los conductores de bajada



Fuente: (NFPA-780, 2008)

Figura 2.31

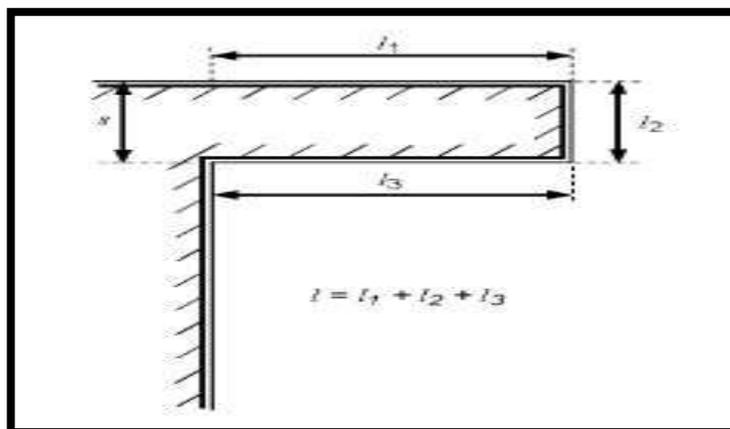
Equipos contadores de rayos; electromecánicos (A), electrónicos (B) y digitales (C)



2.6.2.1. Distancia de Seguridad de Aislamiento Eléctrico

Es la distancia mínima que deben mantener las personas, artefactos, cables, puertas, ventanas y partes metálicas no equipotencializadas de los elementos captadores y los conductores de bajada (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 122). Esta distancia de separación debe cumplirse en todos los casos, incluso cuando el conductor de bajada forme bucles, como se muestra en la Figura 2.32 (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015, pág. 122).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.32*Bucle en un conductor de bajada**Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)*

El valor de la distancia de separación se calcula utilizando la ecuación (2.8)

$$s = \frac{k_i}{k_m} * k_c * l \quad (2.8)$$

Donde:

s : Distancia mínima de separación en metros.

k_i : Factor en función del nivel de protección externo, de acuerdo con la Tabla 2.10.

k_m : Factor que depende del aislamiento eléctrico de los materiales, cuyo valor se define en la Tabla 2.11.

k_c : Factor en función de la corriente que circula por el captador o los conductores de bajada, con valor definido en la Tabla 2.12.

l : Longitud de equipotencialización considerada desde el punto más alto del captor hasta el punto de conexión de la puesta a tierra (PAT).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 2.10*Valores del coeficiente k_i , para cálculo de aislamiento externo del SPCDA*

Clase del SPCDA	k_i [adimensional]
I	0.08
II	0.06
III y IV	0.04

*Fuente: (Norma Tecnica Peruana 62305-3, 2015)***Tabla 2.11***Valores del coeficiente k_m , para cálculo de aislamiento externo del SPCDA*

Material	k_m [adimensional]
Aire	1
Hormigon, ladrillos, madera	0.5

*Fuente: (Norma Tecnica Peruana 62305-3, 2015)***Tabla 2.12***Valores del coeficiente k_c , para cálculo de aislamiento externo del SPCDA*

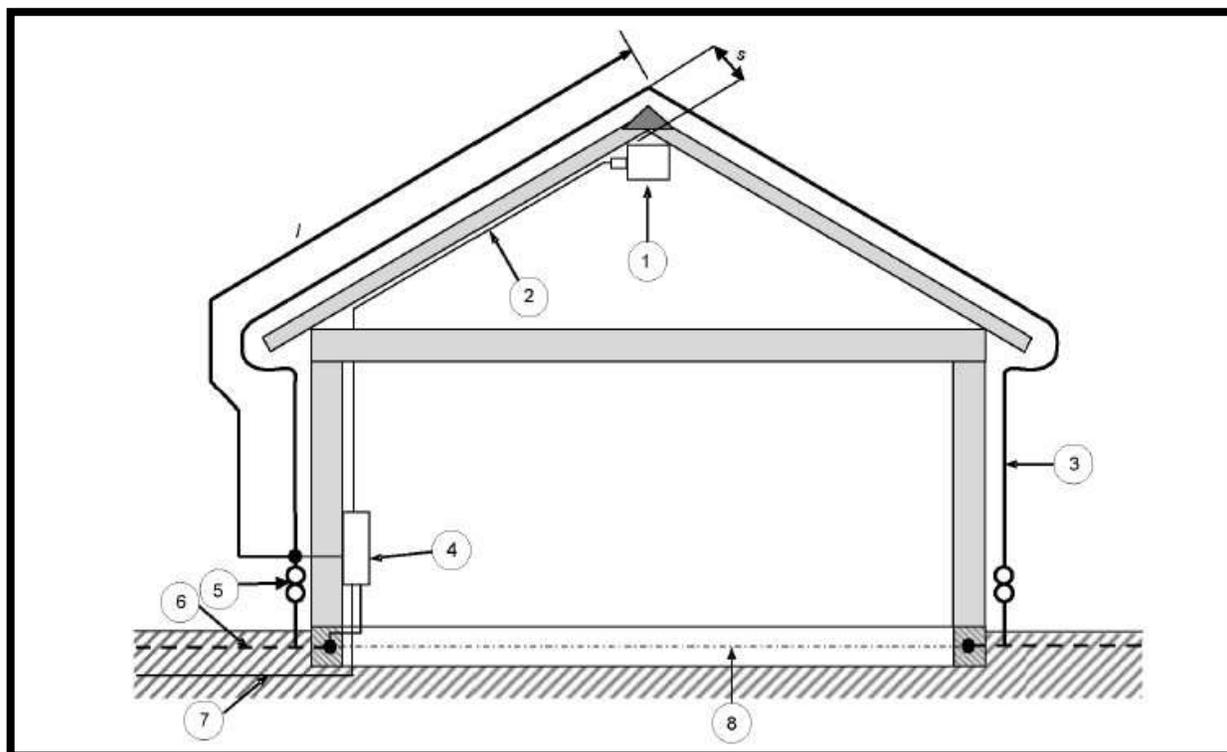
Numero de conductores de bajada	k_c [adimensional]
1	1
2	0.66
3 y mas	0.44

Fuente: (Norma Tecnica Peruana 62305-3, 2015)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.33

Diseño de SPCDA, considerando la distancia mínima de separación "s"



Nota: (1) Equipo eléctrico; (2) conductores eléctricos; (3) conductor de bajada del SPCDA; (4) Tablero de distribución; (5) Conexión de ensayo; (6) Malla de puesta a tierra; (7) Cable principal de energía; (8) electrodo en la cimentación; (s) distancia mínima de separación; (l) longitud del conductor de bajada para cálculo de la distancia de separación.

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015)

2.6.3. Sistemas de Puesta a Tierra.

Los sistemas de puesta a tierra (SPAT) se instalan con el propósito de descargar toda la corriente del rayo a tierra, así como de drenar las sobretensiones transitorias causadas por la actuación de los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), evitando la aparición de tensiones y corrientes peligrosas para las personas y los equipos eléctricos.

La Norma Técnica de Salud NTS N°110-MINSA establece que, para los sistemas de protección contra rayos instalados en establecimientos de salud de segundo nivel de atención, se

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

debe instalar un sistema de puesta a tierra con una resistencia inferior a 5 ohmios (Ministerio de Salud, 2014, pág. 31).

2.6.3.1. Comportamiento de los Sistemas de Puesta a Tierra

2.6.3.1.1. Efecto por la Resistividad del Terreno (ρ)

La resistividad del suelo es una propiedad que mide la oposición al flujo de la corriente eléctrica a través del terreno. Este parámetro es esencial en el diseño de sistemas de puesta a tierra, ya que afecta la eficiencia del sistema al dispersar la corriente de rayo u otras corrientes eléctricas.

La resistividad se expresa en ohmios-metros ($\Omega\text{-m}$) u ohmios-centímetros ($\Omega\text{-cm}$), y varía significativamente según la composición del suelo.

El comportamiento de la resistividad del terreno depende de los siguientes factores:

- **Naturaleza del terreno.** – A medida que el tamaño de las partículas del terreno aumenta, también lo hace su resistividad. Asimismo, la constitución química o la calidad de los minerales influyen considerablemente en su resistividad (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007). Los terrenos arcillosos presentan las resistividades más bajas y no sufren variaciones considerables con el tiempo; por otro lado, los terrenos arenosos, pedregosos y rocosos muestran una resistividad muy elevada (Rojas, 2007, pág. 4). En las tablas 2.13 y 2.14 se muestran los valores aproximados de resistividad en distintos tipos de terreno.

Tabla 2.13

Valores aproximados de la resistividad en función del terreno

Naturaleza del terreno	Valor de la resistividad [$\Omega\text{*m}$]
Terreno de cultivo, fértiles, compactos y húmedos	50

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Terrenos de cultivo poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos, arenas secas permeables	3000

Fuente: (Sanz A., Duque C., & Gomez E., 2010)

Tabla 2.14

Valores orientativos de la resistividad en función de la naturaleza del terreno

Naturaleza del terreno	valor medio de la resistividad [$\Omega \cdot m$]
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceo	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres alterados	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

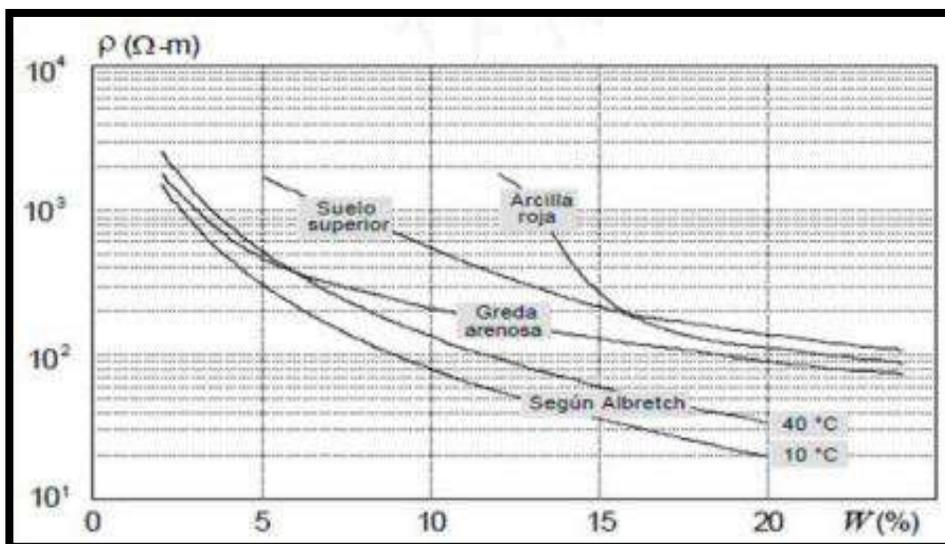
Fuente: (Sanz A., Duque C., & Gomez E., 2010)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- **Humedad.** - La cantidad de humedad en el terreno afecta su resistividad. Como se puede observar en la Figura 2.34, a menor humedad, la resistividad tiene un valor alto, y esta disminuye drásticamente cuando el terreno alcanza un nivel de humedad entre el 20% y 30% (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007, pág. 5).

Figura 2.34

Variación de la resistividad del terreno en función de la humedad



Fuente: (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007)

- **Concentración de Sales en el terreno.** - El agua destilada (sin sales), es considerado como un buen aislante debido que presenta una resistividad infinitamente alta. En la Figura 2.35, se observa que la sal presente en el terreno reduce la resistividad, es por ello que es una buena opción para obtener sistemas de puesta a tierra con resistencias bajas y con poca inversión económica (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007, pág. 5).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.35

Variación de la resistividad del terreno por incremento de salinidad

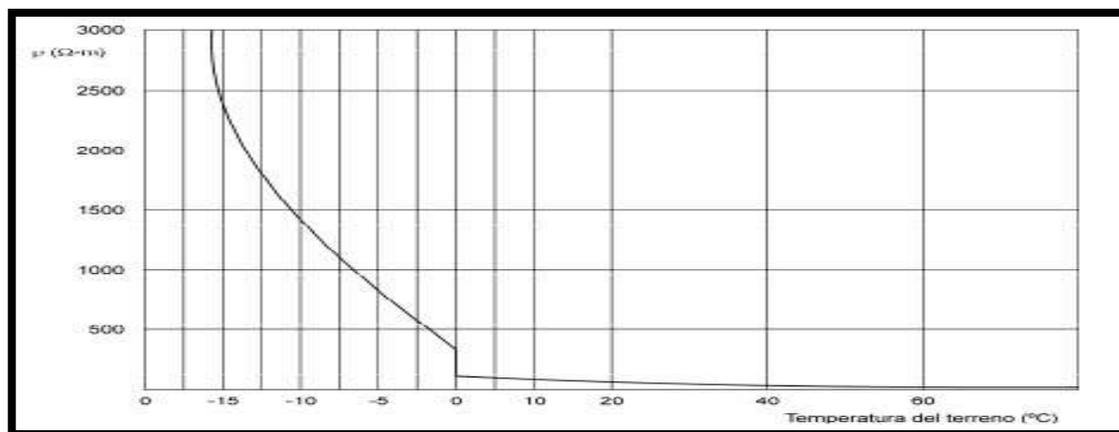


Fuente: (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007)

- **Temperatura del terreno.** – Al disminuir la temperatura del terreno por debajo de cero grados, las partículas de agua y los iones se congelan, lo que incrementa la resistividad del terreno, como se muestra en la Figura 2.36 (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007, pág. 6).

Figura 2.36

Variación de la resistividad del terreno en función de la temperatura



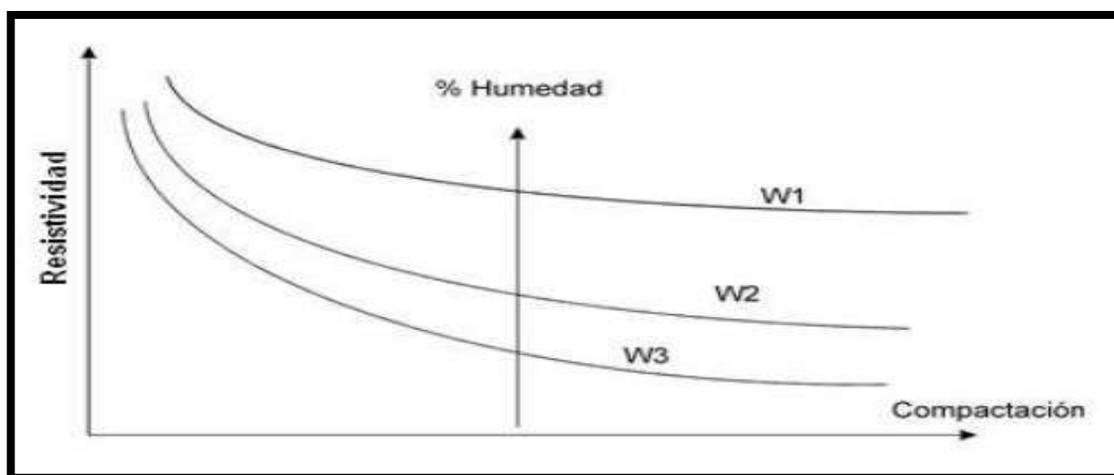
Fuente: (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- **Compactación del terreno.** – Cuando el terreno es compactado con mayor energía, se logra un mejor contacto entre el sistema de puesta a tierra y el suelo, eliminando los vacíos de aire y mejorando la dispersión de la corriente en el terreno (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007).

Figura 2.37

Variación de la resistividad del terreno por la compactación del suelo

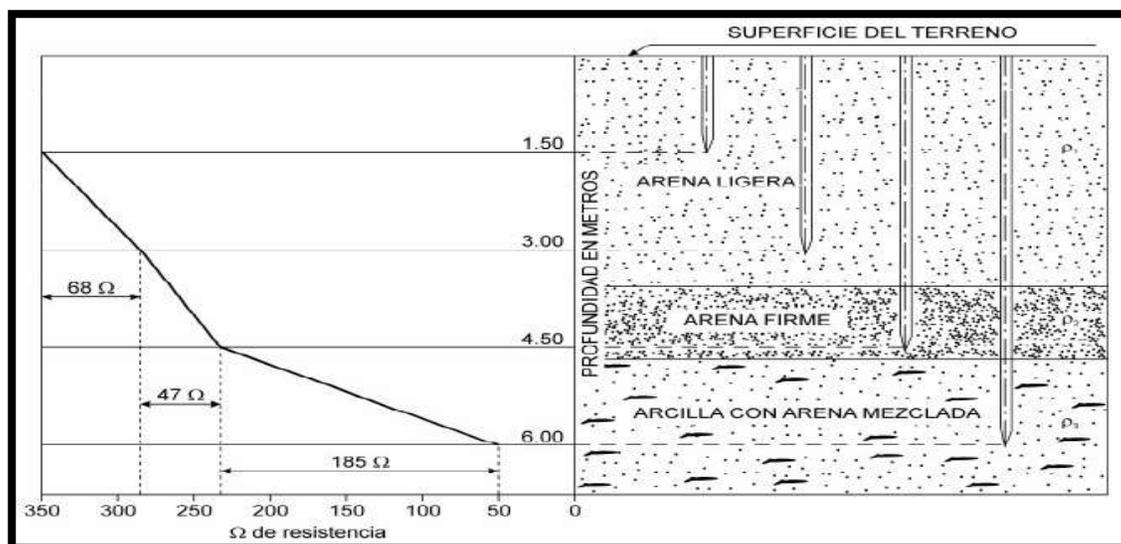


Fuente: (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007)

- **Estratigrafía del terreno.** – Los terrenos están compuestos por capas de diferentes materiales, cada una con características distintas de conductividad eléctrica, tanto en forma vertical como horizontal. Por lo tanto, el valor obtenido con el equipo de medición de resistencia de tierra (telurómetro) es un valor aparente de la resistividad del terreno (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007).

Figura 2.38

Variación de la resistencia en un perfil estratigráfico



Fuente: (Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, 2007)

2.6.3.1. Cálculo del Valor de Resistividad del Terreno

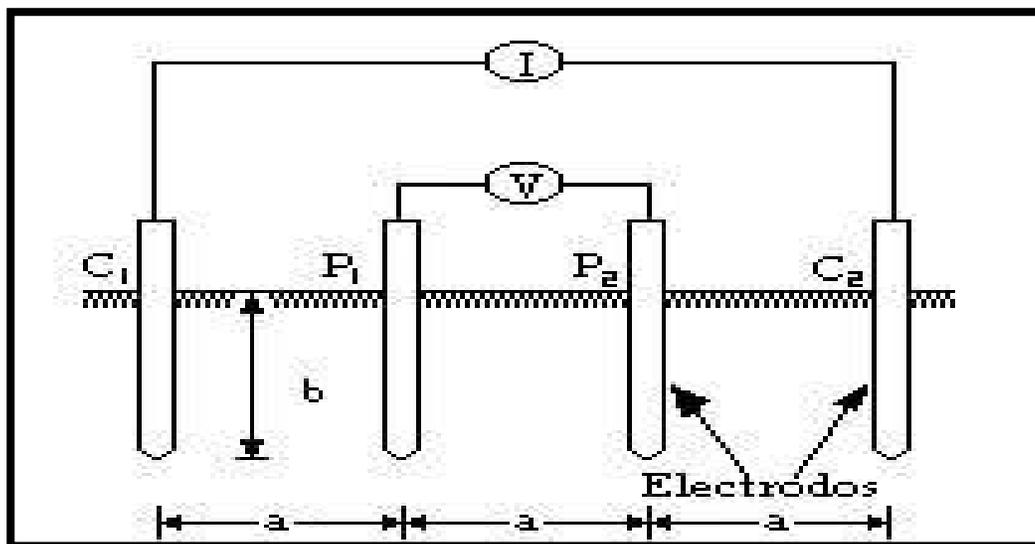
El cálculo de la resistividad del terreno se realiza para el diseño y la ubicación óptima del sistema de puesta a tierra. Dado que el terreno no es homogéneo, es difícil obtener valores exactos, y el equipo de medición solo indicará un valor aproximado de la resistividad del terreno.

Existen varios métodos para medir la resistividad del terreno; sin embargo, los más conocidos son:

2.6.3.1.1. Método de Wenner

Este método fue desarrollado en 1915 por el Dr. Frank Wenner y es adecuado para realizar mediciones de resistividad en terrenos de grandes extensiones. Para aplicar este método, se utilizan cuatro electrodos (dos de corriente y dos de potencial), los cuales se insertan en el suelo en línea recta, manteniendo la misma separación y profundidad de penetración (Gomez, 2011).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.39*Medición de resistividad de terreno por el Método de Wenner**Fuente: (Gomez, 2011)*

El principio básico de este método consiste en la inyección a tierra de una corriente directa o de baja frecuencia a través de los electrodos exteriores, que son los de corriente C1 y C2. Mientras tanto, el potencial que aparece se mide mediante los electrodos interiores P1 y P2. El resultado es la razón V/I , conocida como resistencia aparente (R). La resistividad aparente del terreno (ρ) depende de la resistencia aparente y de la geometría de la posición de los electrodos, la cual está dada por la ecuación (2.9) (Gomez, 2011).

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left[1 + \left(\frac{2 \cdot A}{(A^2 + 4 \cdot B^2)^{0.5}} \right) - \frac{2 \cdot A}{(4 \cdot A^2 + 4 \cdot B^2)^{0.5}} \right]} \quad (2.9)$$

Donde:

ρ = Resistividad promedio en [$\Omega \cdot m$].

A = Distancia entre electrodos en [m].

B = Profundidad de enterrado de los electrodos en [m].

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

R = Resistencia indicada en el equipo de medición en $[\Omega]$.

Como la profundidad de los electrodos (distancia B) es pequeña en comparación con la separación entre electrodos (distancia A), la ecuación (2.9) se reduce a la ecuación (2.10).

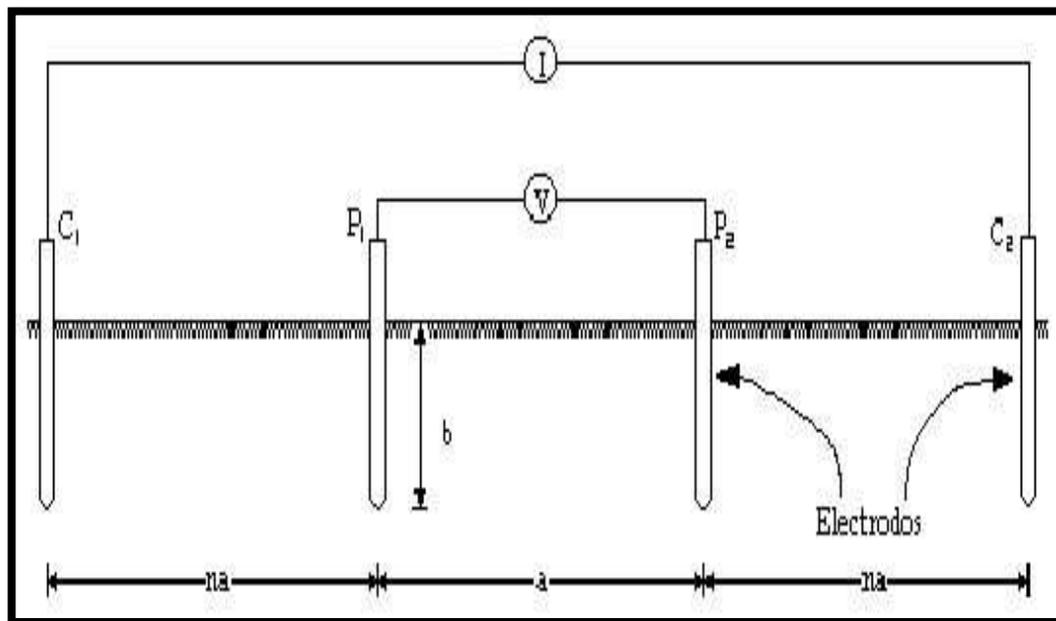
$$\rho = 2 * \pi * A * R \quad (2.10)$$

2.6.3.1.2. Método de Schlumberger

Este método es una modificación del método de Wenner y tiene la ventaja de calcular la resistividad de capas más profundas sin necesidad de realizar muchas mediciones (Gomez, 2011). También emplea cuatro electrodos; sin embargo, a diferencia del método original, la distancia entre los electrodos de potencial P_1 y P_2 se mantiene constante, mientras que solo se varía la distancia de los electrodos de corriente C_1 y C_2 , separándolos a una distancia múltiplo de la separación base de los electrodos P_1 y P_2 , como se muestra en la Figura 2.40 (Gomez, 2011).

Figura 2.40

Medición de la resistividad del terreno por el método de Schlumberger



Fuente: (Gomez, 2011)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Con este método, la resistividad del terreno está dada por la ecuación (2.11).

$$\rho = 2 * \pi * R * (n + 1) * n * a \quad (2.11)$$

Donde:

ρ = Resistividad promedio en [Ω .m].

a = Distancia entre los electrodos P1 y P2 en [m].

b = Profundidad de enterrado de los electrodos en [m].

R = Resistencia indicada en el equipo de medición en [Ω].

2.6.3.2. Implementación del Sistema de Puesta a Tierra

El diseño del sistema de puesta a tierra para descargas atmosféricas prioriza la dispersión de la carga del rayo y la limitación de las diferencias de potencial en la zona protegida. Por esta razón, se utilizan electrodos múltiples distribuidos alrededor de la edificación en forma de malla, en lugar de un solo electrodo muy profundo (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 232).

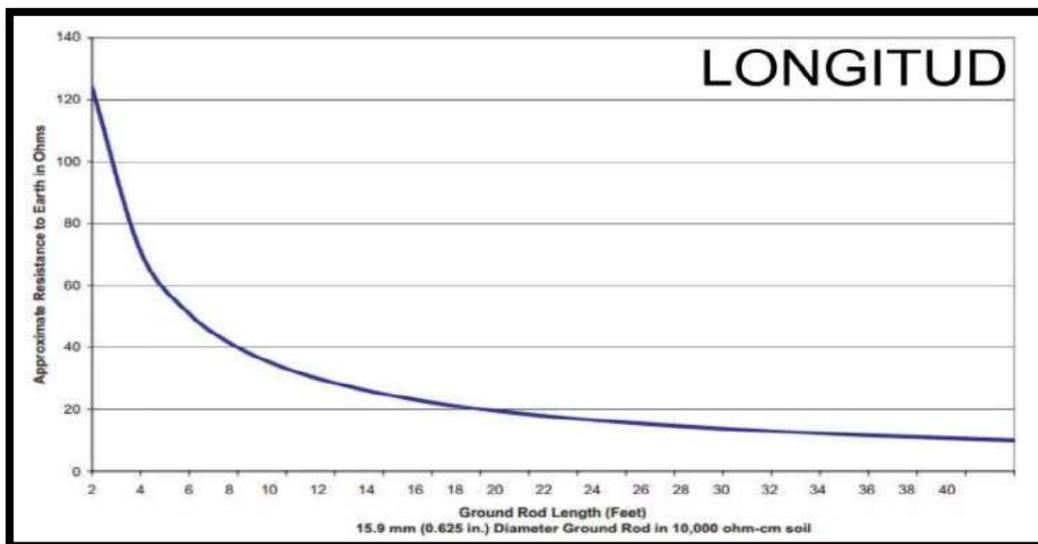
La selección de la longitud de la jabalina tiene un efecto muy importante en el valor de la resistencia de la puesta a tierra, como se muestra en la Figura 2.41. A mayor longitud de la varilla de puesta a tierra, menor es la resistencia, debido a que se alcanza a estratos del suelo con menor resistividad (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 233).

Los sistemas de puesta a tierra diseñados con jabalinas verticales, con diámetros de entre 15 y 20 mm y una longitud de 2.4 metros, presentan un comportamiento inductivo que aumenta la impedancia al drenar la corriente del rayo a tierra, incrementando así la elevación de potencial (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 233).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.41

Efecto de la longitud del electrodo en la resistencia de puesta a tierra

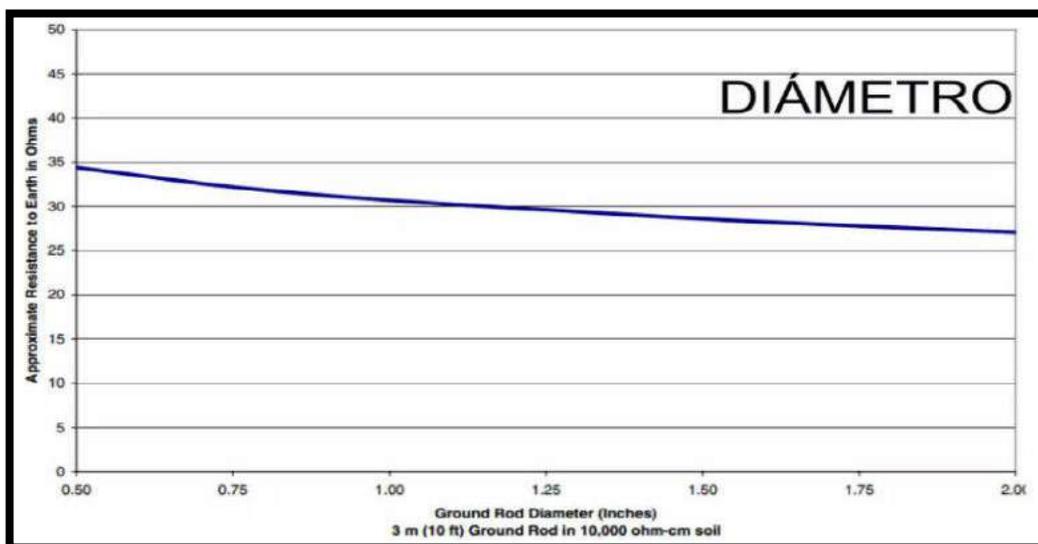


Fuente: (Procobre, 2015)

Por otro lado, la sección del diámetro de la jabalina tiene poca influencia en la reducción de la resistencia de la puesta a tierra, como se muestra en la Figura 2.42.

Figura 2.42

Efecto del diámetro del electrodo en la resistencia de puesta a tierra



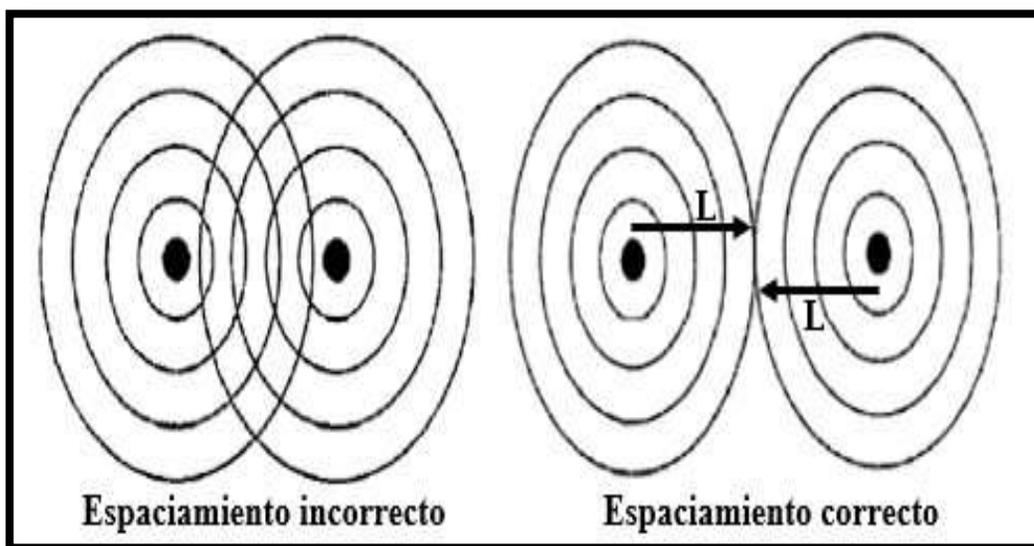
Fuente: (Procobre, 2015)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La corriente del rayo produce un fenómeno de saturación en el suelo, lo que limita la absorción de la carga en un radio de acción igual a la longitud de la jabalina. Debido a esto, las jabalinas de puesta a tierra deben estar separadas a una distancia igual al doble de su longitud, con el fin de evitar que los cilindros de influencia se superpongan y así reducir al máximo la resistencia de la puesta a tierra (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 237).

Figura 2.43

Vista superior de la esfera de influencia de una varilla vertical de longitud L



Fuente: (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016)

Para el cálculo teórico de la resistencia de puesta a tierra, constituida por un electrodo o jabalina de longitud (L) y radio (r), se utiliza la ecuación (2.12). Para dos o más electrodos instalados a una distancia de separación (S), se emplea la ecuación (2.13). Estos resultados son valores aproximados, por lo que es necesario realizar mediciones en campo (Ospina, 2005, pág. 112).

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{r} \right) \quad (2.12)$$

$$R = \frac{\rho}{n} \left(0.404 + \frac{0.16}{S} * \ln (0.655 * n) \right) \quad (2.13)$$

Donde:

R = Resistencia de la puesta a tierra calculado en [Ω].

ρ = Resistividad aparente del terreno en [Ω .m].

L = Longitud del electrodo o jabalina en [m].

r = Radio del electrodo o jabalina en [m].

n = Numero de electrodos instalados en línea recta [adimensional].

S = Distancia de separación entre varillas en [m].

2.6.3.3. Respuesta Dinámica de los Sistemas de Puesta a Tierra

Los sistemas de puesta a tierra diseñados específicamente para soportar descargas atmosféricas están expuestos a corrientes transitorias de alta frecuencia y, por lo tanto, deben ser modelados y analizados con técnicas adecuadas que reflejen estos comportamientos dinámicos. Para este tipo de análisis, el modelo recomendado es similar al que se utiliza para líneas de transmisión de energía, ya que ambos sistemas deben manejar corrientes de alta frecuencia y eventos transitorios rápidos (Alberto Medina , 2021).

En la Figura 2.44 se representa un esquema de modelamiento típico de un sistema de puesta a tierra, enfocado en el análisis de descargas atmosféricas. Este modelo considera varios componentes clave que permiten entender cómo se distribuye y disipa la corriente del rayo en el sistema (Alberto Medina , 2021). A continuación, se describen algunos aspectos fundamentales del modelamiento:

- **Inductancia:** En eventos de alta frecuencia, la inductancia de los conductores que conforman el sistema de puesta a tierra afecta la capacidad del sistema para conducir la

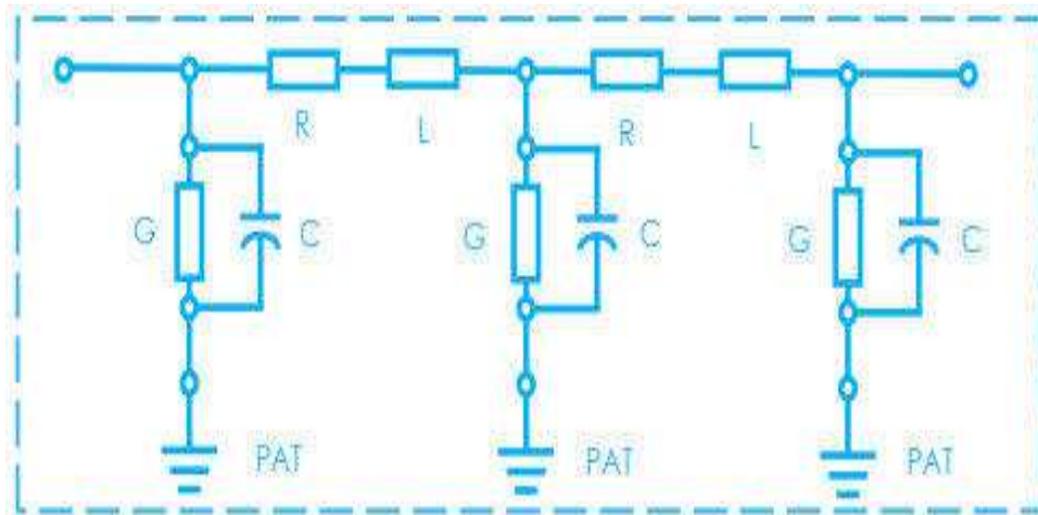
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

corriente de manera eficiente, lo que genera picos de tensión en ciertos puntos (Alberto Medina , 2021).

- **Resistencia del terreno:** La resistividad del suelo varía con la frecuencia, por lo que el modelo debe incluir una resistencia dinámica que cambie en función de la frecuencia de la corriente. A frecuencias más altas, la resistencia del suelo puede disminuir debido a fenómenos de ionización que reducen la oposición al paso de la corriente (Alberto Medina , 2021).
- **Capacitancia:** El sistema de puesta a tierra también actúa como un capacitor a medida que la corriente se dispersa radialmente desde el punto de impacto del rayo. Este efecto capacitivo es importante para modelar la acumulación de carga en las proximidades del sistema de puesta a tierra (Alberto Medina , 2021).
- **Efecto piel:** En el modelamiento de corrientes de alta frecuencia, es crucial tener en cuenta el efecto piel, que limita el flujo de corriente a la superficie de los conductores, incrementando la resistencia efectiva del sistema (Alberto Medina , 2021).
- **Dispersión radial de la corriente:** El modelo también debe considerar la dispersión de la corriente desde el punto de impacto hacia el suelo circundante. Esta dispersión es radial y depende de la geometría del sistema y la resistividad del terreno (Alberto Medina , 2021).

El objetivo de este modelamiento es simular la distribución de las corrientes y tensiones a lo largo del sistema de puesta a tierra durante una descarga atmosférica, identificando puntos de riesgo de sobrecarga o aumento de la tensión de paso o toque. Esto permite optimizar el diseño, mejorar la seguridad y asegurar la eficiencia del sistema para disipar grandes cantidades de energía sin causar daño a los equipos o a las personas.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.44*Modelamiento dinámico de un sistema de puesta a tierra*

Fuente: (Alberto Medina , 2021)

A partir del modelo dinámico, se puede calcular la impedancia de la puesta a tierra para una corriente de frecuencia (ω), lo cual se representa en la ecuación (2.14)

$$Z_L = \sqrt{\frac{R + \omega L}{G + \omega C}} \text{ } [\Omega] \quad (2.14)$$

Dónde:

L = Inductancia dinámica del electrodo y el suelo ionizado.

R = Resistencia dinámica del electrodo y el suelo ionizado.

C = Capacitancia dinámica del electrodo, la tierra y el suelo ionizado.

G = Conductancia dinámica del electrodo y el suelo ionizado.

A partir de la ecuación (2.14), se observa que, para reducir la impedancia de la puesta a tierra, es necesario disminuir los valores de la inductancia y la resistencia, y, por otro lado, aumentar la capacitancia y la conductancia de la puesta a tierra.

2.6.3.4. Interacción y Coordinación entre los Distintos Tipos de Puesta a Tierra

En una estructura compleja, como la de los hospitales, existen distintas puestas a tierra según el circuito o equipo a proteger. Estas pueden estar separadas o aisladas entre sí, o también conectadas o unidas. A continuación, se presentan las siguientes características:

2.6.3.4.1. Sistemas de Puestas a Tierras Separadas

En los sistemas de puesta a tierra aislados, cuando un rayo impacta sobre el sistema captor, se generan diferencias de potencial significativas entre el sistema de puesta a tierra y la estructura de la edificación o los sistemas eléctricos conectados. Esto sucede debido a la alta corriente y energía involucradas en la descarga del rayo (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 262).

2.6.3.4.2. Sistemas de Puestas a Tierras Unidas

En los sistemas de puesta a tierra unidos, se conectan en un mismo punto todos los sistemas de puesta a tierra de los diferentes equipos y estructuras. Esto ayuda a reducir la impedancia total del sistema, lo que resulta en varias ventajas frente a los riesgos derivados de descargas atmosféricas y fallos eléctricos, como es la reducción de la diferencia de potencial, disminución de la impedancia del sistema, minimización de las tensiones de paso y de toque, protección uniforme de equipos y sistemas electrónicos (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 263).

Dado que la tierra es un conductor, resulta inviable aislar completamente los sistemas de puesta a tierra, lo que provoca diferencias de potencial entre ellos. Estas diferencias pueden aumentar el riesgo de daños en los sistemas y equipos conectados, especialmente durante las descargas atmosféricas. Para una protección integral y efectiva, se deben instalar dispositivos descargadores o limitadores de sobretensión en los sistemas eléctricos y de puesta a tierra (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.7. Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosféricas Interna

Los sistemas eléctricos y electrónicos están expuestos a daños causados por los impulsos electromagnéticos del rayo (IEMR), generados por ondas conducidas e inducidas, que se transmiten a los aparatos a través de los cables de conexión o mediante campos electromagnéticos radiados, afectando directamente a los dispositivos (Norma Técnica Peruana 62305-4, 2015, pág. 17).

Los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) son dispositivos que limitan las sobretensiones causadas por descargas atmosféricas o por maniobras en el sistema eléctrico. Estas sobretensiones son fenómenos transitorios y de muy corta duración que pueden presentarse entre fases o entre una fase y tierra.

Dado que no es posible desviar toda la energía de una descarga atmosférica a tierra, se requieren descargadores de sobretensión que cumplan con las siguientes exigencias:

- Minimizar la influencia en el nivel de tensión de operación normal del sistema.
- Tener definida la disipación máxima de potencia o energía.
- Especificar la corriente máxima I_{pico} y la tensión máxima U_{pico} que pueden soportar.

Los descargadores de sobretensión deben estar cuidadosamente dimensionados para soportar tanto las ondas de corriente directa de un impacto de rayo como las ondas inducidas por impactos indirectos (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 286). Específicamente, deben cumplir con las siguientes capacidades:

- **Impacto directo:** Para soportar una onda de corriente directa de rayo, con una curva de 10/350 μ s (donde 10 μ s es el tiempo de ascenso a pico y 350 μ s el tiempo de

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

descenso al 50% de su valor máximo). Esta curva es representativa de las descargas directas de rayo, que son altamente destructivas.

- **Impacto indirecto:** Para soportar las perturbaciones causadas por impactos indirectos, estos descargadores deben soportar:
 - **Corriente inducida** de **8/20 μ s**, que simula la duración de la corriente generada por un rayo indirecto.
 - **Tensión inducida** de **1.5/50 μ s**, que simula el tiempo de ascenso y duración de una sobretensión.

2.7.1. Tecnología en la Protección Contra Sobretensiones Transitorias

Este tipo de dispositivos se dividen en dos tipos de tecnologías.

2.7.1.1. Dispositivos de Protección contra Sobretensiones con Tecnología Crowbar

Este tipo de dispositivos está diseñado para proteger equipos eléctricos contra sobretensiones intensas al desviar o limitar el exceso de energía hacia tierra. La tecnología Crowbar actúa como un 'puente' o 'desviador' directo que cortocircuita el exceso de corriente cuando una sobretensión supera un umbral específico. En condiciones normales, presentan alta impedancia, por lo que no generan corrientes de fuga en ausencia de ondas transitorias (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 288).

Estos equipos son muy robustos y pueden soportar repetidas activaciones sin deterioro significativo. La tensión en los bornes, en el momento de operación del dispositivo, es muy baja, llegando a un valor cercano a cero; es decir, cortocircuitan los bornes de entrada y salida del dispositivo (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 288).

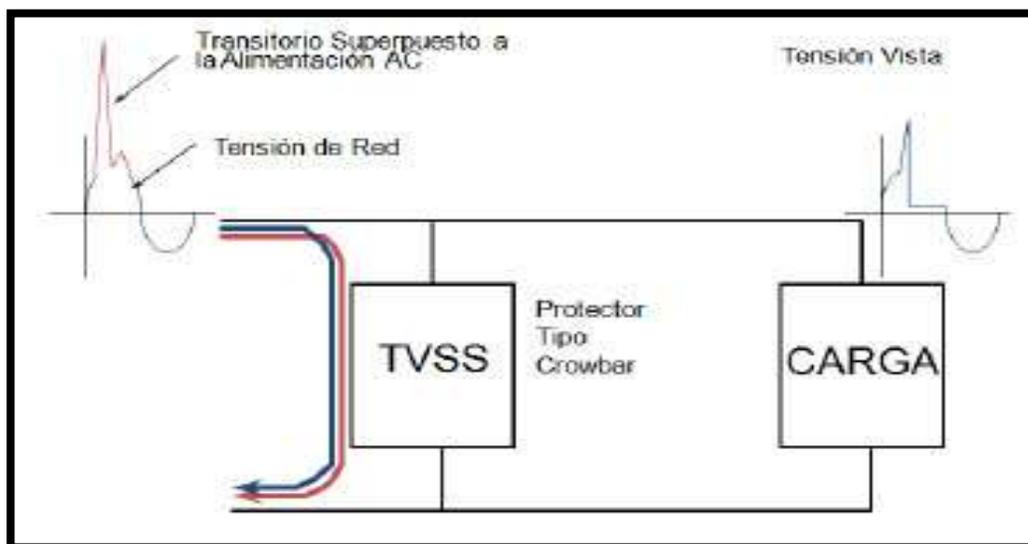
Estos DPS no son de encendido rápido, por lo que, al llevar la señal de tensión a cero, dejan inactivos los equipos eléctricos protegidos. Entre los DPS de tipo Crowbar se encuentran las vías

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

de chispas, los explosores, los descargadores de gas, los tiristores (rectificadores de silicio) y los triacs (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 288).

Figura 2.45

Operación de un descargador de sobretensión tipo Crowbar



Fuente: (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016)

2.7.1.2. Dispositivos de Protección Contra Sobretensiones con Tecnología Clamping

Este tipo de dispositivos están diseñados para limitar la tensión de sobretensión a un nivel seguro al "fijarla" o "recortarla" cuando supera un umbral predeterminado. A diferencia de la tecnología Crowbar, los dispositivos Clamping no cortocircuitan completamente la corriente; en su lugar, reducen o limitan el exceso de tensión, manteniendo el voltaje de salida dentro de un rango seguro (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 288).

Estos dispositivos al detectar una sobretensión, limitan gradualmente la tensión en sus bornes hasta alcanzar un valor cercano a la tensión de funcionamiento normal. Este enfoque permite que los equipos eléctricos protegidos permanezcan activos durante el evento de sobretensión, sin interrumpir el suministro de energía al equipo, lo cual es útil para dispositivos que requieren continuidad operativa (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 288). No

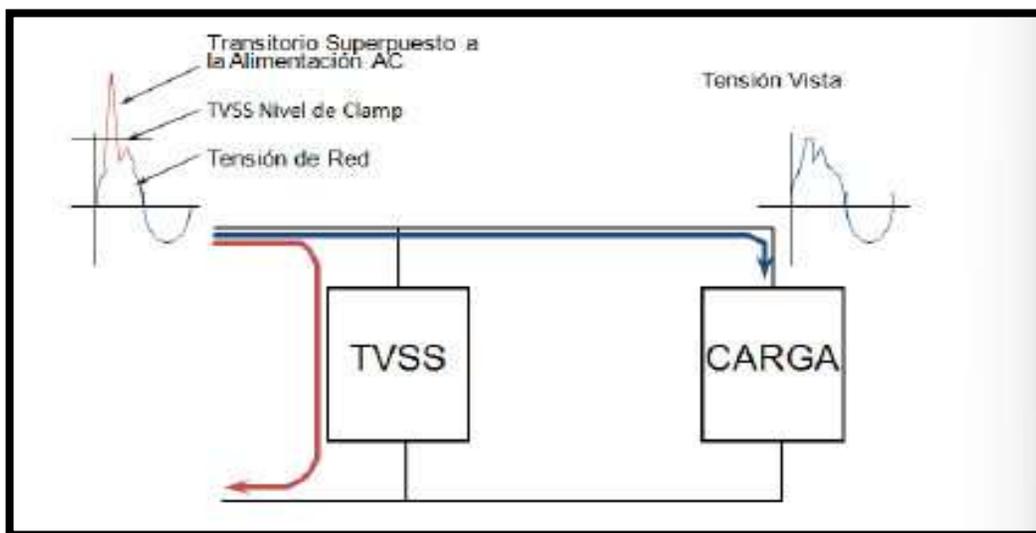
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

obstante, esta tecnología disipa más energía porque siempre hay una tensión residual entre sus bornes. Debido a esta exposición continua a la tensión residual, los dispositivos Clamping tienden a degradarse con el tiempo más que los de tecnología Crowbar, ya que estos últimos llevan la tensión a cero y, por lo tanto, desvían completamente la corriente de sobretensión fuera del equipo protegido (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016, pág. 288).

Entre los DPS de tipo clamping se tienen los rectificadores de selenio, los diodos de avalancha (zener) y los varistores de diferentes materiales.

Figura 2.46

Operación de un descargador de sobretensión tipo Clamping



Fuente (Instituto de Ingeniería Eléctrica, 2016):

2.7.2. Clases de Dispositivos de Protección Contra Sobretensiones

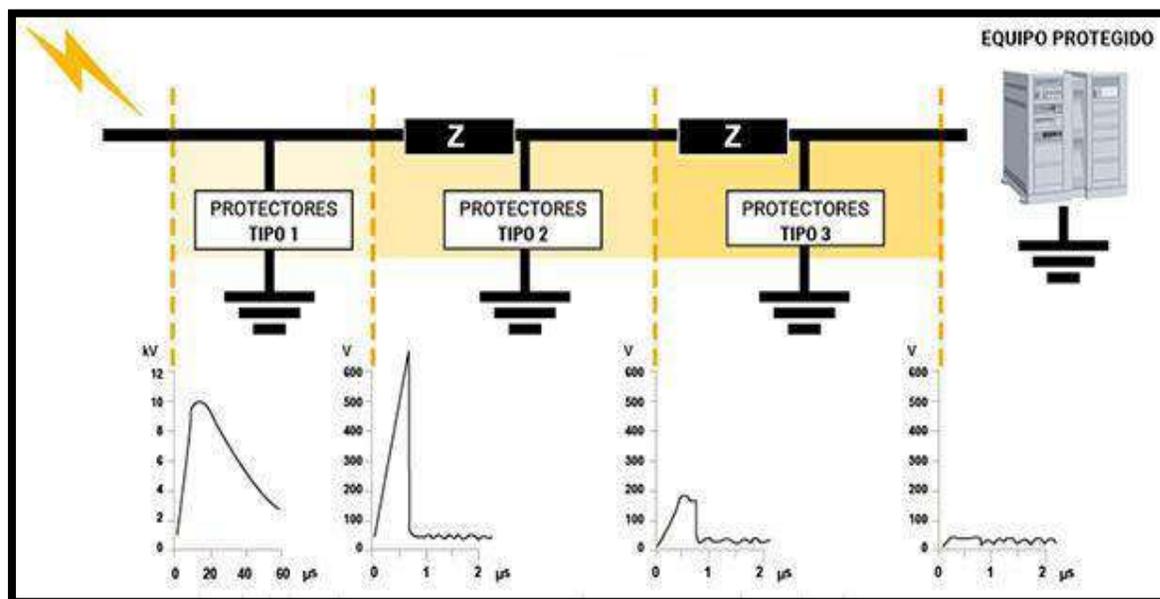
Para proteger eficazmente un equipo sensible de las sobretensiones producidas por fenómenos atmosféricos, es fundamental emplear una protección en cascada, instalando dispositivos contra sobretensiones (DPS) en cada nivel del sistema de distribución eléctrica, desde el tablero principal hasta el equipo a proteger (Aplicaciones Tecnológicas, 2018). Esta estrategia escalonada, como el de la Figura 2.47, permite reducir la magnitud de la sobretensión

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

progresivamente, descargando la energía de manera controlada en cada punto hasta alcanzar niveles seguros para los equipos sensibles (Aplicaciones Tecnológicas, 2018).

Figura 2.47

Instalación en cascada de dispositivos de protección contra sobretensiones



Fuente: (Aplicaciones Tecnológicas, 2018)

Los DPS están clasificados según su capacidad de descarga, que determina en qué punto de la cascada deben instalarse. Generalmente, se clasifican en tres tipos:

2.7.2.1. Protecciones de Tipo 1 (Clase I)

Estos dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), especialmente diseñados para ubicarse en tableros generales de distribución, están enfocados en instalaciones que cuentan con pararrayos o en zonas con alta frecuencia de descargas atmosféricas (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018, pág. 9).

Para garantizar su resistencia y eficacia, estos dispositivos son sometidos a pruebas con un impulso de onda de corriente de 10/350 μs, que simula el impacto directo de un rayo. Gracias a estas pruebas, los DPS demuestran una gran robustez y pueden manejar elevados niveles de

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

corriente, ofreciendo así un nivel de protección de voltaje elevado que ayuda a resguardar el equipo eléctrico de posibles daños frente a sobretensiones de gran magnitud (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018, pág. 9).

2.7.2.2. Protecciones de Tipo 2 (Clase II)

Estos dispositivos de protección contra sobretensiones, son colocados en tableros de derivación o secundarios. Diseñados para ubicaciones donde se considera que el riesgo de impacto directo de rayo es bajo o inexistente. Están sujetos a pruebas con ondas de corriente de 8/20 μ s, las cuales representan las condiciones de corriente inducida por impactos de rayo directo o cercano en las líneas de servicio eléctrico (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018, pág. 9). Debido a su diseño, ofrecen un nivel de protección de voltaje medio y se instalan aguas abajo de los dispositivos Tipo 1, asegurando una protección en cascada que complementa y refuerza la seguridad frente a las sobretensiones (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018, pág. 9).

2.7.2.3. Protecciones de Tipo 3 (Clase III)

Los dispositivos de protección contra sobretensiones Tipo 3 están diseñados para proteger equipos altamente sensibles y se instalan en los tableros o cercanos a los equipos a resguardar. Estos dispositivos son sometidos a ensayos con ondas de tensión de 1.2/50 μ s y de corriente de 8/20 μ s, lo que les permite ofrecer un nivel de protección de voltaje bajo, adecuado para minimizar los efectos de las sobretensiones residuales. Siempre se instalan en cascada después de los dispositivos Tipo 2, garantizando una protección completa y escalonada que resguarda los equipos sensibles contra picos de tensión (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018, pág. 9).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.7.3. Características Técnicas y Parámetros para la Selección del DPS

Para seleccionar un Dispositivo de Protección contra Sobretensiones (DPS) adecuado, es esencial considerar ciertos parámetros técnicos que garanticen su correcta funcionalidad y durabilidad ante las descargas atmosféricas o sobretensiones transitorias. Las principales características y parámetros para su selección son:

- **Capacidad de Corriente de Descarga (I_{imp}):** Representa la máxima corriente de rayo que el DPS puede desviar a tierra sin sufrir daños. Para dispositivos de Tipo 1, suele medirse con impulsos de 10/350 μ s, mientras que los de Tipo 2 y Tipo 3 usan ondas de corriente de 8/20 μ s (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018).
- **Nivel de Protección de Tensión (U_p):** Es el voltaje residual que se presenta en los bornes del DPS durante la descarga de una sobretensión. Este nivel de protección debe ser inferior al nivel de resistencia de tensión soportado por el equipo o instalación a proteger (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018).
- **Tensión Nominal de Operación (U_c):** Indica la tensión máxima que el DPS puede soportar de forma continua sin entrar en operación. Debe estar ligeramente por encima del voltaje de operación normal de la instalación para evitar desgastes prematuros (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018). Este valor es seleccionado de acuerdo con el voltaje nominal y la disposición de puesta a tierra del sistema.

$$\text{- Para sistemas TT y TN} \quad U_c \geq 1.1 * U_n$$

$$\text{- Para sistemas IT} \quad U_c \geq \sqrt{3} * U_n$$

- **Corriente Nominal de Descarga (I_n):** Define la corriente que el DPS puede desviar repetidamente sin sufrir daños, medido generalmente con impulsos de 8/20 μ s. Este

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

parámetro permite dimensionar la robustez del DPS ante sobretensiones frecuentes (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018).

- **Voltaje Nominal (U_n)**, es la tensión nominal típica el cual el DPS opera, por lo general es la tensión fase – neutro que otorga la concesionaria, dependiendo del sistema a proteger (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018).

2.7.4. *Funcionamiento de los Dispositivos de Protección Contra Sobretensiones*

Los dispositivos de protección contra sobretensiones, al detectar un incremento del nivel de tensión por encima de su voltaje de operación continuo máximo (U_c), crean una vía momentánea de baja impedancia para redirigir a tierra la corriente dañina producida por la sobretensión y mantener constante el voltaje en los extremos del equipo a proteger, para posteriormente reiniciarse a su estado inicial (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018, pág. 9). Se puede identificar tres fases de funcionamiento:

- **Fase Inicial o de No Actuación del DPS:** En esta fase, el voltaje a la salida del dispositivo es el que proporciona la empresa concesionaria (U_n) y se encuentra por debajo del voltaje máximo de servicio (U_c). Durante esta etapa, la impedancia del dispositivo es un valor muy elevado, que tiende al infinito, lo que significa que el dispositivo no conduce corriente. La corriente de fuga (I_C) que se drena a tierra está en el orden de los microamperios (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018).
- **Actuación del DPS Durante el Sobretensión:** Durante un sobrevoltaje, ya sea transitorio o permanente, se presenta un incremento intempestivo de la tensión, lo que activa el DPS. En esta fase, el dispositivo reduce su propia impedancia, derivando la corriente en exceso hacia tierra y manteniendo la tensión constante a la salida (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- **Fase de Extinción del Fenómeno de Sobretensión:** En la fase de extinción del fenómeno de sobretensión, el DPS es nuevamente alimentado por la empresa concesionaria a la frecuencia fundamental de 60 Hz. Automáticamente, la impedancia del dispositivo vuelve a tener un valor elevado, regresando a la fase inicial (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 1, 2018).

2.7.5. *Sistemas de Distribución según la Configuración de la Puesta a Tierra*

Para determinar las especificaciones técnicas y la ubicación adecuada de los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS), es fundamental comprender el esquema de distribución de la red eléctrica definido en el Código Nacional de Electricidad – Utilización. Estos esquemas se diferencian por la forma en que se conecta el conductor de tierra de la red de distribución con las masas de los equipos instalados. Cada tipo de configuración influye en los requisitos de instalación de los DPS y en la selección de sus parámetros técnicos (Minas, 2006).

Tabla 2.15

Sistemas de distribución, según la configuración de la puesta a tierra

Primera letra		Segunda letra		Otras letras	
Situación de la alimentación con relación a tierra		Situación de las masas de los equipos instalados con respecto a tierra		Referidas a la situación del conductor neutro y del conductor de protección	
T	I	T	N	S	C
Conexión directa de un punto de la alimentación a tierra	Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia	Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la puesta a tierra de la alimentación	Masas conectadas directamente al punto de la puesta a tierra de la alimentación que normalmente es el neutro	Las funciones de neutro y de protección están con diferentes conductores	Las funciones de neutro y de protección están con un solo conductor

Fuente: (Minas, 2006)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

En la Tabla 2.15, se detallan los diferentes tipos de sistemas de distribución según la configuración de la puesta a tierra, entre los cuales se incluyen los sistemas TT, TN y IT. Cada uno de estos sistemas tiene implicaciones específicas en la protección contra sobretensiones y en la disposición de los DPS (Minas, 2006).

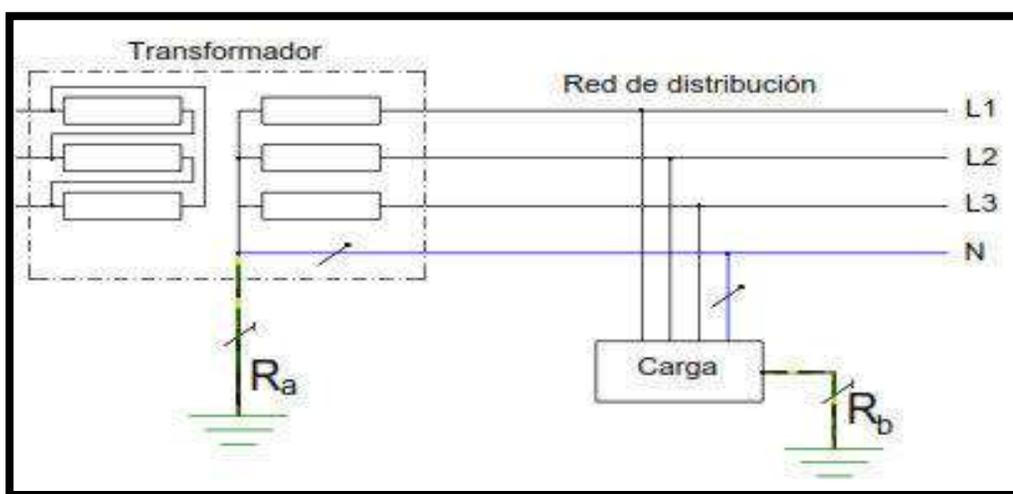
2.7.5.1. Sistema TT

En este tipo de sistema de distribución, el conductor neutro que alimenta la carga está conectado directamente a la puesta a tierra en el lado de baja tensión del transformador, mientras que las masas de la instalación eléctrica (lado de carga) están conectadas a sistemas de puesta a tierra que son eléctricamente distintos de la toma de tierra del circuito de alimentación (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018).

Este sistema de conexión ayuda a minimizar el riesgo de sobretensiones en las instalaciones de consumo, ya que cualquier falla a tierra en la instalación queda confinada al propio sistema de puesta a tierra de la carga.

Figura 2.48

Sistema de distribución con esquema de conexión TT



Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

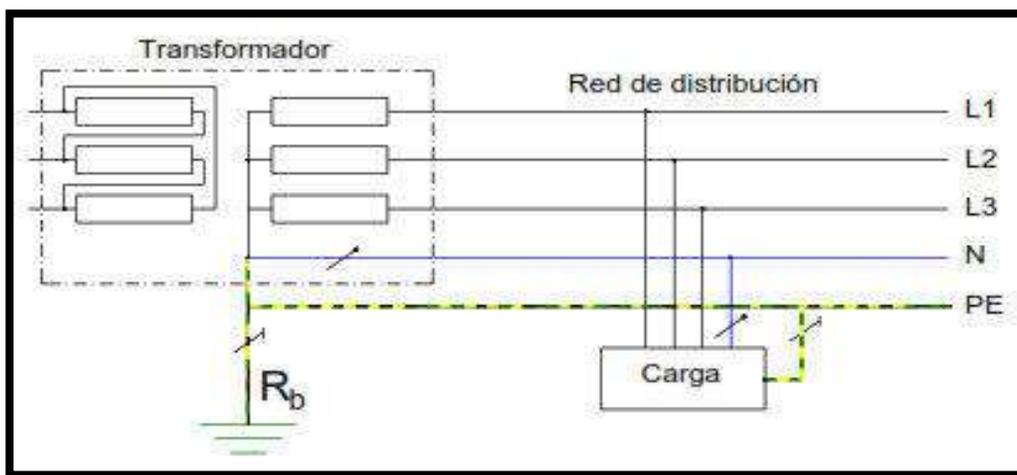
2.7.5.2. Sistema TN

Este sistema de distribución, conecta el conductor neutro directamente a la puesta a tierra en el lado de baja tensión del transformador. En el sistema TN, las masas de la instalación eléctrica pueden conectarse de tres maneras, dependiendo de cómo se asignan el conductor neutro (N) y el conductor de protección (PE) (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018).

- **Esquema TN-S:** Los conductores neutros (N) y de protección (PE) están separados en toda la instalación. Esta configuración permite un mayor control sobre la protección y facilita la separación entre el retorno de corriente y la puesta a tierra de seguridad.

Figura 2.49

Sistema de distribución con esquema de conexión TN-S



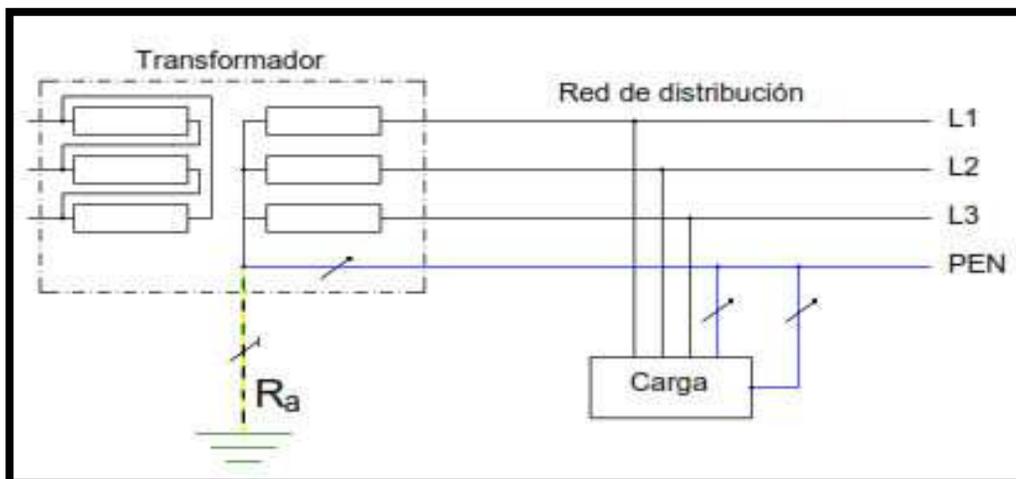
Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018, pág. 4)

- **Esquema TN-C:** Combina el neutro y la protección en un único conductor denominado PEN en parte o en toda la instalación. Este método reduce la cantidad de cableado, aunque implica un mayor riesgo en términos de protección, ya que el conductor combinado cumple ambas funciones.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.50

Sistema de distribución con esquema de conexión TN-C

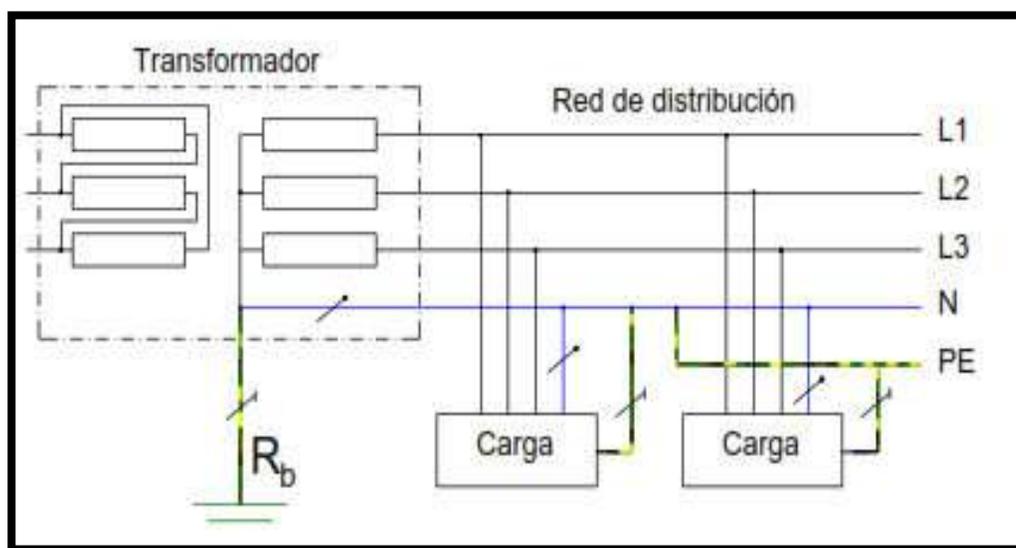


Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018, pág. 4)

- **Esquema TN-C-S:** La instalación comienza como un sistema TN-C, con el conductor PEN, y luego se convierte en un sistema TN-S en una parte de la instalación. Esta combinación permite optimizar el diseño manteniendo la seguridad en las partes más cercanas a la carga.

Figura 2.51

Sistema de distribución con esquema de conexión TN-C-S



Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018, pág. 4)

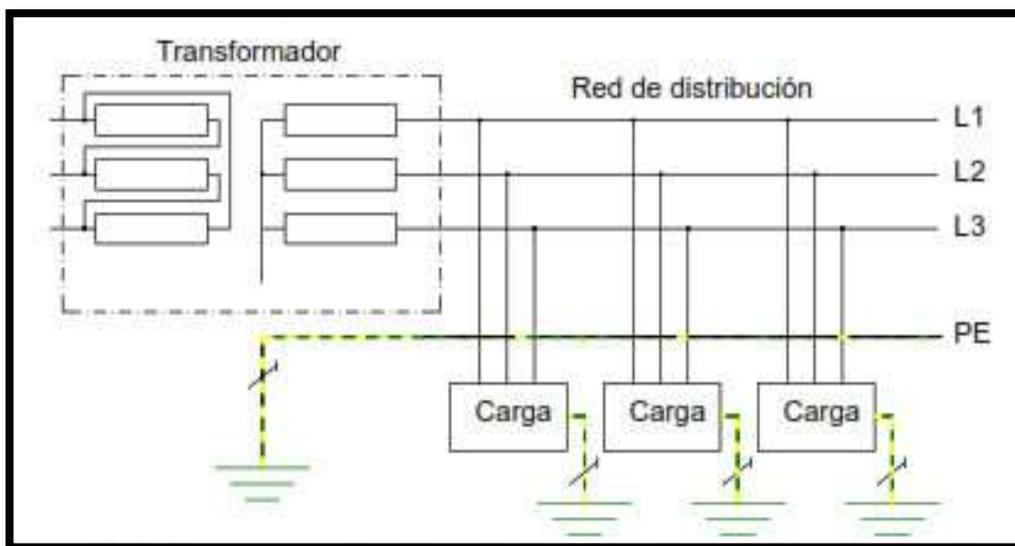
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.7.5.3. Sistema IT

En este tipo de sistemas, el neutro del transformador no está conectado a tierra, o bien está conectado a tierra a través de una alta impedancia. Esto permite que la instalación opere con una resistencia mayor ante fallos a tierra, lo cual es beneficioso en aplicaciones que requieren alta continuidad del servicio, como en hospitales o industrias críticas (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018). Como se muestra en la Figura 2.52, aunque el neutro no esté directamente aterrizado, las masas de los equipos sí están conectadas a un sistema de puesta a tierra independiente. Esto reduce el riesgo de descarga para las personas y protege los equipos.

Figura 2.52

Esquema de conexión IT con PAT de forma individual

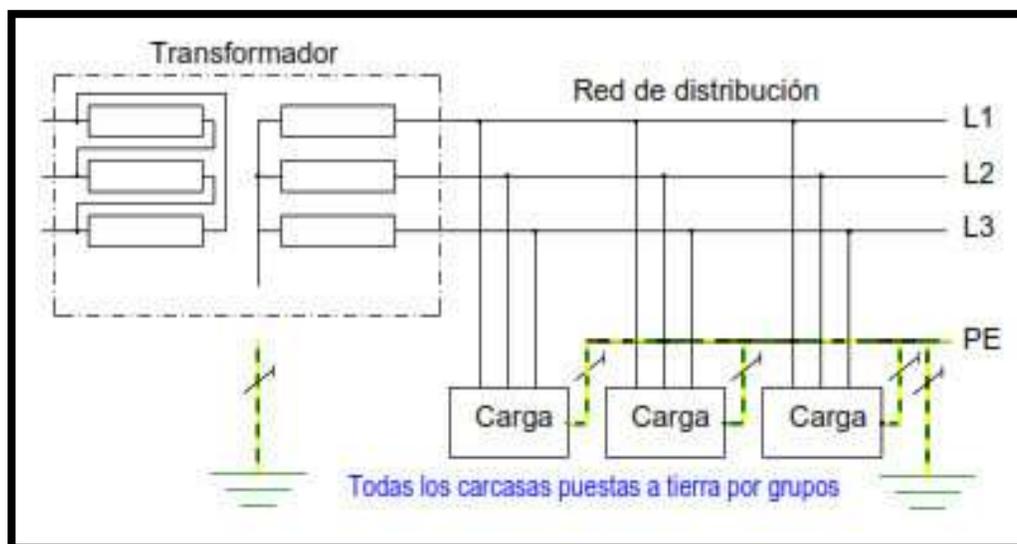


Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018, pág. 5)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.53

Esquema de conexión IT con PAT por grupos



Fuente: (Rojas, Protección contra sobretensiones Parte 2, 2018, pág. 5)

2.7.6. Técnicas de Instalación de DPS

Para la instalación efectiva de los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS), es fundamental seguir ciertas consideraciones y recomendaciones para garantizar su eficacia y maximizar la protección de los equipos. Estas pautas incluyen.

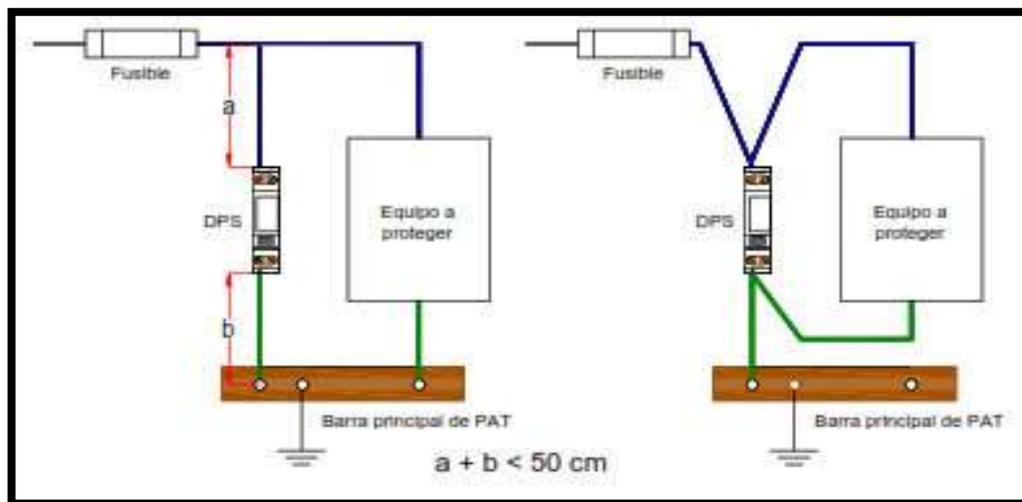
2.7.6.1. Longitud de Cables para la conexión de DPS

Los conductores que conectan la línea de energía a los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) deben ser rectilíneos y tener una longitud menor a 0.5 metros entre la entrada y la salida del equipo DPS. En caso de que esta distancia no pueda cumplirse debido a la longitud de los tableros, se deberá realizar la conexión de entrada y salida en forma de “V”, como se muestra en la Figura 2.54. Esto se hace para minimizar la variación de potencial que podría producirse en los conductores de conexión del DPS (Rojas, Protección contra sobretensiones Parte 2, 2018).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.54

Longitud de conductor recomendada para la conexión de DPS



Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018, pág. 6)

El conductor que conecta el DPS con los conductores activos o de fase debe tener la misma sección de diámetro, mientras que el conductor que conecta el DPS con la barra de puesta a tierra debe cumplir con las secciones mínimas requeridas según la clase de protección, como se indica en la Tabla 2.16.

Todos los equipos eléctricos protegidos contra sobretensiones deben estar conectados a la barra equipotencial a la que está conectado el DPS (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018).

Tabla 2.16

Sección mínima del conductor de conexión del DPS con la barra de PAT

DPS	Sección mínima [mm ²]
Clase I	6
Clase II	4
Clase III	1.5

Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.7.6.2. Conexión a Tierra de los DPS

Para garantizar el correcto funcionamiento de los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS), es necesario que la sección mínima del conductor que conecta la barra principal del tablero a la puesta a tierra cumpla con los valores especificados en la Tabla 2.17. Esto asegura una adecuada capacidad de conducción para las corrientes de descarga y reduce el riesgo de sobrecalentamiento en situaciones de sobretensión.

Tabla 2.17

Sección mínima del conductor de cobre que unen con la instalación de tierra

Tipo de DPS	Sección del Conductor [mm²]	Conexión entre el DPS y
Tipo 1	16	El borne principal equipotencial o Puesta a tierra del edificio
Tipo 2	4	El borne de entrada de tierra de la instalación interior
Tipo 3	2.5 o lo especificado por el fabricante	El borne de entrada de tierra de la instalación interior

Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018)

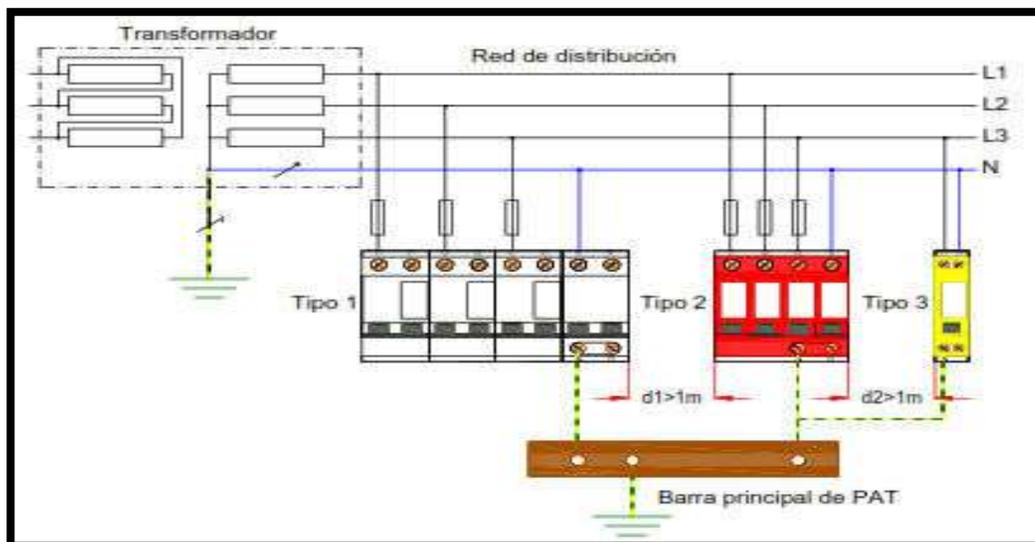
2.7.6.3. Coordinación Energética de DPS

La coordinación de DPS en cascada consiste en instalar varios dispositivos de protección de manera secuencial, comenzando desde el punto de entrada de la instalación eléctrica hasta llegar al equipo sensible a proteger. Este esquema asegura que cada DPS reduzca progresivamente la energía de la sobretensión a niveles manejables para el siguiente dispositivo, protegiendo así el equipo final (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018, pág. 7). En la Figura 2.55, se representa la coordinación en cascada de los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 2.55

Coordinación en cascada de dispositivos de protección contra sobretensiones



Fuente: (Rojas, Protección contra sobrevoltajes Parte 2, 2018)

Capítulo III: Metodología para el Análisis de Riesgo

3.1. Introducción

Todas las personas y equipos eléctricos están expuestos a los efectos de las descargas atmosféricas, lo que puede resultar en la pérdida de vidas humanas o daños físicos si no se cuenta con un diseño adecuado de protección.

El análisis de riesgo representa una fase esencial en la planificación de un sistema de protección contra rayos, ya que permite identificar y evaluar la probabilidad de daños o pérdidas para una construcción específica. Este análisis se basa en la estimación del riesgo tanto prospectivo como preventivo, en conformidad con los requisitos de las normativas nacionales.

En este capítulo, se examinarán los criterios y procedimientos establecidos en la norma internacional NFPA 780 y la NTP IEC-62305, la cual es promovida por el INACAL en Perú, para asegurar una metodología estandarizada en el diseño de estos sistemas de protección.

3.2. Evaluación de Riesgo Bajo Enfoque Normativo NFPA-780

La National Fire Protection Association (NFPA) proporciona directrices detalladas para realizar un análisis de riesgo relacionado con las descargas atmosféricas en diversas edificaciones. Sin embargo, estas pautas no son aplicables a instalaciones donde se fabriquen explosivos, así como en sistemas de generación, transmisión y distribución eléctrica (NFPA-780, 2008).

La norma proporciona un marco que ayuda a tomar decisiones informadas sobre la necesidad y el nivel de protección contra rayos, basándose en criterios como la ubicación geográfica, la altura del edificio, su uso y la densidad de descargas eléctricas en la región (NFPA-780, 2008).

3.2.1. Factores que Intervienen en la Cuantificación del Riesgo según NFPA-780

3.2.1.1. Densidad Ceraunica (N_g)

La densidad cerámica se define como el número de descargas a tierra (rayos) que ocurren por kilómetro cuadrado y por año. Este valor es fundamental para evaluar el riesgo de descargas atmosféricas en una determinada región y se obtiene principalmente a través de mapas cerámicos.

En ausencia de mapas cerámicos, se puede calcular la densidad cerámica utilizando la ecuación (3.2):

$$N_g = a(T_D)^b \quad (3.1)$$

$$N_g = 0.04(T_D)^{1.25} \quad (3.2)$$

Donde:

N_g = Densidad Ceraunica [rayos por km^2 por año].

T_D = Índice Ceraúnico [días de tormenta por km^2 por año].

a = Valor experimental de 0.04 [Adimensional].

b = Valor experimental de 1.25 [Adimensional].

3.2.1.2. Superficie de Captura Equivalente (A_e)

Es el área que se obtiene al extender una línea con una pendiente de 1/3 desde la parte superior de la estructura hasta el terreno que rodea completamente la estructura (NFPA-780, 2008, pág. 54).

Cuando la estructura es rectangular, con longitud (L), Ancho (W) y Alto (H), la superficie de captura equivalente puede ser calculada de manera analítica. Sin embargo, se recomienda que esta superficie de captura sea calculada mediante el método gráfico con el apoyo de un software de diseño CAD.

Para el cálculo del área de captación, se pueden considerar los siguientes casos:

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- **Caso 1.-** Cuando la estructura tiene forma rectangular y se encuentra aislada de otras estructuras, como se muestra en la Figura 3.1. La superficie de captación es calculada con la ecuación (3.3).

$$A_e = LW + 6H(L + W) + \pi 9H^2 \quad (3.3)$$

Donde:

A_e = Superficie de captura equivalente [m^2].

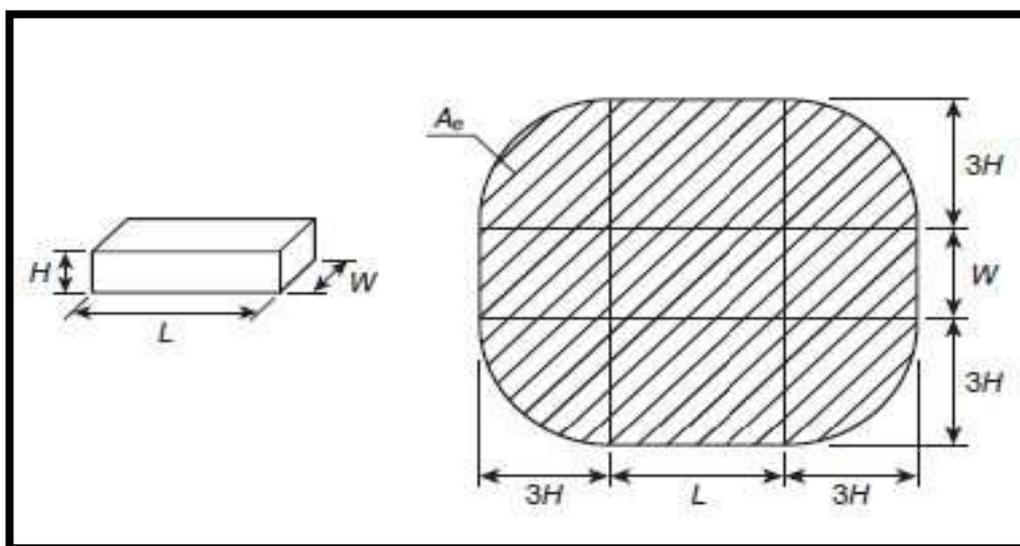
L = Longitud de la estructura [m].

W = Ancho de la estructura [m].

H = Altura de la estructura [m].

Figura 3.1

Superficie de captación de una estructura rectangular aislada



Fuente: (NFPA-780, 2008)

- **Caso 2.-** Las estructuras contiguas que se encuentran completamente dentro de la superficie de captación de la estructura de mayor altura, como se muestra en la Figura 3.2. La superficie de captación es calculada con la ecuación (3.4).

$$A_e = 9H^2 \quad (3.4)$$

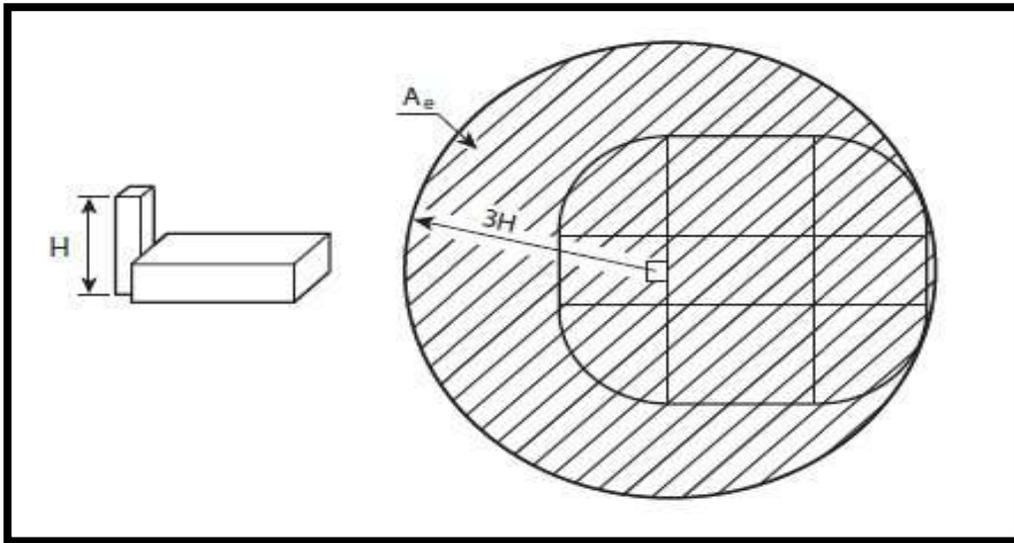
Donde:

A_e = Superficie de captura equivalente [m^2].

H = Altura de la estructura [m].

Figura 3.2

Superficie de captación de estructuras contiguas

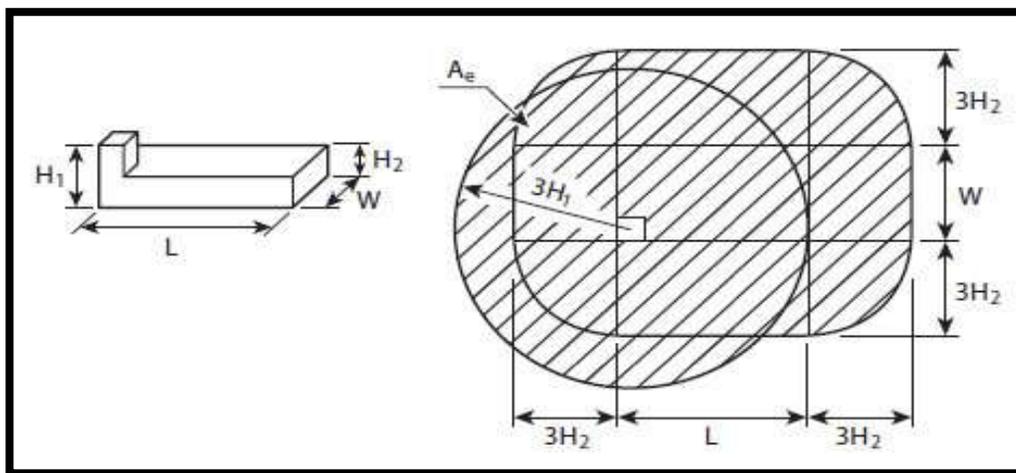


Fuente: (NFPA-780, 2008)

- **Caso 3.-** Estructuras contiguas que se superponen, como se muestra en la Figura 3.3. Para calcular el área de captación, se utiliza un software de diseño por computadora, como AutoCAD u otro similar. Se deben considerar las siguientes pautas:
 - Estructuras a proteger con altura menor a 2 metros, no se consideran en el análisis.
 - Para estructuras a proteger con alturas entre $2 \text{ m} \leq H \leq 10 \text{ m}$, se considera el factor de pendiente máximo de captación de 1:3, es decir, 3 veces la altura a proteger.
 - Para estructuras a proteger con alturas entre $11 \text{ m} \leq H \leq 60 \text{ m}$, se considera el factor de pendiente natural de captación de 1:1, es decir, la altura de la estructura a proteger (Alberto Medina , 2021).

Figura 3.3

Superficie de captación de estructuras que se superponen



Fuente: (NFPA-780, 2008)

3.2.1.3. Frecuencia de Impactos Prevista (N_d)

Es la frecuencia anual de impacto de rayos esperada en una estructura, la cual se calcula utilizando la ecuación (3.5).

$$N_d = N_g * A_e * C_1 * 10^{-6} \quad (3.5)$$

Donde:

N_d = Frecuencia de impactos prevista [rayos/año].

N_g = Densidad anual promedio de rayos [rayos/ km^2 /año].

A_e = Superficie de captura equivalente [m^2].

C_1 = Coeficiente ambiental [Adimensional], Tabla 3.1.

Tabla 3.1

Valores del coeficiente ambiental C_1

Ubicación relativa de la estructura	C_1
Rodeado por estructuras o arboles de igual o mayor altura dentro de una distancia de 3H	0.25

Rodeada por estructuras más pequeñas dentro de una distancia 3H	0.5
Estructura aislada dentro de una distancia de 3H	1
Estructura aislada sobre la cima de una colina	2

Fuente: (NFPA-780, 2008)

3.2.1.4. Frecuencia de Impactos Tolerable (N_c)

La frecuencia de tolerancia de rayos es una medida del riesgo que incluye factores que afectan a la estructura, el entorno y las pérdidas económicas. El valor de N_c se obtiene mediante la ecuación (3.6).

$$N_c = \frac{1.5 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5} \quad (3.6)$$

Donde:

N_c = Frecuencia de impactos tolerable [rayos/año].

C_2 = Coeficiente de la estructura [adimensional], tabla 3.2.

C_3 = Coeficiente de almacenamiento [adimensional], tabla 3.3.

C_4 = Coeficiente de ocupación [adimensional], tabla 3.4.

C_5 = Coeficiente de las consecuencias de rayos [adimensional], tabla 3.5.

Tabla 3.2

Valores del coeficiente estructural C_2

Coeficiente de la estructura C_2			
Estructura	Tipo de Techo		
	Metálico	No metálico	Inflamable
De metal	0.5	1.0	2.0
No metálico	1.0	1.0	2.5
Inflamable	2.0	2.5	3.0

Fuente: (NFPA-780, 2008)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 3.3*Valores del coeficiente de almacenamiento C_3*

Coeficiente de almacenamiento	C_3
De poco valor y no inflamables	0.5
De valor estándar y no inflamables	1.0
De alto valor, Inflamabilidad moderada	2.0
De alto valor, inflamable, de computación o electrónicos	3.0
de valor extremadamente alto, irremplazable u objetos culturales	4.0

*Fuente: (NFPA-780, 2008)***Tabla 3.4***Valores de coeficiente de ocupación C_4*

Coeficiente de ocupación	C_4
No ocupada	0.5
Ocupación normal	1.0
Con dificultad para ser evacuada o con riesgo de pánico	3.0

*Fuente: (NFPA-780, 2008)***Tabla 3.5***Valores de coeficiente de consecuencias de los rayos*

Coeficiente de las consecuencias de los rayos	C_5
La instalación no requiere de continuidad, sin impacto ambiental	1
La instalación requiere de continuidad, sin impacto ambiental	5
Tiene consecuencias ambientales	10

*Fuente: (NFPA-780, 2008)***3.2.2. Verificación del Grado de Requerimiento del SPCDA según NFPA-780**

Para determinar si la estructura requiere un sistema de protección contra descargas atmosféricas (SPCDA), se realiza la siguiente comparación:

Si $N_d \leq N_c$, el SPCDA es de aplicación opcional, con un grado de protección bajo o medio.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Si $N_d > N_c$, el SPCDA es de aplicación obligatoria, con un grado de protección elevado.

3.3. Evaluación de Riesgo Bajo Enfoque Normativo NTP IEC-62305

La evaluación de riesgo según el enfoque normativo de la NTP IEC-62305 establece una metodología para analizar y cuantificar el riesgo de daños o pérdidas debido a descargas atmosféricas en una estructura, permitiendo establecer si el riesgo es aceptable o si se requieren sistemas adicionales de protección.

Este método de evaluación resulta especialmente efectivo para estructuras complejas, como los hospitales, ya que considera tanto los daños directos por impactos de rayos en la estructura como los daños indirectos que pueden transmitirse a través de las líneas de servicio (eléctricas, de telecomunicaciones, etc.).

Para aplicar la evaluación de riesgo, se inicia con la determinación del riesgo inicial en función de los dispositivos o sistemas de protección actualmente instalados en el edificio en cuestión. Este análisis permite obtener una referencia sobre el nivel de riesgo presente sin ninguna modificación adicional (Alberto Medina , 2021). Posteriormente, sobre la base de los resultados obtenidos, se identifican y proponen las medidas de protección necesarias que permitan mitigar los riesgos específicos, reduciendo el nivel de riesgo a valores que estén por debajo del límite de tolerancia establecido por la normativa (Alberto Medina , 2021).

3.3.1. Procedimiento para el Análisis de Riesgo Según Norma IEC-62305

3.3.1.1. Análisis de la Fuente de Daño, Tipo de Daño y Tipo de Pérdida

La evaluación de riesgo en el marco de la NTP IEC-62305-2 se realiza considerando varios parámetros fundamentales asociados con el punto de impacto del rayo y los posibles efectos. Estos parámetros se definen según la fuente de daño (S), el tipo de daño (D) y el tipo de pérdida (L), los

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

cuales están estructurados para abarcar las variables de construcción y las características del entorno afectado (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

Estos factores permiten realizar una evaluación detallada de los posibles efectos y diseñar una protección adecuada. En la tabla (3.6) se detallan las posibles combinaciones de fuente de daño, tipo de daño y tipo de pérdida, proporcionando una guía para la identificación y categorización de los riesgos y su impacto (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

Tabla 3.6

Análisis de fuente de daño, tipo de daño y tipo de pérdida, conforme a la NTP IEC-62305-2

Fuente de Daño	Tipo de daño		
	D1	D2	D3
S1	L1, L4	L1, L2, L3, L4	L1, L2, L4
S2			L1, L2, L4
S3	L1, L4	L1, L2, L3, L4	L1, L2, L4
S4			L1, L2, L4

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Donde:

S1= Impacto directo de rayo en la estructura.

S2= Impacto de rayo cerca de la estructura.

S3= Impacto directo de rayo en el servicio conectado a la estructura.

S4= Impacto de rayo cerca del servicio conectado a la estructura.

D1= Daños a seres vivos por choque eléctrico.

D2= Daños físicos, incluye incendios, explosiones o destrucción estructural.

D3= Daños en sistemas eléctricos y electrónicos.

L1= Pérdida de vida humana o daños permanentes en las personas.

L2= Pérdida de servicio público (servicios críticos o básicos).

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

L3= Pérdida de patrimonio cultural (con valor histórico o cultural).

L4= Pérdidas económicas (costos de reparación, pérdida de bienes y las interrupciones operativas).

3.3.1.2. Análisis del Riesgo y Componentes de Riesgo

El riesgo es la probabilidad de que un peligro se materialice en determinadas condiciones y genere daños a las personas, a los equipos y al ambiente (Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad, 2013).

El análisis de riesgo es la evaluación y estimación de cada componente del riesgo que puede surgir en una estructura, de acuerdo con la fuente y tipo de daño (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). El riesgo total (R) de una estructura se calcula como la suma de los componentes del riesgo (R_1, R_2, R_3, R_4), que son los diferentes tipos de riesgo asociados con las diversas fuentes de daño. Estas componentes de riesgo se pueden definir de la siguiente manera:

- a) Riesgo de pérdida de vida humana (R_1).**- Se refiere a la probabilidad de que una persona sufra lesiones fatales o permanentes debido a un impacto directo o indirecto del rayo en una estructura o en su entorno (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Es calculado con la ecuación (3.7), donde los factores $R_{C1}, R_{M1}, R_{W1}, R_{Z1}$ solo se aplica a estructuras con riesgo de explosión y hospitales.

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1} \quad (3.7)$$

- b) Riesgo de pérdida de servicio público (R_2).**- Se refiere a la probabilidad de que un impacto directo o indirecto del rayo cause interrupciones en los servicios esenciales (electricidad, agua, telecomunicaciones, entre otros) que una infraestructura o edificación proporciona a la comunidad (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Es calculado con la ecuación (3.8).

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (3.8)$$

- c) **Riesgo de pérdida de patrimonio cultural (R_3).**- Se refiere a la probabilidad de que un impacto directo o indirecto de un rayo cause daños o destrucción a bienes culturales, históricos, artísticos o arquitectónicos (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Es calculado con la ecuación (3.9).

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3.9)$$

- d) **Riesgo de pérdida de valor económico (R_4).**- se refiere a la probabilidad de que un impacto directo o indirecto de un rayo cause daños o pérdidas monetarias que pueden resultar de las interrupciones operativas, daños a equipos o instalaciones, y otros. Es calculado con la ecuación (3.10), donde los parámetros R_{A4} y R_{U4} solo se aplica para propiedades donde puede producirse pérdida de animales (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (3.10)$$

Donde:

R_A = Riesgo de daño a seres vivos por impacto directo en la estructura.

R_B = Riesgo de daños físicos por impacto directo en la estructura.

R_C = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto directo en la estructura.

R_M = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto cerca de la estructura.

R_U = Riesgo de daño a seres vivos por impacto directo en la línea de servicio.

R_V = Riesgo de daños físicos por impacto directo en la línea de servicio.

R_W = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto directo en la estructura.

R_Z = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto cerca de línea de servicio.

3.3.1.2.1. Cálculo de Componentes de Riesgo para una Estructura Debido a Descargas Directas en la Estructura

- **Componente R_A :** Relacionada con daños a los seres vivos producidos por tensiones de toque y de paso en una zona de hasta 3 metros en el exterior de la estructura (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Su valor se calcula con la ecuación (3.11)

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (3.11)$$

Donde:

R_A = Riesgo de daño a seres vivos por impacto directo en la estructura.

N_D = Numero de eventos peligrosos para la estructura [rayos/año].

P_A = Probabilidad de daño a seres vivos por impacto en estructura [Adimensional].

L_A = Pérdidas de vidas humanas por impacto en la estructura [Adimensional].

- **Componente R_B :** Relacionada con los daños físicos producidos por chispas peligrosas en el interior de la estructura, que pueden causar fuego o explosiones que afecten al medio ambiente (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015). Su valor se calcula con la ecuación (3.12).

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (3.12)$$

Donde:

R_B = Riesgo de daños físicos por impacto directo en la estructura.

N_D = Numero de eventos peligrosos para la estructura [rayos/año].

P_B = Probabilidad de daños físicos por impacto en la estructura [Adimensional].

L_B = Pérdida de equipos por impacto en la estructura [Adimensional].

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- **Componente R_C :** Relacionada con las fallas de los sistemas internos debido a los impulsos electromagnéticos del rayo (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Su valor se calcula con la ecuación (3.13).

$$R_C = N_D * P_C * L_C \quad (3.13)$$

Donde:

R_C = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto directo en la estructura.

N_D = Numero de eventos peligrosos para la estructura [rayos/año].

P_C = Probabilidad de falla en sistemas internos por impacto en la estructura [Adimensional].

L_C = Perdidas de equipos por falla en sistemas internos debido a impacto en la estructura [Adimensional].

3.3.1.2.2. *Cálculo de Componentes de Riesgo para una Estructura Debido a Descargas Cerca de la Estructura*

- **Componente R_M :** Relacionada con las fallas de los sistemas internos debido a los impulsos electromagnéticos del rayo (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Su valor se calcula con la ecuación (3.14).

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (3.14)$$

Donde:

R_M = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto cerca de la estructura.

N_M = Numero de eventos peligrosos por descargas cerca a la estructura [rayos/año].

P_M = Probabilidad de falla en sistemas internos por impacto cerca de la estructura [Adimensional].

L_M = Perdidas de equipos por falla en sistemas internos debido a impacto cerca de

la estructura [Adimensional].

3.3.1.2.3. *Cálculo de Componentes de Riesgo para una Estructura Debido a Descargas Directas en la Línea Conectada a la Estructura*

- **Componente R_U :** Relacionada con los daños a los seres vivos producidos por choque eléctrico debido a las tensiones de toque en el interior de la estructura (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Su valor se calcula con la ecuación (3.15).

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U \quad (3.15)$$

Donde:

R_U = Riesgo de daño a seres vivos por impacto directo en la línea de servicio.

N_L = Sobretensiones en la línea (>1kV) por impactos en la línea de servicio [sobretensiones/año].

N_{DJ} = Numero de eventos peligrosos en la estructura adyacente [rayos/año].

P_U = Probabilidad de daño a seres vivos por impacto en la línea de servicio [Adimensional].

L_U = Pérdida de vidas humanas por impacto en la línea de servicio [Adimensional].

- **Componente R_V :** Relacionada con los daños físicos debido a la corriente del rayo transmitida por las líneas de servicio, que pueden ocasionar fuego o explosiones (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Su valor se calcula con la ecuación (3.16).

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V \quad (3.16)$$

Donde:

R_V = Riesgo de daños físicos por impacto directo en la línea de servicio.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

N_L = Sobretensiones en la línea (>1kV) por impactos en la línea de servicio [sobretensiones/año].

N_{DJ} = Numero de eventos peligrosos en la estructura adyacente [rayos/año].

P_V = Probabilidad de daños físicos por impacto en la línea de servicio [Adimensional].

L_V = Perdida de estructuras por impacto en la línea de servicio [Adimensional].

- **Componente R_W :** Relacionada con las fallas de los sistemas internos causadas por sobretensiones inducidas en las líneas que entran en la estructura (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015); Su valor se calcula con la ecuación (3.17).

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W \quad (3.17)$$

Donde:

R_W = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto directo en la estructura.

N_L = Sobretensiones en la línea (>1kV) por impactos en la línea de servicio [sobretensiones/año].

N_{DJ} = Numero de eventos peligrosos en la estructura adyacente [rayos/año].

P_W = Probabilidad de falla en sistemas internos por impacto en la línea de servicio [Adimensional].

L_W = Perdidas de equipos por falla en sistemas internos debido a impacto en la línea de servicio [Adimensional].

3.3.1.2.4. Cálculo de componentes de riesgo para una estructura debido a descargas cerca de la línea conectada a la estructura

- **Componente R_Z :** Relacionada con las fallas de los sistemas internos causadas por sobretensiones inducidas en las líneas que entran y se transmiten a la estructura (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Su valor se calcula con la ecuación (3.18)

$$R_Z = N_I * P_Z * L_Z \quad (3.18)$$

Donde:

R_Z = Riesgo de falla en sistemas internos por impacto cerca de línea de servicio.

N_I = Sobretensiones en la línea (>1kV) por impactos cerca de la línea de servicio [sobretensiones/año].

P_Z = Probabilidad de falla en sistemas internos por impacto cerca de la línea de servicio [Adimensional].

L_Z = Perdidas de equipos por falla en sistemas internos debido a impacto cerca de la línea de servicio [Adimensional].

3.3.1.3. Cálculo de Parámetros Asociados a la Evaluación del Número Anual de Sucesos Peligrosos - Componentes de Riesgo N

3.3.1.3.1. Numero de Eventos Peligrosos para la Estructura o Edificio (N_D)

Este valor es calculado con la ecuación (3.19).

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} \quad (3.19)$$

Donde:

N_G = Densidad de descargas atmosféricas a tierra [rayo/km²/año].

A_D = Superficie de captación de la superficie aislada [m²].

C_D = Factor de localización de la estructura [adimensional], Tabla 3.7.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La densidad de descargas a tierra N_G , también es calculado con la ecuación (3.20).

$$N_G \approx 0.1 * T_D \quad (3.20)$$

Donde:

T_D = número de días de tormenta al año obtenido de los mapas isoceraunicos

La superficie de captación A_D , para estructuras simples como la mostrada en la Figura 3.4, se calcula con la ecuación (3.21).

$$A_D = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (3.21)$$

Donde:

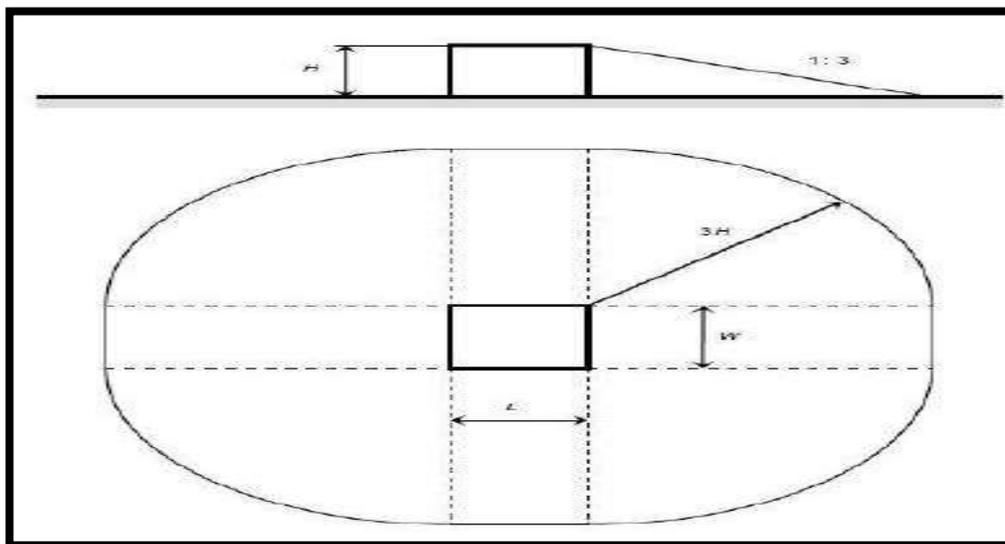
L = Longitud de la estructura [m].

W = Ancho de la estructura [m].

H = Altura de la estructura [m].

Figura 3.4

Calculo de la superficie de captación, L, W y H en metros



Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.7*Valores para el factor de localización de la estructura*

Situación relativa	C_D
Estructura rodeada por objetos más altos	0.25
Estructura rodeada por objetos de la misma altura o más pequeños	0.5
Estructura aislada: sin otros objetos en las proximidades	1
Estructura aislada en la parte superior de una colina o de un montículo	2

*Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)***3.3.1.3.2. Numero de Eventos Peligrosos para una Estructura Adyacente N_{DJ}**

Este parámetro se calcula con la ecuación (3.22).

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6} \quad (3.22)$$

Donde:

 N_G = Densidad de descargas atmosféricas a tierra [$\text{rayo}/\text{km}^2/\text{año}$]. A_{DJ} = Superficie de captación de la superficie adyacente aislada [m^2]. C_{DJ} = Factor de ubicación de la estructura adyacente [Adimensional], Tabla 3.7. C_T = Factor del tipo de instalación de la línea eléctrica [Adimensional], Tabla 3.8.La superficie de captación adyacente aislada (A_{DJ}), es calculado con la ecuación (3.23).

$$A_{DJ} = L_J * W_J + 2 * (3 * H_J) * (L_J + W_J) + \pi * (3 * H_J)^2 \quad (3.23)$$

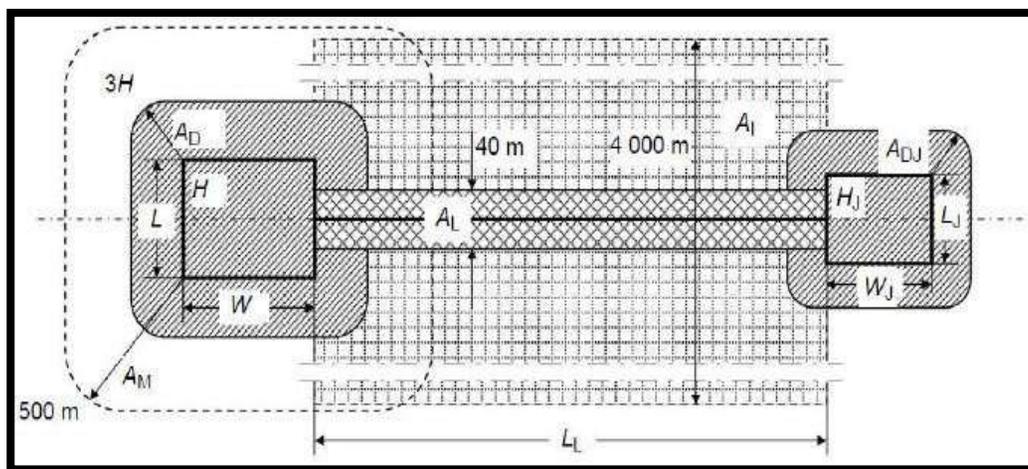
Donde:

 L_J = Longitud de la estructura adyacente[m]. W_J = Ancho de la estructura adyacente [m]. H_J = Altura de la estructura adyacente [m].

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 3.5

Calculo de la superficie de captación adyacente, L_J , W_J y H_J en metros



Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.8

Valores para el factor de tipo de línea

Tipo de Instalación	C_T
Línea de energía de BT, telecomunicaciones o de datos.	1
Línea de energía de AT (con transformador de AT/BT)	0.2

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.3.3. Valor Medio Anual del Número de Eventos Peligrosos por Descarga Cerca de una Estructura N_M

El valor N_M se calcula con la ecuación (3.24), donde A_M es la superficie de captación de descargas que impactan cerca de la estructura, extendiéndose a una distancia de 500 metros desde el perímetro de la estructura a proteger (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Su valor se determina con la ecuación (3.25).

$$N_M = N_G * A_M * 10^{-6} \quad (3.24)$$

$$A_M = 2 * 500 * (L + W) * \pi * 500^2 \quad (3.25)$$

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Donde:

N_G = Densidad de descargas atmosféricas a tierra [rayo/ km^2 /año].

A_M = Superficie de captación de impactos cerca de la estructura [m^2].

L = Longitud de la estructura [m].

W = Ancho de la estructura [m].

3.3.1.3.4. Valor Medio Anual del Numero de Eventos Peligrosos por Descargas en una Línea N_L

El valor de N_L , que representa el número de sobretensiones anuales en la línea de servicio que suministra a la estructura con amplitudes superiores a 1 kV, se calcula mediante la ecuación (3.26).

$$N_L = N_G * A_L * C_1 * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (3.26)$$

$$A_L = 40 * L_L \quad (3.27)$$

Donde:

N_G = Densidad de descargas atmosféricas a tierra [rayo/ km^2 /año].

A_L = Superficie de captación de descargas de la línea [m].

C_1 = Factor de instalación de la línea [adimensional], Tabla 3.9.

C_E = Factor del medio ambiente de la línea [adimensional], Tabla 3.10.

C_T = Factor del tipo de instalación de la línea eléctrica [Adimensional], Tabla 3.8.

L_L = Longitud de la línea de servicio [m], cuando se desconoce se asume 1000 m.

Tabla 3.9

Valores en función del tipo de instalación de la línea de suministro eléctrico

Tipo de línea eléctrica	C_1
Aérea	1

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

subterránea	0.5
Cables enterrados dentro de una terminación de tierra enmallada	0.01

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.10

Valores en función del medio ambiente de la línea de suministro eléctrico

Zona de instalación de la línea eléctrica	C _E
Rural	1
Suburbana	0.5
Urbana	0.1
Urbana con edificios mayores a 20 metros de alto	0.01

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.3.5. Valor Medio Anual del Número de Eventos Peligrosos por Descargas Cerca de una Línea N_I

El valor de N_I representa el número anual de impactos de rayos cerca de la línea de servicio que pueden inducir sobretensiones en una estructura, se calcula (3.28). Cuando una línea de servicio incluye distintas secciones (por ejemplo, áreas aéreas y subterráneas), cada sección debe ser evaluada de manera independiente para obtener su respectivo valor de N_I (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Esta evaluación permite una estimación más precisa del riesgo de sobretensiones en estructuras alimentadas por líneas de características mixtas.

$$N_I = N_G * A_1 * C_1 * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (3.28)$$

$$A_1 = 4000 * L_L \quad (3.29)$$

Donde:

N_G = Densidad de descargas atmosféricas a tierra [rayo/ km^2 /año].

A_1 = Superficie de captación de descargas cerca de una línea [m].

C_1 = Factor de instalación de la línea [adimensional], Tabla 3.9.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

C_E = Factor del medio ambiente de la línea [adimensional], Tabla 3.10.

C_T = Factor del tipo de instalación de la línea eléctrica [Adimensional], Tabla 3.8.

L_L = Longitud de la línea de servicio [m], cuando se desconoce se asume 1000 m.

3.3.1.4. Cálculo de Parámetros Asociados a la Probabilidad de Daños en una Estructura - Componentes de Riesgo P

3.3.1.4.1. Probabilidad que una Descarga en la Estructura Produzca Daños a los Seres Vivos por Choque Eléctrico P_A

El valor de la probabilidad de sufrir descargas eléctricas o daños debido a tensiones de toque y de paso se calcula mediante la ecuación (3.30).

$$P_A = P_{TA} * P_B \quad (3.30)$$

Donde:

P_{TA} = Factor debido a las medidas de protección adicionales contra tensión de toque y paso [adimensional], Tabla 3.11.

P_B = Factor en función del nivel de protección para reducir los daños físicos [adimensional], Tabla 3.12.

Tabla 3.11

Valores para medidas de protecciones adicionales contra las tensiones de toque y de paso

Medidas de protección	P_{TA}
Sin medidas de protección	1
Avisos de advertencia	10^{-1}
Aislamiento eléctrico de las partes expuestas	10^{-2}
Equipotencialización efectiva del terreno	10^{-2}
Restricciones físicas o estructuras del edificio utilizadas como sistemas de conductores de bajada	0

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.12

Valores de probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños físicos

Característica de la estructura	Niveles de protección	P_B
Estructura no protegida por un SPCDA	--	1
	IV	0.2
Estructura protegida por un SPCDA	III	0.1
	II	0.05
	I	0.02

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.4.2. Probabilidad que una Descarga en la Estructura Produzca Fallas en los Sistemas Internos P_C

El parámetro debido a las sobretensiones generadas por el impulso electromagnético del rayo, mide la probabilidad de que los sistemas internos sufran daños por las sobretensiones inducidas cuando un rayo impacta cerca de la estructura. Se calcula con la ecuación (3.31).

$$P_C = P_{DPS} * C_{LD} \quad (3.31)$$

Donde:

P_{DPS} = Factor en función a la protección contra sobretensiones [adimensional],

Tabla 3.13.

C_{LD} = Factor en función del apantallamiento, la puesta a tierra y las condiciones de aislamiento [adimensional], Tabla 3.14.

Tabla 3.13

Valores de probabilidad en función al nivel de protección contra sobretensiones transitorias

Protección	P_{DPS}
Sin protección coordinada de DPS	1

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Nivel III-IV	0.05
Nivel II	0.02
Nivel I	0.01

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.14

Factores que dependen del apantallamiento, la puesta a tierra y el aislamiento de la línea

Tipo de línea de suministro eléctrico	Conexión con el equipo	C_{LD}	C_{LI}
Línea aérea sin apantallamiento	Sin definir	1	1
Línea subterránea sin apantallamiento	Sin definir	1	1
Línea de energía con neutro conectado a tierra	Ninguna	1	0.2
Línea subterránea con apantallamiento	Apantallamiento no conectado a la misma barra equipotencial del equipo	1	0.3
Línea aérea con pantalla	Apantallamiento no conectado a la misma barra equipotencial del equipo	1	0.1
Línea subterránea con apantallamiento	Apantallamiento conectado a la misma barra equipotencial del equipo	1	0
Línea aérea con Apantallamiento	Apantallamiento conectado a la misma barra equipotencial del equipo	1	0
Cable de protección contra el rayo a la intemperie o en ductos	Apantallamiento conectado a la misma barra equipotencial del equipo	0	0
Ninguna Línea externa	Ninguna protección a las líneas externas	0	0

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.4.3. Probabilidad que una Descarga Cerca de una Estructura Produzca Fallas en los Sistemas Internos P_M

El valor de P_M se refiere a la probabilidad de que las sobretensiones inducidas afecten a la estructura debido a impactos en las líneas de servicio y se calcula con la ecuación (3.32). Cuando un edificio cuenta con transformadores de aislamiento con una pantalla conectada a tierra, se

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

asume que las sobretensiones no se propagarán hacia los sistemas internos del edificio a través de las líneas de servicio. En estos casos, se considera que el valor de P_M es igual a cero (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

$$P_M = P_{DPS} * (K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4})^2 \quad (3.32)$$

Donde:

P_{DPS} = Factor en función a la protección contra sobretensiones [adimensional],

Tabla 3.13.

$K_{S1} = 0,12 * W_{m1}$ = Eficacia del apantallamiento externo de la estructura [adimensional].

$K_{S2} = 0,12 * W_{m2}$ = Eficacia del apantallamiento interno de la estructura [adimensional].

K_{S3} = Factor por el tipo de cableado interno [adimensional], Tabla 3.15.

$K_{S4} = 1/U_{Impulso\ equipo}$ =Factor por el nivel de impulso que soporta los aparatos eléctricos [adimensional], Tabla 3.16.

En casos donde no se haya realizado la coordinación de los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS). El valor de P_M se determina mediante la ecuación (3.33):

$$P_M = (K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4})^2 \quad (3.33)$$

Los valores de K_{S1} y K_{S2} son factores de reducción por las mallas de apantallamiento en la parte externa e interna, respectivamente, y generalmente se asigna un valor de 10^{-4} para cada uno si existe apantallamiento adecuado. Estos factores tienen un valor máximo de 1 en caso de que no exista apantallamiento en la estructura (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

Los valores W_{m1} y W_{m2} son los anchos (en metros) de las mallas externas e internas, respectivamente, y contribuyen a la efectividad de los factores de reducción K_{S1} y K_{S2} , reduciendo

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

la probabilidad de que las sobretensiones afecten los sistemas internos del edificio (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

Tabla 3.15

Valores del factor K_{S3} los cuales se encuentran en función del cableado interno

Tipo de instalación interior del cable	K_{S3}
Sin apantallamiento - sin precauciones para evitar lazos	1.00
Sin apantallamiento - con precauciones para evitar grandes lazos	0.20
Sin apantallamiento - con precauciones para evitar lazos	0.01
Con pantalla e instalados en tuberías metálicas	0.001

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.16

Valores de tensión de soporte del equipamiento eléctrico conforme a la norma IEC 60364-4-44

		Tensión de Soporte (U_w) en el equipamiento eléctrico (kV)			
Sistema Trifásico (3 y 4 hilos)	Sistema Monofásico (3 hilos)	Equipamiento ubicado en el punto de acometida	Equipamiento ubicado en tableros principales y tableros de distribución	Equipos ubicados en tableros seccionales y circuitos finales de consumo	Equipos especialmente protegidos o equipos sensibles
		Categoría de la sobretensión			
		IV	III	II	I
-	120 - 240	4	2.5	1.5	0.8
230/400		6	4	2.5	1.5
400/690		8	6	4	2.5
1000		12	8	6	4

Fuente: (Alberto Medina , 2021)

3.3.1.4.4. Probabilidad que una Descarga en una Línea Produzca Daños a los Seres

Vivos por Choque Eléctrico P_U

Probabilidad de daños a los seres vivos que se encuentran dentro de la estructura, debido a tensiones de toque originadas por descargas en la línea de servicio que ingresan a la estructura (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). El valor de P_U se calcula con la ecuación (3.34).

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (3.34)$$

Donde:

P_{TU} = Factor en función de las medidas de protección contra las tensiones de toque [adimensional], Tabla 3.17.

P_{EB} = Factor en función de la conexión equipotencial y el nivel de protección contra sobretensiones [adimensional], Tabla 3.18.

P_{LD} = Factor en función de fallas en los sistemas internos, depende de las condiciones de apantallamiento y la tensión de impulso que soportada el equipo eléctrico [adimensional], Tabla 3.19.

C_{LD} = Factor que depende del apantallamiento, la puesta a tierra y las condiciones de aislamiento [adimensional], Tabla 3.14.

Tabla 3.17

Valores de la probabilidad que una descarga en una línea causara un choque eléctrico a los seres vivos debido a tensiones de toque peligrosas

Tipo de cableado interno	P_{TU}
Ninguna medida de protección	1
Avisos de advertencia	0.1
Aislamiento eléctrico	0.01

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Restricciones físicas	0
-----------------------	---

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.18

Valores de la probabilidad que está en función del nivel de protección en el que los dispositivos de sobretensión están diseñados

Nivel de protección contra el rayo	P_{EB}
Ningún DPS	1
Nivel III-IV	0.05
Nivel II	0.02
Nivel I	0.01

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.19

Valores de probabilidad de falla de los sistemas internos P_{LD}

Tipo de Línea	Condiciones de trazado, apantallamiento y conexión de la puesta a tierra	Tensión soportada UW en kV				
		1.0	1.5	2.5	4.0	6.0
	Línea aérea o enterrada, con o sin apantallamiento, no conectada a la misma barra equipotencial que el equipo.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Líneas de suministro de energía	Aérea o enterrada con apantallamiento conectada a la misma barra de conexión equipotencial que los equipos.					
	$5\Omega/\text{km} < R_s \leq 20\Omega/\text{km}$	1.0	1.0	0.95	0.9	0.8
	$1\Omega/\text{km} < R_s \leq 5\Omega/\text{km}$	0.9	0.8	0.6	0.3	0.1
	$R_s \leq 1\Omega/\text{km}$	0.6	0.4	0.2	0.04	0.02

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.4.5. Probabilidad que una Descarga en una Línea Produzca Daños Físicos P_V

El valor de P_V se calcula con la ecuación (3.35)

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (3.35)$$

Donde:

P_{EB} = Factor en función a la conexión equipotencial y el nivel de protección contra sobretensiones [adimensional], Tabla 3.18.

P_{LD} = Factor en función de fallas en los sistemas internos, depende de las condiciones de apantallamiento y la tensión de impulso que soporta el equipo eléctrico [adimensional], Tabla 3.19.

C_{LD} = Factor que depende del apantallamiento, la puesta a tierra y las condiciones de aislamiento [adimensional], Tabla 3.14.

3.3.1.4.6. Probabilidad que una Descarga en una Línea Produzca Fallas en los Sistemas Internos P_W

El valor de P_W se calcula con la ecuación (3.36).

$$P_W = P_{DPS} * P_{LD} * C_{LD} \quad (3.36)$$

Donde:

P_{DPS} = Factor en función a la protección contra sobretensiones [adimensional], Tabla 3.13.

P_{LD} = Factor en función de fallas en los sistemas internos, depende de las condiciones de apantallamiento y la tensión de impulso que soporta el equipo eléctrico [adimensional], Tabla 3.19.

C_{LD} = Factor que depende del apantallamiento, la puesta a tierra y las condiciones de aislamiento [adimensional], Tabla 3.14.

3.3.1.4.7. Probabilidad que una Descarga Cerca de una Línea Produzca Fallas en los Sistemas Internos P_Z

El valor de P_Z se calcula con la ecuación (3.37).

$$P_Z = P_{DPS} * P_{LI} * C_{LI} \quad (3.37)$$

Donde:

P_{DPS} = Probabilidad en función al nivel de protección contra sobretensiones [adimensional], Tabla 3.13.

P_{LI} = Probabilidad de falla de los sistemas internos debido a una descarga cerca de la línea [adimensional], Tabla 3.20.

C_{LI} = Factores que depende del apantallamiento, la puesta a tierra y las condiciones de aislamiento [adimensional], Tabla 3.14.

Tabla 3.20

Valores de probabilidad P_{LI} , depende del tipo de línea y de la tensión de impulso soportada del equipo a proteger

Tipo de línea	Tensión soportada U_W en kV				
	1	1.5	2.5	4	6
Líneas de energía	1	0.6	0.3	0.16	0.1
Líneas de telecomunicaciones	1	0.5	0.2	0.08	0.04

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.5. Cálculo de Parámetros Asociados a la Evaluación de la Magnitud de las Perdidas - Componentes L

Estos componentes cuantifican las diferentes formas de pérdida que una estructura o instalación puede experimentar como resultado de un impacto de rayo. Las componentes “L”,

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

varían con el tipo de pérdida considerada (L1, L2, L3, L4) y el tipo de daño que la produce (D1, D2, D3) (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015).

3.3.1.5.1. Pérdidas de Vidas Humanas (L1)

Este componente se refiere a la pérdida de vidas humanas debido a un impacto de rayo. Se puede calcular considerando el número de personas expuestas y la probabilidad de que una descarga atmosférica resulte fatal (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015). Este valor es calculado según el tipo de daño:

- Daños a los seres vivos por choque eléctrico (D1), se utiliza la ecuación (3.38).

$$L_A = L_U = \frac{r_t * L_T * n_Z}{n_t} * \frac{t_Z}{8760} \quad (3.38)$$

- Daños físicos (D2), se utiliza la ecuación (3.39)

$$L_B = L_V = \frac{r_p * r_f * h_Z * L_F * n_Z}{n_t} * \frac{t_Z}{8760} \quad (3.39)$$

- Daño en equipo eléctrico/electrónico (D3 fallas en sistemas internos), se utiliza la ecuación (3.40)

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O * n_Z}{n_t} * \frac{t_Z}{8760} \quad (3.40)$$

Donde:

L_T = promedio de víctimas por choque eléctrico (D1) [adimensional], Tabla 3.21.

L_F = promedio de víctimas por daño físico (D2) [adimensional], Tabla 3.21.

L_O = promedio de víctimas por falla de los sistemas internos (D3) [adimensional], Tabla 3.21.

r_t = Factor en función del tipo de suelo o piso [adimensional],

Tabla 3.22.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

r_p = Factor en función de las disposiciones tomadas para reducir las consecuencias del fuego [adimensional], Tabla 3.23.

r_f = Factor en función del riesgo de fuego o de explosión de la estructura [adimensional], Tabla 3.24.

h_z = Factor de aumento de las pérdidas debidas a los daños físicos en presencia de un peligro específico [adimensional].

n_z = Cantidad de personas en una parte específica del edificio [persona].

n_t = Número total de personas dentro del edificio [persona].

t_z = Duración de presencia de personas en la zona [hora por año].

Tabla 3.21

Valores medios de los tipos L_T , L_F y L_O – Tipo de perdida L1

Tipo de daño	Valor de perdida	Tipo de estructura
D1	L_T	10^{-2} Todos los tipos
		10^{-1} Riesgo de explosión
D2	L_F	10^{-1} Hospital, hotel, escuela, edificio cívico
		$5 \cdot 10^{-2}$ Entretenimiento público, iglesia, museo
		10^{-2} Industrial, comercial
		10^{-2} Otros
D3	L_O	10^{-1} Riesgo de explosión
		10^{-2} Unidad de cuidados intensivos, salas de operación de hospitales
		10^{-3} Otras partes del hospital

Fuente: (Norma Tecnica Peruana 62305-2, 2015)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 3.22

Factor de reducción r_t , se encuentra en función del tipo de superficie del suelo o piso

Superficie del piso	Resistencia de contacto $K\Omega$	r_t
Agrícola, concreto	≤ 1	10^{-2}
Mármol, cerámica	1 - 10	10^{-3}
Grava, moqueta, alfombras	10 - 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madera	≥ 100	10^{-5}

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.23

Factor de reducción r_p en función de las acciones para reducir las consecuencias del fuego

Provisiones	r_p
Ninguna provisión	1
Instalación de extinguidores fijos, alarmas, hidrantes, compartimientos contra el fuego operados manualmente.	0.5
Instalación de extinguidores fijos, alarmas, hidrantes con operación automática.	0.2

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.24

Factor de reducción r_f , en función del riesgo de fuego o explosión en la estructura

Riesgo	Magnitud del riesgo	r_f
Explosión	Zonas 0, 20 y explosivo sólido	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Fuego	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Bajo	10^{-3}
Explosión o fuego	Ninguno	0

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Tabla 3.25

Factor de aumento h_z , debido a pérdidas por la presencia de personas

Tipos de daños especiales	h_z
Sin daño especial	1
Nivel bajo de pánico (estructuras con número de personas menor a 100)	2
Nivel medio de pánico (estructuras destinadas a eventos de personas entre 100 y 1000)	5
Dificultad de evacuación (estructuras con personas invalidas, hospitales)	5
Nivel alto de pánico (estructuras destinadas a eventos de personas superior a 1000)	10

Fuente: (Norma Tecnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.5.2. *Perdidas Inaceptables de Servicio Público (L2)*

Este componente evalúa las pérdidas asociadas a la interrupción de servicios públicos, como electricidad, agua, y telecomunicaciones (Norma Tecnica Peruana 62305-2, 2015). Los valores son determinados con las ecuaciones (3.41) y (3.42).

$$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{n_z}{n_t} \quad (3.41)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * \frac{n_z}{n_t} \quad (3.42)$$

Donde:

L_F = promedio usuarios sin servicio por daños (D2) [adimensional], Tabla 3.26.

L_O = promedio usuarios sin servicio por falla de sistemas internos (D3)

[adimensional], **Tabla 3. 26.**

r_p = factor en función de las disposiciones tomadas para reducir las consecuencias del fuego [adimensional], Tabla 3.23.

r_f = factor en función del riesgo del fuego [adimensional], Tabla 3.24.

n_z = Cantidad de personas en una parte específica del edificio [persona].

n_t = Número total de personas dentro del edificio [persona].

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

t_z = Duración de presencia de personas en la zona [hora por año].

Tabla 3.26

Valores medios típicos de L_F y L_O – tipo de pérdida L2

Tipo de daño	Valor típico de pérdida	Tipo de servicio
Daño físico (D2)	L_F	10^{-1} Gas, agua, suministro de energía
		10^{-2} TV, líneas de telecomunicaciones
Fallas de sistemas internos (D3)	L_O	10^{-2} Gas, agua, suministro de energía
		10^{-3} TV, líneas de telecomunicaciones

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.5.3. Pérdidas de Patrimonio Cultural Irreemplazable (L3)

Este componente mide las pérdidas relacionadas con daños a patrimonio cultural o estructuras históricas. El valor es determinado con la ecuación (3.43).

$$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{c_z}{c_t} \quad (3.43)$$

Donde:

L_F = promedio de todos los bienes afectados por daño físico (D2)

[adimensional],

Tabla 3.27.

r_p = factor en función de las disposiciones tomadas para reducir las consecuencias del fuego [adimensional], Tabla 3.23.

r_f = factor en función del riesgo de fuego [adimensional], Tabla 3.24.

c_z = valor del patrimonio cultural en la zona.

c_t = valor del total del edificio y el contenido de la estructura.

Tabla 3.27

Valores medios típicos de L_F – tipo de pérdida L3

Tipo de daño	Valor típico de pérdida		Tipo de estructura
Daño físico (D2)	L_F	10^{-1}	Museos, galerías

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.1.5.4. Pérdidas Económicas (L4)

Este componente abarca las pérdidas económicas generales, que pueden incluir daños a equipos, costos de reparación y otros gastos relacionados. Las pérdidas económicas son determinados según el tipo de daño:

- Daños a los seres vivos por choque eléctrico (D1), se utiliza la ecuación (3.44).

$$L_A = L_U = r_t * L_T * \frac{c_a}{c_t} \quad (3.44)$$

- Daños físicos, se utiliza la ecuación (3.45).

$$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{(c_a + c_b + c_c + c_s)}{c_t} \quad (3.45)$$

- Daño en equipo eléctrico/electrónico (fallas en sistemas internos), se utiliza la ecuación (3.46).

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * \frac{c_s}{c_t} \quad (3.46)$$

Donde:

L_T = Valor medio de todos los bienes dañados por choque eléctrico (D1)

[adimensional], Tabla 3.28.

L_F = Valor medio de todos los bienes dañados por daño físico (D2) [adimensional],

Tabla 3.28.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

L_O = Valor medio de bienes dañados por falla de sistemas internos (D3).

[adimensional], Tabla 3.28.

r_t = Factor en función del tipo de suelo o piso [adimensional],

Tabla 3.22.

r_p = Factor en función de las disposiciones tomadas para reducir las consecuencias

del fuego [adimensional], Tabla 3.23.

r_f = Factor en función del riesgo de fuego o de explosión de la estructura

[adimensional], Tabla 3.24.

c_a = Valor de los animales ubicados en el edificio.

c_b = Valor del total del edificio.

c_c = Valor del contenido del edificio.

c_s = Valor de los sistemas internos incluyendo sus actividades en la zona.

c_t = Valor del total del edificio y el contenido de la estructura.

Tabla 3.28

Valores medios de los tipos L_T , L_F , L_O – tipo de perdida $L4$

Tipo de daño	Valor típico de perdida		Tipo de servicio
Heridas debido al choque (D1)	L_T	10^{-2}	Todos los tipos donde solo hay animales
		1	Riesgo de explosión
Daños físicos (D2)	L_F	0.5	Hospitales, industrias, museos, agrícola
		0.2	Hotel, escuela, oficina, iglesia, entretenimiento público, comercial
		10^{-1}	Otros
Fallas de los sistemas internos	L_O	10^{-1}	Riesgo de explosión
		10^{-2}	Hospital, industrial, oficinas, hotel, comercial

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

(D3)	10^{-3}	Museo, agrícola, escuela, iglesia, entretenimiento público
	10^{-4}	Otros

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

3.3.2. Verificación del Grado de Requerimiento del SPCDA según NTP IEC-62305

Para evaluar la necesidad de protección contra el rayo en una estructura siguiendo los riesgos R1, R2, R3, R4, se deben seguir los siguientes pasos:

- Identificar las componentes que constituye cada riesgo.
- Calcular las componentes identificadas del riesgo.
- Realizar el cálculo total del riesgo ($R=R1+R2+R3+R4$).
- Comparar los valores del riesgo total R, con el riesgo tolerable RT de la Tabla 3.29.

Tabla 3.29

Valores típicos de riesgo tolerable para el análisis de requerimiento de SPCDA

Tipos de pérdidas	R_T
Perdida de vida humana o daños permanentes	10^{-5}
Perdida de servicio público	10^{-3}
Perdida de patrimonio cultural	10^{-4}
Pérdida económica	10^{-3}

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

Se deberá comparar lo siguiente:

- Si $R \leq R_T$, el SPCDA es de aplicación opcional con grado de protección bajo.
- Si $R > R_T$, se deben tomar medidas de protección para reducir el valor del riesgo.

Capítulo IV: Diagnostico y Diseño del Sistema de Protección Contra Descargas

Atmosféricas del Hospital Andahuaylas

4.1. Introducción

Debido a que el expediente del Hospital de Andahuaylas no considera la estimación del riesgo ante descargas atmosféricas, en el presente capítulo se realiza la valoración del riesgo inicial y se proponen las medidas necesarias para reducir el riesgo calculado a valores tolerables.

Esta propuesta se basa en los parámetros del rayo con un 95% de probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con los resultados obtenidos del Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE).

Posterior al cálculo y estimación del riesgo final, se desarrollará el diseño de protección contra descargas atmosféricas, considerando los criterios de la norma NTP IEC-62305. Cabe señalar que el Código Nacional de Electricidad – Utilización y otras normas nacionales no contemplan un análisis detallado para la estimación del riesgo ante descargas atmosféricas.

4.2. Área de Construcción y Suministro Eléctrico del Hospital de Andahuaylas

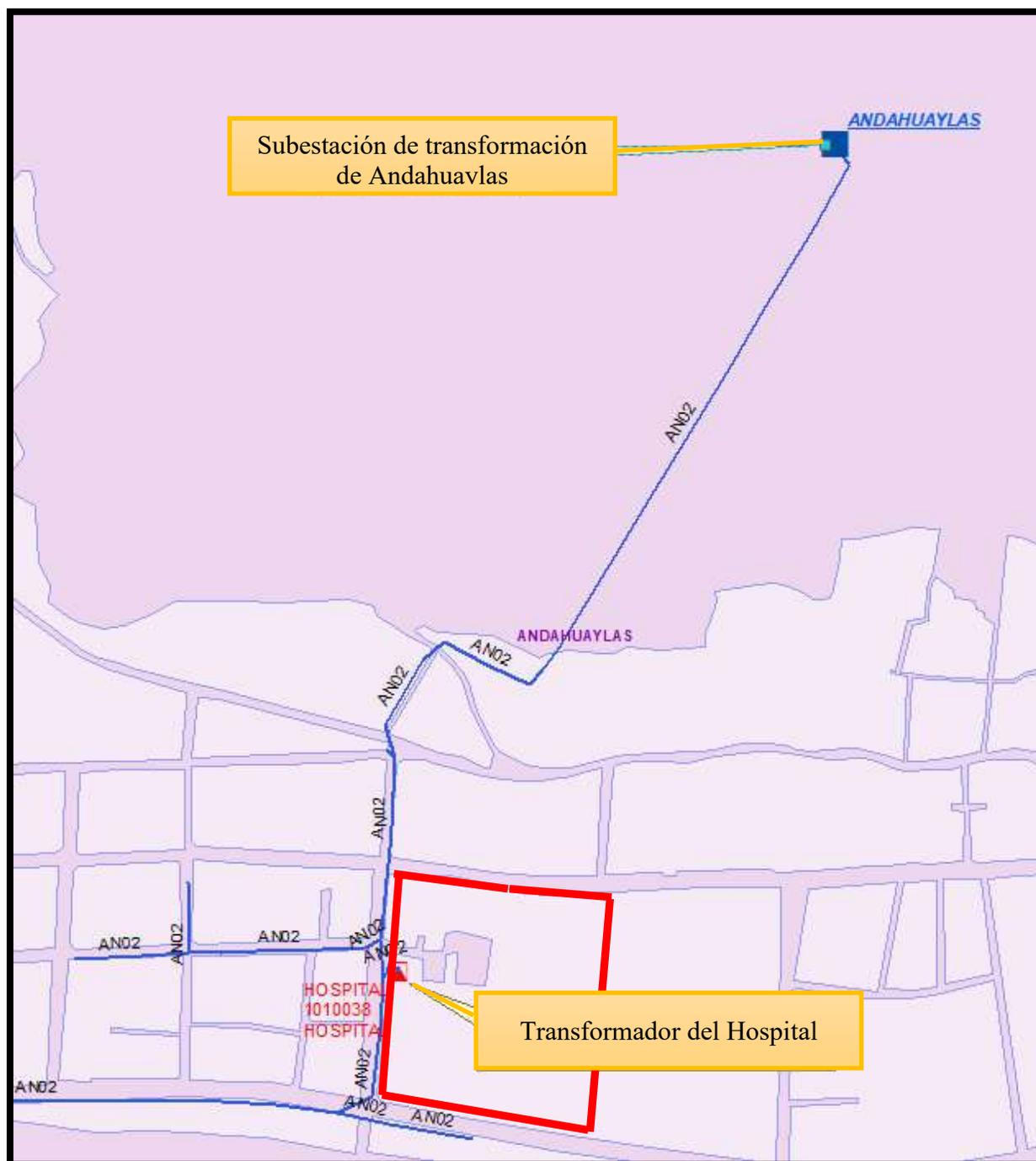
El Hospital de Andahuaylas, de acuerdo con el expediente técnico, cuenta con un área de terreno de 27,140 m². Las dimensiones de los bloques se detallan en la Tabla 4.1.

El suministro de energía eléctrica al hospital se realiza con un conductor de aluminio AAAC-3x70 mm² sin apantallamiento, en un sistema trifásico con un nivel de tensión de 13,200 voltios y una longitud de 980 metros, desde la subestación de transformación de Andahuaylas hasta el punto de medición (PMI) del hospital. El trayecto de la línea de suministro se muestra en la Figura 4.1.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 4.1

Vista en planta de las redes de media tensión que suministra energía al Hospital de Andahuaylas

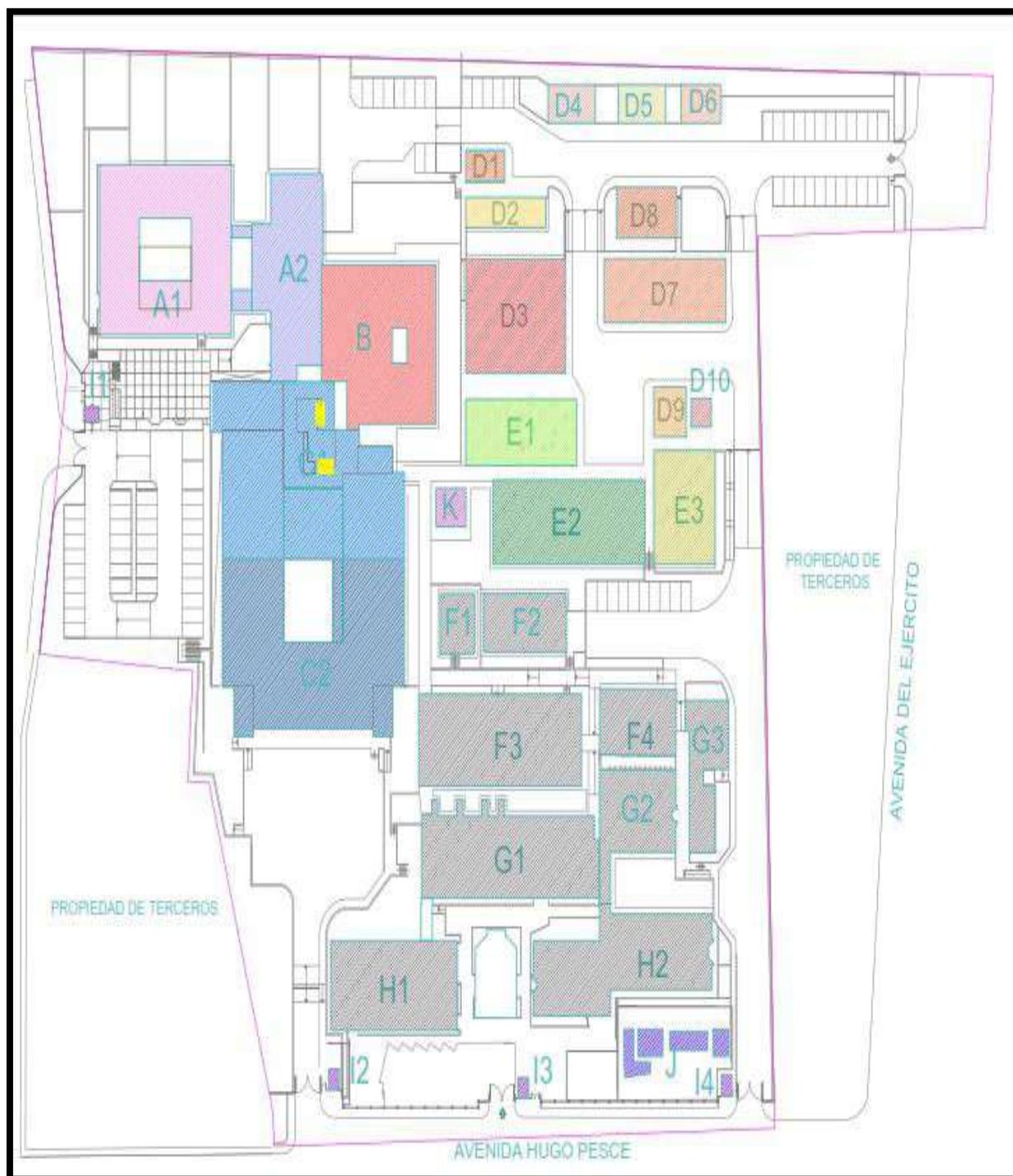


Fuente: Sistema georreferenciado ELSE

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 4.2

Vista en planta de la infraestructura del Hospital de Andahuaylas



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.2.1. Consideraciones para el Análisis de Riesgo Contra Descargas Atmosféricas

Para realizar el análisis de riesgo, se tomaron las siguientes consideraciones:

- El análisis de riesgo se realizó de acuerdo con lo indicado en la Norma NTP IEC-62305-2.
- Los parámetros del rayo considerados son del 95% de probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE).
- El valor de la densidad de descargas a tierra N_G es el proporcionado por OSINERGMIN.
- Para la seguridad y previsión ante siniestros, el aforo máximo está calculado de acuerdo con el Artículo 3.1 - Requisitos de Seguridad del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Para la protección y diseño del sistema contra incendios, se consideró que el hospital cumple con lo señalado en la tabla 4 del ítem 6.2.3.9 de la Norma Técnica de Salud N° 110-MINSA/DGIEM-V.01.
- En el cálculo de parámetros, debido al impacto directo o cercano de la línea de suministro, solo se consideró la distancia desde la subestación de transformación de Andahuaylas hasta el punto de medición (PMI) del hospital.
- La estimación del riesgo inicial y la posterior propuesta se realizaron para cada bloque que constituye el hospital, tanto para la construcción nueva como para la remodelación.
- Los acabados de los pisos son de material porcelanato antideslizante, y su resistencia será del tipo III y IV de acuerdo con el tránsito de personas en cada bloque, como indica el ítem 6.2.1.13 de la Norma Técnica de Salud N° 110-MINSA/DGIEM-V.01.
- Se considera que los equipos médicos (eléctricos) están diseñados para soportar sobretensiones mínimas de 2 kV, en concordancia con lo indicado en la "Guía sobre inmunidad electromagnética para todos los equipos médicos" de la norma IEC 60601-1-2.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 4.1*Dimensiones de los ambientes que constituye el Hospital de Andahuaylas*

SECTOR	SUB SECTOR	NIVEL	AMBIENTE	LARGO [m]	ANCHO [m]	ALTURA [m]
A	A-1	1er piso	Consulta externa	30	33	8.8
	A-2	1er piso	Admisión	18.1	35.8	10.81
B	B	1er piso	Imágenes	27.52	28.1	11.4
		2do piso	Procedimientos			
C	C	1er piso	Farmacia, emergencias	44.7	59.45	26.85
		2do piso	Hospitalización, Obstetricia - Ginecología y Pediatría			
		3er piso	Hospitalización, Cirugía, Traumatología y medicina			
		4to piso	UCI neonatal, centro obstétrico y central de esterilización			
		5to piso	Uci general, centro quirúrgico			
		Azotea	cuarto de maquinas			
D	D-1	1er piso	Central de oxígeno	10.15	6.2	5.19
	D-2	1er piso	central de gases	20	6.3	5.19
	D-3	1er piso	cisternas calentadoras	24.9	19.95	6.76
	D-4	1er piso	tanque de petróleo	11.85	7.4	5.19
	D-5	1er piso	tanque de gas	11.85	7.4	5.19
	D-6	1er piso	grupo electrógeno	11.85	7.4	5.19
	D-7	1er piso	talleres	9.95	7.4	6.15
	D-8	1er piso	residuos solidos	30.3	12	5.69
	D-9	1er piso	vestidores	15.45	9.85	6.92
	D-10	1er piso	inflamables	8.85	9.6	5.16
E	E-1	1er piso	Lavandería	29.5	11.4	5.5
	E-2	1er piso	Comedor Cocina	37.5	14.7	5.5
	E-3	1er piso	Almacén general	15.8	20.5	6
F	F-1	1er piso	biblioteca	10.4	12.2	4.68
	F-2	1er piso	docencia	21.3	12.2	4.15
	F-3	1er piso	Banco de sangre	39.9	17.5	7.63
		2do piso	laboratorio clínico			
	F-4	1er piso	anatomía patológica	19.3	12.2	6.82
2do piso		anatomía patológica				
G	G-1	1er piso	medicina física	43.5	16.2	3.67
	G-2	1er piso	residencia medica	19.3	16.4	3.31
	G-3	1er piso	programas	12.7	26.9	3.43
H	H-1	1er piso	Sala de uso múltiple - cafetería	32.3	17.5	4.73
	H-2	1er piso	Dirección - Administración	44.4	17.5	4.41
I	I-1, I-2, I-3, I-4	1er piso	Casetas de ingreso y vigilancia			
J	J	1er piso	Planta de tratamiento de aguas servidas			
K	K1	1er piso	Tableros generales	8.35	8.3	5.45
	K2		Subestación/transformador	18.9	6.5	5.45

Fuente: Expediente técnico

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.3. Estimación del Riesgo Inicial Aplicando la Norma NFPA 780

4.3.1. Frecuencia Anual de Impactos de Rayos Esperados en la Estructura (N_d)

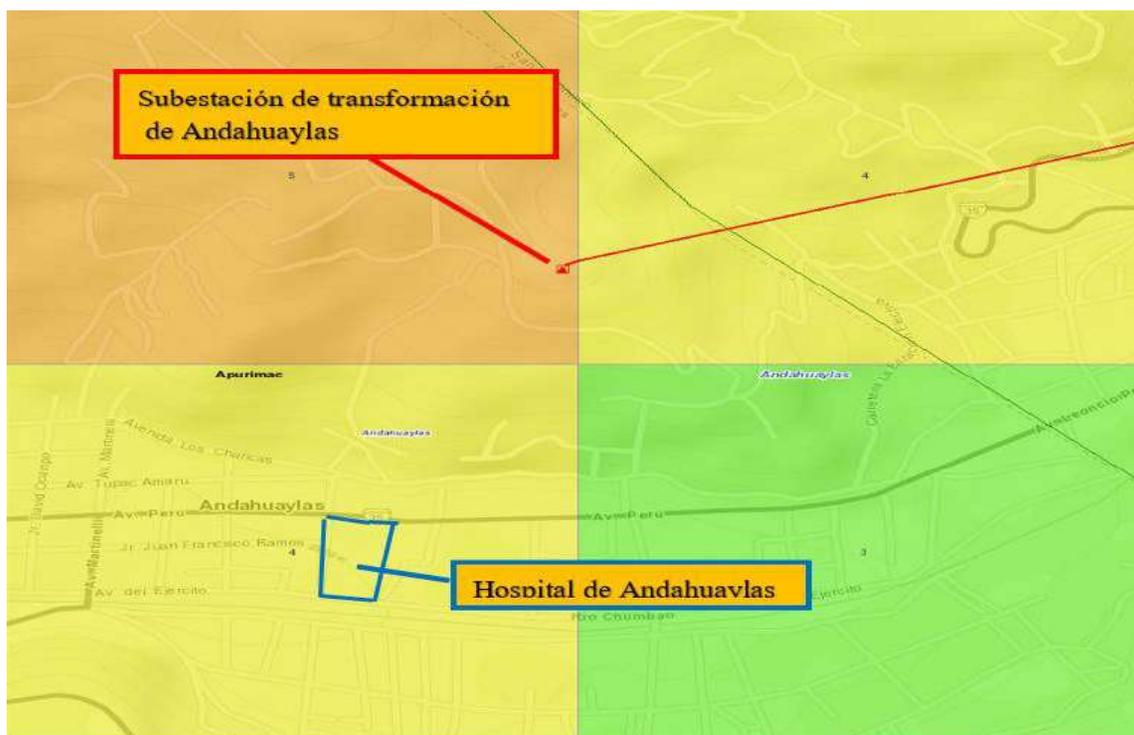
Para el cálculo de la frecuencia anual de descargas atmosféricas esperadas en las estructuras del hospital, se utilizó la ecuación (3.5).

$$N_d = N_g * A_e * C_1 * 10^{-6} \left[\frac{\text{Descargas directas}}{\text{año}} \right]$$

La densidad N_g se obtuvo del mapa cerámico del Perú, publicado en la página web de OSINERGMIN, como se muestra en la Figura 4.3.

Figura 4.3

Mapa cerámico del sector de Andahuaylas, con el número total de rayos por km²/año



Fuente: Pagina de OSINERGMIN (https://gisem.osinergmin.gob.pe/Descargas_Atmosfericas/)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A partir de la figura anterior, se concluye que la densidad cerámica en el sector donde se ubica el Hospital de Andahuaylas se encuentra entre los valores de 3, 4 y 5 rayos/km²/año. Para el presente estudio, se toma la densidad cerámica máxima, cuyo valor es:

$$N_g = 5 \text{ rayos/km}^2/\text{año}$$

Para el cálculo del área de captación equivalente (A_e), se utilizó el método analítico, aplicando la ecuación (3.3) y el coeficiente ambiental C_1 de la Tabla 3.1. Con estos valores, se estima la frecuencia anual de impactos (N_d), cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.2

Tabla 4.2

Cálculo de la frecuencia anual de impactos, según norma NFPA 780

Bloque	Densidad cerámica N_g [rayos/km ² /año]	Dimensión de los bloques del Hospital de Andahuaylas – Apurímac [metros]			Área de captación A_e [metro ²]	Coeficiente ambiental C_1	Frecuencia Anual de impactos N_d [descargas/año]
		L	W	H			
		(Largo)	(Ancho)	(Altura)			
A1	5	30.05	32.7	8.75	6441.77	0.25	0.0080522
A2	5	18.1	35.8	10.81	7447.97	0.25	0.0093100
B	5	27.52	28.1	11.4	8252.26	0.25	0.0103153
C	5	44.7	59.45	26.85	39819.63	0.50	0.0995491
D1	5	10.15	6.2	5.19	1333.67	0.25	0.0016671
D2	5	20	6.3	5.19	1706.58	0.25	0.0021332
D3	5	24.9	19.95	6.76	3607.94	0.25	0.0045099
D4	5	11.85	7.4	5.19	1448.74	0.25	0.0018109
D5	5	11.85	7.4	5.19	1448.74	0.25	0.0018109
D6	5	9.95	7.4	6.15	1783.25	0.25	0.0022291
D7	5	30.3	12	5.69	2723.14	0.25	0.0034039
D8	5	15.45	9.85	6.92	2556.60	0.25	0.0031957
D9	5	8.85	9.6	5.16	1408.99	0.25	0.0017612
D10	5	4.75	4.8	3.25	507.67	0.25	0.0006346
E1	5	29.5	11.4	5.5	2541.30	0.25	0.0031766

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

E2	5	37.5	14.7	5.5	3129.15	0.25	0.0039114
E3	5	15.8	20.5	6	2648.58	0.25	0.0033107
F1	5	10.4	12.2	4.68	1380.77	0.25	0.0017260
F2	5	21.3	12.2	4.15	1580.97	0.25	0.0019762
F3	5	39.9	17.5	7.63	4972.07	0.25	0.0062151
F4	5	19.3	12.2	6.82	2839.55	0.25	0.0035494
G1	5	43.5	16.2	3.67	2400.12	0.25	0.0030001
G2	5	19.3	16.4	3.31	1335.30	0.25	0.0016691
G3	5	12.7	26.9	3.43	1489.24	0.25	0.0018616
H1	5	32.3	17.5	4.73	2611.15	0.25	0.0032639
H2	5	44.4	17.5	4.41	2964.76	0.25	0.0037059
I1	5	2.91	4.0784	3.41	483.63	0.25	0.0006045
I2	5	2.91	4.0784	3.41	483.63	0.25	0.0006045
I3	5	2.91	4.0784	3.41	483.63	0.25	0.0006045
I4	5	2.91	4.0784	3.41	483.63	0.25	0.0006045
K1	5	18.9	6.5	5.45	1793.25	0.25	0.0022416
K2	5	8.35	8.3	5.45	1453.58	0.25	0.0018170

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Frecuencia Anual de Impactos de Rayos Tolerables en una Estructura (N_c)

Para el cálculo de la frecuencia anual de descargas atmosféricas tolerables (N_c) de la estructura del hospital, se utiliza la ecuación (3.6), que se muestra a continuación:

$$N_c = \frac{1.5 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5}$$

donde los coeficientes C_2, C_3, C_4, C_5 se seleccionan de las Tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 respectivamente, de acuerdo con la norma NFPA-780 (NFPA-780, 2008).

En la Tabla 4.3 se muestran los valores calculados de la frecuencia anual de descargas atmosféricas tolerables.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 4.3*Cálculo de la frecuencia anual de impactos según enfoque NFPA 780*

Bloque	Coficiente estructural C_2	Coficiente de almacenamiento C_3	Coficiente de ocupación C_4	Coficiente de consecuencia de los rayos C_5	Frecuencia Anual de impactos tolerable N_c [descargas/año]
A1	1.00	3.00	1.00	5.00	0.0001000
A2	1.00	3.00	1.00	5.00	0.0001000
B	1.00	3.00	1.00	5.00	0.0001000
C	1.00	4.00	3.00	5.00	0.0000250
D1	1.00	0.50	0.50	5.00	0.0012000
D2	1.00	2.00	0.50	5.00	0.0003000
D3	1.00	1.00	0.50	5.00	0.0006000
D4	1.00	3.00	0.50	1.00	0.0010000
D5	1.00	3.00	0.50	1.00	0.0010000
D6	1.00	3.00	0.50	5.00	0.0002000
D7	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0015000
D8	1.00	0.50	0.50	1.00	0.0060000
D9	1.00	0.50	0.50	1.00	0.0060000
D10	1.00	3.00	0.50	1.00	0.0010000
E1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0015000
E2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0015000
E3	1.00	0.50	1.00	1.00	0.0030000
F1	1.00	0.50	1.00	1.00	0.0030000
F2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0015000
F3	1.00	3.00	1.00	5.00	0.0001000
F4	1.00	3.00	1.00	5.00	0.0001000
G1	1.00	3.00	1.00	5.00	0.0001000
G2	1.00	1.00	1.00	5.00	0.0003000
G3	1.00	1.00	1.00	5.00	0.0003000
H1	1.00	1.00	1.00	5.00	0.0003000
H2	1.00	1.00	1.00	5.00	0.0003000
I1	1.00	0.50	1.00	1.00	0.0030000
I2	1.00	0.50	1.00	1.00	0.0030000
I3	1.00	0.50	1.00	1.00	0.0030000
I4	1.00	0.50	1.00	1.00	0.0030000
K1	1.00	3.00	0.50	5.00	0.0002000
K2	1.00	1.00	0.50	5.00	0.0006000

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.3.3. Evaluación de Requerimiento del SPCDA Bajo Enfoque NFPA 780

En la *Tabla 4.4* se muestra la evaluación del requerimiento del sistema de protección, realizando la comparación de los valores N_c y N_d de los 32 bloques del Hospital de Andahuaylas.

Se observa lo siguiente:

- De los 32 bloques en los que se realizó la estimación de riesgo, 24 bloques (75%) superan el valor tolerable, por lo cual requieren la instalación de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPCDA).
- La estructura que presenta el mayor riesgo ante una descarga atmosférica es el bloque C, con un valor de 3,981.96 veces por encima del valor tolerable.

Tabla 4.4

Evaluación de riesgo del Hospital de Andahuaylas según enfoque NFPA 780

Bloque	Frecuencia Anual de impactos N_d [descargas/año]	Frecuencia Anual de impactos tolerable N_c [descargas/año]	Riesgo N_d/N_c
A1	80.52×10^{-4}	1.00×10^{-4}	80.52
A2	93.10×10^{-4}	1.00×10^{-4}	93.10
B	103.15×10^{-4}	1.00×10^{-4}	103.15
C	995.49×10^{-4}	0.25×10^{-4}	3981.96
D1	16.67×10^{-4}	12.00×10^{-4}	1.39
D2	21.33×10^{-4}	3.00×10^{-4}	7.11
D3	45.10×10^{-4}	6.00×10^{-4}	7.52
D4	18.11×10^{-4}	10.00×10^{-4}	1.81
D5	18.11×10^{-4}	10.00×10^{-4}	1.81
D6	22.29×10^{-4}	2.00×10^{-4}	11.15
D7	34.04×10^{-4}	15.00×10^{-4}	2.27
D8	31.96×10^{-4}	60.00×10^{-4}	0.53
D9	17.61×10^{-4}	60.00×10^{-4}	0.29
D10	6.35×10^{-4}	10.00×10^{-4}	0.63
E1	31.77×10^{-4}	15.00×10^{-4}	2.12
E2	39.11×10^{-4}	15.00×10^{-4}	2.61
E3	33.11×10^{-4}	30.00×10^{-4}	1.10
F1	17.26×10^{-4}	30.00×10^{-4}	0.58
F2	19.76×10^{-4}	15.00×10^{-4}	1.32

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

F3	62.15×10^{-4}	1.00×10^{-4}	62.15
F4	35.49×10^{-4}	1.00×10^{-4}	35.49
G1	30.00×10^{-4}	1.00×10^{-4}	30.00
G2	16.69×10^{-4}	3.00×10^{-4}	5.56
G3	18.62×10^{-4}	3.00×10^{-4}	6.21
H1	32.64×10^{-4}	3.00×10^{-4}	10.88
H2	37.06×10^{-4}	3.00×10^{-4}	12.35
I1	6.05×10^{-4}	30.00×10^{-4}	0.20
I2	6.05×10^{-4}	30.00×10^{-4}	0.20
I3	6.05×10^{-4}	30.00×10^{-4}	0.20
I4	6.05×10^{-4}	30.00×10^{-4}	0.20
K1	22.42×10^{-4}	2.00×10^{-4}	11.21
K2	18.17×10^{-4}	6.00×10^{-4}	3.03

Fuente: *Elaboración propia*

4.4. Estimación del Riesgo Inicial Aplicando la Norma NTP IEC-62305

El procedimiento para la estimación del riesgo inicial, de acuerdo con la norma IEC-62305-2, considera el impacto directo e indirecto de una descarga eléctrica tanto en la estructura como en la línea de servicio. Además, debido a la gran cantidad de datos y cálculos necesarios, todo el procedimiento de estimación y valoración del riesgo ante descargas atmosféricas se realizó con ayuda del programa Microsoft Office Excel 2019.

Tabla 4.5

Parámetros para el cálculo de las componentes de riesgo

Daño	Fuente de daño			
	S1 Descarga en la estructura	S2 Descarga cerca de la estructura	S3 Descarga en un servicio entrante	S4 Descarga cercada de un servicio
D1 Daños a seres vivos	$R_A = N_D * P_A * L_A$	-	$R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U$	-
D2 Daños Físicos	$R_B = N_D * P_B * L_B$	-	$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V$	-
D3 Fallas en sistemas eléctricos	$R_C = N_D * P_C * L_C$	$R_M = N_M * P_M * L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W$	$R_Z = N_I * P_Z * L_Z$

Fuente: *(Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)*

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

En el Anexo 02 se muestra todo el procedimiento para la estimación del riesgo del bloque C. De la misma forma, se realizó la estimación del riesgo para todos los bloques que constituyen el Hospital de Andahuaylas.

4.4.1. Cálculo de los Componentes de Riesgo Ante Pérdidas de Vidas Humanas

Los valores calculados se muestran en la Tabla 4.6, donde se observa que la componente de riesgo R_M , relacionada con las fallas de los sistemas internos causadas por impulsos electromagnéticos del rayo, presenta valores altos, a los cuales se debe dar mayor prioridad.

Tabla 4.6

Cálculo de componentes de riesgo inicial ante pérdida de vidas humanas

BLOQUE	COMPONENTES DE RIESGO (R_X) ANTE PERDIDAS DE VIDAS HUMANAS ($\times 10^{-5}$)							
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
BLOQUE A1	0.0040	0.1610	0.4026	94.2389	0.0024	0.0962	0.2404	1.7947
BLOQUE A2	0.0047	0.1862	0.4655	93.2556	0.0024	0.0948	0.2371	1.7545
BLOQUE B	0.0052	0.2063	0.5158	93.4467	0.0024	0.0942	0.2354	1.7347
BLOQUE C	0.0665	6.6506	36.7679	730.1122	0.0014	0.1440	0.7960	1.4989
BLOQUE D1	0.0042	0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D2	0.0027	0.0005	0.0267	8.1170	0.0051	0.0010	0.0514	0.1721
BLOQUE D3	0.0056	0.0113	0.0564	8.3025	0.0049	0.0097	0.0485	0.1548
BLOQUE D4	0.0023	0.0453	2.2637	804.6500	0.0061	0.1226	6.1316	23.1623
BLOQUE D5	0.0023	0.0453	2.2637	804.6500	0.0061	0.1226	6.1316	23.1623
BLOQUE D6	0.0023	0.0453	2.2637	804.6500	0.0061	0.1226	6.1316	23.1623
BLOQUE D7	0.0208	0.0415	0.2075	33.1080	0.0225	0.0450	0.2248	0.8037
BLOQUE D8	0.0040	0.0081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D9	0.0040	0.0081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D10	0.0040	0.0081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE E1	0.0011	0.0212	0.1059	22.0347	0.0013	0.0252	0.1261	0.3934
BLOQUE E2	0.0013	0.0522	0.1304	22.3360	0.0013	0.0537	0.1341	0.4414
BLOQUE E3	0.0011	0.0441	0.1104	21.9120	0.0014	0.0557	0.1393	0.4725
BLOQUE F1	0.0006	0.0012	0.0575	21.5467	0.0013	0.0027	0.1334	0.4370
BLOQUE F2	0.0007	0.0263	0.0659	60.6593	0.0014	0.0558	0.1394	0.9458
BLOQUE F3	0.0031	0.1243	0.3108	93.6444	0.0022	0.0890	0.2225	1.5797
BLOQUE F4	0.0012	0.0024	0.1183	21.7840	0.0017	0.0034	0.1712	0.6640
BLOQUE G1	0.0010	0.0400	0.1000	62.6000	0.0015	0.0610	0.1525	1.1033
BLOQUE G2	0.0006	0.0223	0.0556	60.8222	0.0016	0.0656	0.1640	1.2415

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

BLOQUE G3	0.0006	0.0124	0.0621	61.1111	0.0017	0.0337	0.1687	1.2974
BLOQUE H1	0.0011	0.0435	0.1088	22.2720	0.0015	0.0608	0.1519	0.5479
BLOQUE H2	0.0012	0.0494	0.1235	62.7630	0.0017	0.0669	0.1673	1.2806
BLOQUE I1	0.0060	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I2	0.0060	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I3	0.0060	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I4	0.0060	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE K1	0.0019	0.0187	0.0187	0.9384	0.0196	0.1958	0.1958	0.3267
BLOQUE K2	0.0015	0.0151	0.0151	2.0887	0.0030	0.0299	0.0299	0.1800

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Componentes de Riesgo ante Pérdidas Inaceptables de Servicio Público

Los valores calculados se muestran en la Tabla 4.7, donde se observa que la componente de riesgo R_M , correspondiente a las fallas de los sistemas internos debido a impulsos electromagnéticos del rayo, presenta valores altos. Por lo tanto, se deduce que, para reducir el riesgo total a niveles tolerables, es necesario disminuir el valor de la componente R_M .

Tabla 4.7

Cálculo de componentes de riesgo ante pérdidas inaceptables de servicio público

COMPONENTES DE RIESGO (R_X) PERDIDAS INACEPTABLES DE SERVICIO PÚBLICO ($\times 10^{-3}$)						
BLOQUE	R_B	R_C	R_M	R_V	R_W	R_Z
BLOQUE A1	0.0016	0.0805	18.8478	0.0010	0.0481	0.3589
BLOQUE A2	0.0019	0.0931	18.6511	0.0009	0.0474	0.3509
BLOQUE B	0.0021	0.1032	18.6893	0.0009	0.0471	0.3469
BLOQUE C	0.0148	0.7398	14.6900	0.0003	0.0160	0.0302
BLOQUE D1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D2	0.0000	0.0213	6.4936	0.0001	0.0411	0.1376
BLOQUE D3	0.0009	0.0451	6.6420	0.0008	0.0388	0.1238
BLOQUE D4	0.0036	0.0181	6.4372	0.0098	0.0491	0.1853
BLOQUE D5	0.0036	0.0181	6.4372	0.0098	0.0491	0.1853
BLOQUE D6	0.0036	0.0181	6.4372	0.0098	0.0491	0.1853
BLOQUE D7	0.0008	0.0415	6.6216	0.0009	0.0450	0.1607
BLOQUE D8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE E1	0.0006	0.0318	6.6104	0.0008	0.0378	0.1180

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

BLOQUE E2	0.0008	0.0391	6.7008	0.0008	0.0402	0.1324
BLOQUE E3	0.0007	0.0331	6.5736	0.0008	0.0418	0.1417
BLOQUE F1	0.0000	0.0173	6.4640	0.0001	0.0400	0.1311
BLOQUE F2	0.0004	0.0198	18.1978	0.0008	0.0418	0.2837
BLOQUE F3	0.0012	0.0622	18.7289	0.0009	0.0445	0.3159
BLOQUE F4	0.0001	0.0355	6.5352	0.0001	0.0514	0.1992
BLOQUE G1	0.0006	0.0300	18.7800	0.0009	0.0458	0.3310
BLOQUE G2	0.0003	0.0167	18.2467	0.0010	0.0492	0.3724
BLOQUE G3	0.0004	0.0186	18.3333	0.0010	0.0506	0.3892
BLOQUE H1	0.0007	0.0326	6.6816	0.0009	0.0456	0.1644
BLOQUE H2	0.0007	0.0371	18.8289	0.0010	0.0502	0.3842
BLOQUE I1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE K1	0.0022	0.0224	1.1261	0.0235	0.2349	0.3920
BLOQUE K2	0.0018	0.0182	2.5064	0.0036	0.0359	0.2160

Fuente: Elaboración Propia

4.4.3. Evaluación del Requerimiento del SPCDA, Bajo enfoque NTP IEC-62305

En las Tablas 4.8 y 4.9 se muestra la evaluación de riesgo de los 32 bloques del Hospital de Andahuaylas, donde se pueden observar las siguientes conclusiones:

- De los 32 bloques en los que se realizó la estimación de riesgo, 24 bloques (75%) superan el valor tolerable, por lo cual requieren la instalación de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPCDA).
- En la Tabla 4.8, las estructuras que presentan mayor riesgo ante una descarga atmosférica son los bloques D4, D5, D6, con un valor de 836.384 veces por encima del valor tolerable, seguidos del bloque C, con un valor de 776.038 veces por encima del valor tolerable.
- En la tabla Tabla 4.9, la estructura que presenta el mayor riesgo ante una descarga atmosférica es el bloque A1, con un valor de 19.338 veces por encima del valor tolerable.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 4.8

Evaluación de riesgo por pérdida de vidas humanas del Hospital de Andahuaylas según enfoque NTP-IEC 62305

BLOQUE	ANÁLISIS DE RIESGO ANTE PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS		
	R1 RIESGO TOTAL	RT RIESGO TOLERABLE	RIESGO R1/RT
BLOQUE A1	96.9403 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	96.940
BLOQUE A2	96.0006 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	96.001
BLOQUE B	96.2405 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	96.240
BLOQUE C	776.0376 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	776.038
BLOQUE D1	0.0083 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.008
BLOQUE D2	8.3765 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	8.376
BLOQUE D3	8.5937 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	8.594
BLOQUE D4	836.3838 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	836.384
BLOQUE D5	836.3838 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	836.384
BLOQUE D6	836.3838 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	836.384
BLOQUE D7	34.4738 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	34.474
BLOQUE D8	0.0121 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.012
BLOQUE D9	0.0121 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.012
BLOQUE D10	0.0121 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.012
BLOQUE E1	22.7088 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	22.709
BLOQUE E2	23.1504 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	23.150
BLOQUE E3	22.7365 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	22.736
BLOQUE F1	22.1804 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	22.180
BLOQUE F2	61.8945 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	61.894
BLOQUE F3	95.9760 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	95.976
BLOQUE F4	22.7462 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	22.746
BLOQUE G1	64.0594 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	64.059
BLOQUE G2	62.3734 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	62.373
BLOQUE G3	62.6877 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	62.688
BLOQUE H1	23.1875 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	23.187
BLOQUE H2	64.4537 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	64.454
BLOQUE I1	0.0121 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.012
BLOQUE I2	0.0121 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.012
BLOQUE I3	0.0121 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.012
BLOQUE I4	0.0121 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.012
BLOQUE K1	1.7155 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	1.715
BLOQUE K2	2.3633 * 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	2.363

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 4.9

Evaluación de riesgo por pérdidas inaceptables de servicio público del Hospital de Andahuaylas según enfoque NTP-IEC 62305

BLOQUE	ANÁLISIS DE RIESGO ANTE PERDIDAS INACEPTABLES DE SERVICIO PUBLICO		
	R2 RIESGO TOTAL	RT RIESGO TOLERABLE	RIESGO R2/RT
BLOQUE A1	19.3379 * 10 ⁻³	10 ⁻³	19.338
BLOQUE A2	19.1453 * 10 ⁻³	10 ⁻³	19.145
BLOQUE B	19.1895 * 10 ⁻³	10 ⁻³	19.190
BLOQUE C	15.4911 * 10 ⁻³	10 ⁻³	15.491
BLOQUE D1	0.0000	10 ⁻³	0.000
BLOQUE D2	6.6938 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.694
BLOQUE D3	6.8514 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.851
BLOQUE D4	6.7031 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.703
BLOQUE D5	6.7031 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.703
BLOQUE D6	6.7031 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.703
BLOQUE D7	6.8705 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.871
BLOQUE D8	0.0000	10 ⁻³	0.000
BLOQUE D9	0.0000	10 ⁻³	0.000
BLOQUE D10	0.0000	10 ⁻³	0.000
BLOQUE E1	6.7994 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.799
BLOQUE E2	6.9142 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.914
BLOQUE E3	6.7917 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.792
BLOQUE F1	6.6525 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.653
BLOQUE F2	18.5443 * 10 ⁻³	10 ⁻³	18.544
BLOQUE F3	19.1536 * 10 ⁻³	10 ⁻³	19.154
BLOQUE F4	6.8214 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.821
BLOQUE G1	19.1883 * 10 ⁻³	10 ⁻³	19.188
BLOQUE G2	18.6863 * 10 ⁻³	10 ⁻³	18.686
BLOQUE G3	18.7931 * 10 ⁻³	10 ⁻³	18.793
BLOQUE H1	6.9257 * 10 ⁻³	10 ⁻³	6.926
BLOQUE H2	19.3021 * 10 ⁻³	10 ⁻³	19.302
BLOQUE I1	0.0000	10 ⁻³	0.000
BLOQUE I2	0.0000	10 ⁻³	0.012
BLOQUE I3	0.0000	10 ⁻³	0.012
BLOQUE I4	0.0000	10 ⁻³	0.012
BLOQUE K1	1.8012 * 10 ⁻³	10 ⁻³	1.715
BLOQUE K2	2.7819 * 10 ⁻³	10 ⁻³	2.363

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.4.4. Selección del Nivel de Protección Contra Descargas Atmosféricas

La selección del nivel de protección depende directamente de la capacidad de reducir principalmente las pérdidas de vidas humanas. En la Tabla 4.10 se muestran los factores y características constructivas, tanto externas como internas, que influyen en las componentes de riesgo.

Tabla 4.10

Determinación de factores que afectan a los componentes del riesgo

Ítem	CARACTERÍSTICA DE LA ESTRUCTURA O INSTALACIONES	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
	INTERNAS								
1	Superficie de captación (A_D)	X	X	X					
2	Superficie de captación Adyacente (A_{DJ})					X	X	X	
3	Localización de la estructura (C_D)	X	X	X					
4	Nivel de protección externo del SPCDA (P_B)	X	X						
5	Aislamiento y restricciones físicas en conductores (P_{TA})	X							
6	Tipo de superficie del suelo o del piso (r_t)	X				X			
7	Tipo de Instalación de equipos contra incendios (r_p)		X						
8	Instalación coordinada de DPS ($P_{EB}; P_{DPS}$)			X	X	X	X	X	X
9	Tipo del cable de alimentación de energía ($C_{LD}; C_{LI}$)			X		X	X	X	X
10	Apantallamiento externo (K_{S1})				X				
11	Apantallamiento interno (K_{S2})				X				
12	Tipo de instalación de la línea de energía (C_1)					X	X	X	
13	Apantallamiento de los cables de energía eléctrica (K_{S3})				X				
14	Tensión de aislamiento U_W soportado por el equipo ($K_{S4}; P_{LI}$)				X				X
15	Longitud del cable de alimentación de energía (L_L)					X	X	X	X

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

En la Tabla 4.11 se presentan las modificaciones realizadas al análisis de riesgo inicial, las cuales reducen los valores de las componentes de riesgo calculados anteriormente a niveles por debajo del riesgo tolerable R_T .

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Tabla 4.11*Selección de nivel de protección para el nuevo SPCDA, del Hospital de Andahuaylas*

SELECCIÓN DE NIVEL DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS			
BLOQUE	Nivel de protección externo		Nivel de protección interno
	Instalación de captores (P_B)	Apantallamiento externo (K_{S1})	Instalación de DPS (P_{EB} ; P_{DPS})
BLOQUE A1	Nivel III		Nivel I
BLOQUE A2	Nivel III		Nivel I
BLOQUE B	Nivel III		Nivel I
BLOQUE C	Nivel I	Nivel I	Nivel I
BLOQUE D1	Nivel IV		
BLOQUE D2	Nivel IV		Nivel III-IV
BLOQUE D3	Nivel IV		Nivel III-IV
BLOQUE D4	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE D5	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE D6	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE D7	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE D8	Nivel IV		
BLOQUE D9	Nivel IV		
BLOQUE D10	Nivel IV		
BLOQUE E1	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE E2	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE E3	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE F1	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE F2	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE F3	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE F4	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE G1	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE G2	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE G3	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE H1	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE H2	Nivel IV		Nivel II
BLOQUE I1	Nivel IV		
BLOQUE I2	Nivel IV		
BLOQUE I3	Nivel IV		
BLOQUE I4	Nivel IV		
BLOQUE K1	Nivel IV		Nivel I
BLOQUE K2	Nivel IV		Nivel I

Fuente: Elaboración Propia

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Como se puede observar en la Tabla 4.11, el Hospital de Andahuaylas requiere la instalación de diferentes niveles de protección contra las descargas atmosféricas, siendo el Nivel I el más exigente y el Nivel IV el menos exigente.

4.4.5. Análisis de Riesgo con el Nivel de Protección Propuesto

Con la selección de los niveles de protección propuestos en la Tabla 4.11, se vuelve a realizar la evaluación del riesgo, obteniendo los nuevos valores que se muestran en las tablas 4.12 y 4.13.

Tabla 4.12

Componentes de riesgo ante pérdidas de vidas humanas, con el nivel de protección propuesto

BLOQUE	COMPONENTES DE RIESGO (R_x) ANTE PERDIDAS DE VIDAS HUMANAS ($\times 10^{-5}$) CON EL SPCDA PROPUESTO							
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
BLOQUE A1	0.0004	0.0161	0.0040	0.9424	0.0000	0.0010	0.0024	0.0179
BLOQUE A2	0.0005	0.0186	0.0047	0.9326	0.0000	0.0009	0.0024	0.0175
BLOQUE B	0.0005	0.0206	0.0052	0.9345	0.0000	0.0009	0.0024	0.0173
BLOQUE C	0.0013	0.1330	0.3677	0.3319	0.0000	0.0032	0.0178	0.1326
BLOQUE D1	0.0008	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D2	0.0005	0.0001	0.0013	0.4059	0.0003	0.0001	0.0026	0.0086
BLOQUE D3	0.0011	0.0023	0.0028	0.4151	0.0003	0.0006	0.0030	0.0112
BLOQUE D4	0.0005	0.0091	0.0226	0.3219	0.0001	0.0012	0.0601	0.2243
BLOQUE D5	0.0005	0.0091	0.0226	0.3219	0.0001	0.0012	0.0601	0.2243
BLOQUE D6	0.0005	0.0091	0.0226	0.3219	0.0001	0.0012	0.0601	0.2243
BLOQUE D7	0.0042	0.0083	0.0042	0.6622	0.0005	0.0010	0.0048	0.0179
BLOQUE D8	0.0008	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D9	0.0008	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D10	0.0008	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE E1	0.0002	0.0042	0.0021	0.4407	0.0000	0.0005	0.0025	0.0079
BLOQUE E2	0.0003	0.0104	0.0026	0.4467	0.0000	0.0011	0.0027	0.0088
BLOQUE E3	0.0002	0.0088	0.0022	0.4382	0.0000	0.0011	0.0028	0.0094
BLOQUE F1	0.0001	0.0002	0.0012	0.4309	0.0000	0.0001	0.0027	0.0087
BLOQUE F2	0.0001	0.0053	0.0007	0.6066	0.0000	0.0006	0.0014	0.0095
BLOQUE F3	0.0006	0.0249	0.0031	0.9364	0.0000	0.0009	0.0022	0.0158
BLOQUE F4	0.0002	0.0005	0.0024	0.4357	0.0000	0.0001	0.0032	0.0120
BLOQUE G1	0.0002	0.0080	0.0010	0.6260	0.0000	0.0006	0.0016	0.0120

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

BLOQUE G2	0.0001	0.0045	0.0006	0.6082	0.0000	0.0007	0.0016	0.0124
BLOQUE G3	0.0001	0.0025	0.0006	0.6111	0.0000	0.0003	0.0017	0.0130
BLOQUE H1	0.0002	0.0087	0.0022	0.4454	0.0000	0.0012	0.0030	0.0110
BLOQUE H2	0.0002	0.0099	0.0012	0.6276	0.0000	0.0007	0.0017	0.0128
BLOQUE I1	0.0012	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I2	0.0012	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I3	0.0012	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I4	0.0012	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE K1	0.0004	0.0037	0.0002	0.0094	0.0002	0.0020	0.0020	0.0033
BLOQUE K2	0.0003	0.0030	0.0002	0.0209	0.0000	0.0003	0.0003	0.0018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.13

Valores de las componentes de riesgo ante pérdidas inaceptables de servicio público con el nivel de protección propuesto

BLOQUE	COMPONENTES DE RIESGO (R_x) ANTE PERDIDAS INACEPTABLES DE SERVICIO PÚBLICO ($\times 10^{-3}$) CON EL SPCDA PROPUESTO					
	R_B	R_C	R_M	R_V	R_W	R_Z
BLOQUE A1	0.0002	0.0008	0.1885	0.0000	0.0005	0.0036
BLOQUE A2	0.0002	0.0009	0.1865	0.0000	0.0005	0.0035
BLOQUE B	0.0002	0.0010	0.1869	0.0000	0.0005	0.0035
BLOQUE C	0.0003	0.0074	0.0475	0.0000	0.0004	0.0027
BLOQUE D1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D2	0.0000	0.0011	0.3247	0.0000	0.0021	0.0069
BLOQUE D3	0.0002	0.0023	0.3321	0.0000	0.0024	0.0090
BLOQUE D4	0.0007	0.0002	0.0026	0.0001	0.0005	0.0018
BLOQUE D5	0.0007	0.0002	0.0026	0.0001	0.0005	0.0018
BLOQUE D6	0.0007	0.0002	0.0026	0.0001	0.0005	0.0018
BLOQUE D7	0.0002	0.0008	0.1324	0.0000	0.0010	0.0036
BLOQUE D8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE D10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE E1	0.0001	0.0006	0.1322	0.0000	0.0008	0.0024
BLOQUE E2	0.0002	0.0008	0.1340	0.0000	0.0008	0.0026
BLOQUE E3	0.0001	0.0007	0.1315	0.0000	0.0008	0.0028
BLOQUE F1	0.0000	0.0003	0.1293	0.0000	0.0008	0.0026
BLOQUE F2	0.0001	0.0002	0.1820	0.0000	0.0004	0.0028
BLOQUE F3	0.0002	0.0006	0.1873	0.0000	0.0004	0.0032
BLOQUE F4	0.0000	0.0007	0.1307	0.0000	0.0010	0.0036

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

BLOQUE G1	0.0001	0.0003	0.1878	0.0000	0.0005	0.0036
BLOQUE G2	0.0001	0.0002	0.1825	0.0000	0.0005	0.0037
BLOQUE G3	0.0001	0.0002	0.1833	0.0000	0.0005	0.0039
BLOQUE H1	0.0001	0.0007	0.1336	0.0000	0.0009	0.0033
BLOQUE H2	0.0001	0.0004	0.1883	0.0000	0.0005	0.0038
BLOQUE I1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE I4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BLOQUE K1	0.0004	0.0002	0.0113	0.0002	0.0023	0.0039
BLOQUE K2	0.0004	0.0002	0.0251	0.0000	0.0004	0.0022

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, los valores de las componentes de riesgo han disminuido considerablemente. Asimismo, se realiza nuevamente la comprobación del riesgo total con respecto al riesgo tolerable, lo cual se detalla en las Tablas 4.14 y 4.15.

Tabla 4.14

Evaluación del riesgo ante pérdidas de vidas humanas, con los niveles de protección propuestos

BLOQUE	ANÁLISIS DE RIESGO ANTE PERDIDAS DE VIDAS HUMANAS (L1)			OBSERVACION
	R1 RIESGO TOTAL	RT RIESGO TOLERABLE	RIESGO R1/RT	
BLOQUE A1	0.9843×10^{-5}	10^{-5}	0.984	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE A2	0.9772×10^{-5}	10^{-5}	0.977	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE B	0.9814×10^{-5}	10^{-5}	0.981	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE C	0.9875×10^{-5}	10^{-5}	0.987	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D1	0.0017×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D2	0.4193×10^{-5}	10^{-5}	0.419	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D3	0.4364×10^{-5}	10^{-5}	0.436	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D4	0.6397×10^{-5}	10^{-5}	0.640	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D5	0.6397×10^{-5}	10^{-5}	0.640	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D6	0.6397×10^{-5}	10^{-5}	0.640	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D7	0.7030×10^{-5}	10^{-5}	0.703	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D8	0.0024×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D9	0.0024×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D10	0.0024×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE E1	0.4582×10^{-5}	10^{-5}	0.458	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE E2	0.4726×10^{-5}	10^{-5}	0.473	Menor a la tolerancia exigida

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

BLOQUE E3	0.4629×10^{-5}	10^{-5}	0.463	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F1	0.4439×10^{-5}	10^{-5}	0.444	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F2	0.6241×10^{-5}	10^{-5}	0.624	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F3	0.9840×10^{-5}	10^{-5}	0.984	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F4	0.4540×10^{-5}	10^{-5}	0.454	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE G1	0.6494×10^{-5}	10^{-5}	0.649	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE G2	0.6281×10^{-5}	10^{-5}	0.628	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE G3	0.6294×10^{-5}	10^{-5}	0.629	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE H1	0.4718×10^{-5}	10^{-5}	0.472	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE H2	0.6542×10^{-5}	10^{-5}	0.654	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I1	0.0024×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I2	0.0024×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I3	0.0024×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I4	0.0024×10^{-5}	10^{-5}	0.002	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE K1	0.0211×10^{-5}	10^{-5}	0.021	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE K2	0.0268×10^{-5}	10^{-5}	0.027	Menor a la tolerancia exigida

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.15

Evaluación del riesgo ante pérdidas inaceptables de servicio público, con los niveles de protección propuestos

BLOQUE	ANÁLISIS DE RIESGO ANTE PERDIDAS INACEPTABLES DE SERVICIO PÚBLICO (L2)			OBSERVACION
	R2 RIESGO TOTAL	RT RIESGO TOLERABLE	RIESGO R2/RT	
BLOQUE A1	0.1935×10^{-3}	10^{-3}	0.194	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE A2	0.1916×10^{-3}	10^{-3}	0.192	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE B	0.1921×10^{-3}	10^{-3}	0.192	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE C	0.0582×10^{-3}	10^{-3}	0.058	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D1	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D2	0.3347×10^{-3}	10^{-3}	0.335	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D3	0.3460×10^{-3}	10^{-3}	0.346	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D4	0.0059×10^{-3}	10^{-3}	0.006	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D5	0.0059×10^{-3}	10^{-3}	0.006	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D6	0.0059×10^{-3}	10^{-3}	0.006	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D7	0.1380×10^{-3}	10^{-3}	0.138	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D8	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D9	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE D10	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

BLOQUE E1	0.1361×10^{-3}	10^{-3}	0.136	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE E2	0.1384×10^{-3}	10^{-3}	0.138	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE E3	0.1360×10^{-3}	10^{-3}	0.136	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F1	0.1331×10^{-3}	10^{-3}	0.133	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F2	0.1855×10^{-3}	10^{-3}	0.186	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F3	0.1918×10^{-3}	10^{-3}	0.192	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE F4	0.1360×10^{-3}	10^{-3}	0.136	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE G1	0.1923×10^{-3}	10^{-3}	0.192	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE G2	0.1869×10^{-3}	10^{-3}	0.187	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE G3	0.1880×10^{-3}	10^{-3}	0.188	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE H1	0.1386×10^{-3}	10^{-3}	0.139	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE H2	0.1932×10^{-3}	10^{-3}	0.193	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I1	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I2	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I3	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE I4	0.0000	10^{-3}	0.000	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE K1	0.0184×10^{-3}	10^{-3}	0.018	Menor a la tolerancia exigida
BLOQUE K2	0.0282×10^{-3}	10^{-3}	0.028	Menor a la tolerancia exigida

Fuente: Elaboración propia

Con base en la nueva evaluación de riesgo realizada para el Hospital de Andahuaylas, se ha llegado a la siguiente conclusión:

- Los valores obtenidos en las Tablas 4.14 y 4.15 demuestran que los riesgos calculados no superan los límites establecidos por la normativa en cuanto a riesgo tolerable. Esto indica que las medidas de protección implementadas son efectivas y adecuadas para mitigar los efectos de las descargas atmosféricas.

4.4.6. Diseño y Selección del SPCDA Externo

El diseño del Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas (SPCDA) externo se realizó mediante el método de la esfera rodante, ya que este método es el más apropiado para edificios o construcciones complejas. La longitud del radio de protección utilizado para cada nivel de protección se detalla en la Tabla 4.16.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

El diseño del SPCDA externo contará con captores convencionales de tipo Punta Franklin, de acuerdo con las siguientes indicaciones:

- Captor con longitud de 0.50 m y diámetro de 5/8” para los bloques que no excedan los 23 metros de altura.
- Captor con longitud de 0.50 m y diámetro de 1/2” para edificaciones con altura mayor a 23 metros.

Los captores estarán colocados sobre mástiles de acero galvanizado de 2.5 metros de longitud, alcanzando una distancia de tres (03) metros desde la punta del captor hasta la base del techo. Además, como alternativa para la ubicación de los captores, se puede seguir lo indicado en la Figura 4.4, donde la distancia máxima de separación entre captores a lo largo del borde de la edificación es de 7.6 metros, y la distancia máxima entre captores en áreas planas o ligeramente inclinadas del techo es de 15 metros (NFPA-780, 2008, pág. 14).

La correcta colocación y espaciado de los captores contribuirán a optimizar la cobertura del área, reduciendo el riesgo de impactos directos en la edificación.

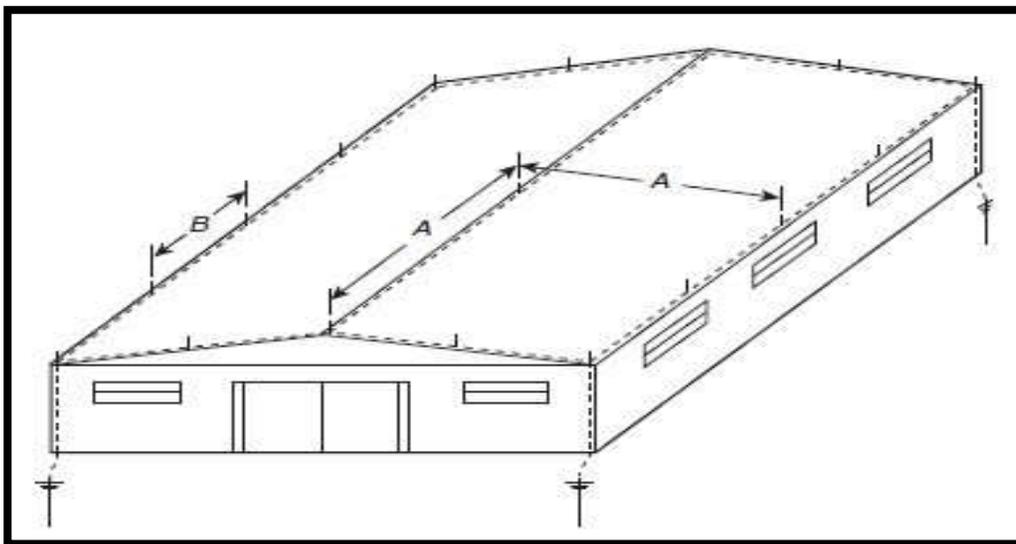
También, es fundamental que la instalación de los captores y el SPCDA cumpla con las normativas de seguridad y las directrices de la NFPA-780, garantizando así una protección eficaz contra las descargas atmosféricas.

En el Anexo 04 se presenta el plano del diseño del Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas (SPCDA) externo para el Hospital de Andahuaylas, elaborado con la ayuda del programa de diseño AutoCAD 2024. Asimismo, en la Tabla 4.16 se detalla la cantidad de componentes que se requieren implementar para el SPCDA propuesto.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 4.4

Distancia de separación entre captores recomendado por la NFPA 780



*Nota: A= 15m de espaciamiento máximo, B= 6m o 7.6m de espaciamiento máximo
Fuente: (NFPA-780, 2008)*

Tabla 4.16

Componentes del nuevo SPCDA externo, propuesto

RESUMEN DEL SPCDA EXTERNO (CAPTORES) CONFORME A LA IEC 62305-3								
Bloque	Altura (m)	Nivel	Radio de protección (m)	Tipo de captor	Cantidad de captores	Malla	Número de Conductores de bajada	Material SPCD Externo (1)
BLOQUE A1	8.75	Nivel III	45	Franklin	3	--	3	Clase I
BLOQUE A2	10.81	Nivel III	45	Franklin	1	--	2	Clase I
BLOQUE B	11.4	Nivel III	45	Franklin	2	--	2	Clase I
BLOQUE C	26.85	Nivel I	20	Franklin	21	5x5	18	Clase II
BLOQUE D1	5.19	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE D2	5.19	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE D3	6.76	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I
BLOQUE D4	5.19	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I
BLOQUE D5	5.19	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE D6	6.15	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

BLOQUE D7	6.68	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I
BLOQUE D8	6.96	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE D9	5.16	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE D10	3.25	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE E1	5.5	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE E2	5.5	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE E3	6	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I
BLOQUE F1	4.68	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE F2	4.15	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE F3	7.63	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I
BLOQUE F4	6.82	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I
BLOQUE G1	3.67	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE G2	3.31	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE G3	3.43	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE H1	4.73	Nivel IV	60	Franklin	2	--	4	Clase I
BLOQUE H2	4.41	Nivel IV	60	Franklin	3	--	6	Clase I
BLOQUE I1	3.41	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE I2	3.41	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE I3	3.41	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE I4	3.41	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE K1	5.45	Nivel IV	60	--	0	--	--	--
BLOQUE K2	5.45	Nivel IV	60	Franklin	1	--	2	Clase I

(1) Las características de los materiales serán de acuerdo a lo indicado en la tabla 4.1.1.1(A) y 4.1.1.1(B) de la norma NFPA 780

Fuente: Elaboración propia

4.4.7. Diseño del Sistema de Conductores de Bajada

Con el fin de reducir la probabilidad de daños causados por las corrientes del rayo, el diseño realizado contempla que el número de conductores de bajada no sea menor a dos y deberán cumplir con las distancias de separación entre bajadas establecidas en la Tabla 2.9 del capítulo II.

Además, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 4.17, los conductores de bajada deben instalarse respetando las distancias de separación mínimas (s) para evitar accidentes debido a

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

descargas laterales (side flash) y tensiones inducidas en los conductores de los circuitos eléctricos y otros sistemas.

Tabla 4.17

Distancia mínima de separación para garantizar la seguridad de aislamiento eléctrico

Bloque	# bajantes	Clase SPCDA	k_i	Material	k_m	k_c	l [m]	s [m]
BLOQUE A1	3	III y IV	0.04	Aire	1	0.44	13	0.23
BLOQUE A2	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	16	0.42
BLOQUE B	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	19	0.50
BLOQUE C	18	I	0.08	Aire	1	0.44	36	1.27
BLOQUE D3	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	12	0.32
BLOQUE D4	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	16	0.42
BLOQUE D6	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	15	0.40
BLOQUE D7	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	10	0.26
BLOQUE E3	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	22	0.58
BLOQUE F3	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	15	0.40
BLOQUE F4	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	13	0.34
BLOQUE H1	4	III y IV	0.04	Aire	1	0.44	12	0.21
BLOQUE H2	6	III y IV	0.04	Aire	1	0.44	10	0.18
BLOQUE K2	2	III y IV	0.04	Aire	1	0.66	10	0.26

Fuente: Elaboración propia

Si no se garantiza la distancia mínima, se instalarán medidas de protección complementarias para evitar la aproximación de personas a los conductores de bajada. Estas medidas pueden incluir el uso de materiales aislantes, como el polietileno reticulado o cualquier otro con características similares, que estén avalados por normativas nacionales o internacionales y que sean capaces de soportar los fenómenos asociados a los rayos (Norma Técnica Peruana 62305-3, 2015). Además, se implementarán restricciones físicas y se colocarán avisos de advertencia para informar sobre los riesgos asociados.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.4.8. Diseño de la Malla del Sistema de Puestas a Tierra

El sistema de puesta a tierra propuesto para el Hospital de Andahuaylas será del tipo malla y deberá tener una resistencia menor a 5Ω . Todo el sistema estará interconectado (electrodos, varillas, contrapesos) para garantizar una conexión equipotencial y evitar tensiones de paso peligrosas.

El diseño de la malla de puesta a tierra se realizó utilizando el Método de Elementos Finitos, siguiendo las indicaciones del flujograma que se presenta en el Anexo 01.

4.4.8.1. Cálculo de la Resistividad del Terreno

Con los datos obtenidos de las mediciones realizadas en campo, se llevaron a cabo los cálculos de la resistividad aparente utilizando la ecuación del método simplificado de Wenner. Los resultados se presentan en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18

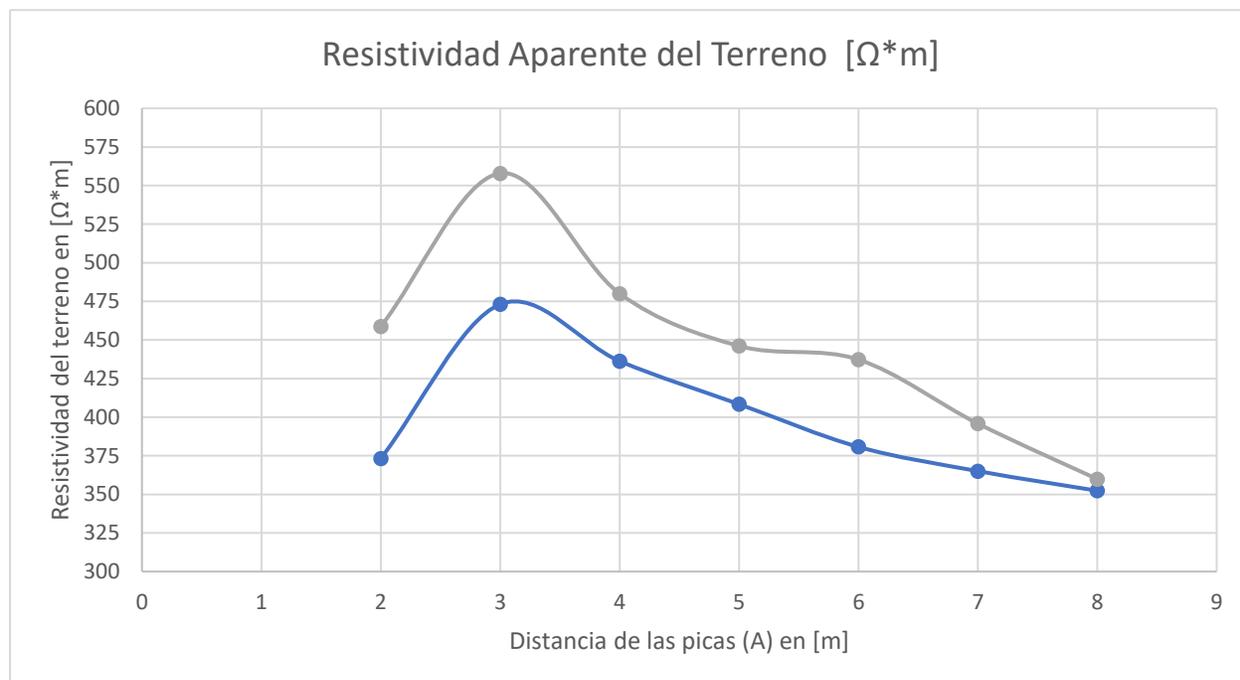
Cálculo de las resistividades aparente del terreno, por el método de Wenner

Distancia A [m]	SONDEO 1			SONDEO 2	
	Resistencia 1 [Ω]	resistividad Aparente 1 [$\Omega \cdot m$]	Resistencia 2 [Ω]	resistividad Aparente 2 [$\Omega \cdot m$]	
2	29.7	373.2212072	36.5	458.6725274	
3	25.1	473.1238536	29.6	557.9468553	
4	17.36	436.3043877	19.1	480.0353575	
5	13	408.407045	14.2	446.1061568	
6	10.1	380.7610296	11.6	437.3096974	
7	8.3	365.0530663	9	395.8406744	
8	7.01	352.361032	7.16	359.9008544	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5

Gráfica de la resistividad aparente del terreno por método de Wenner



Fuente: Elaboración propia

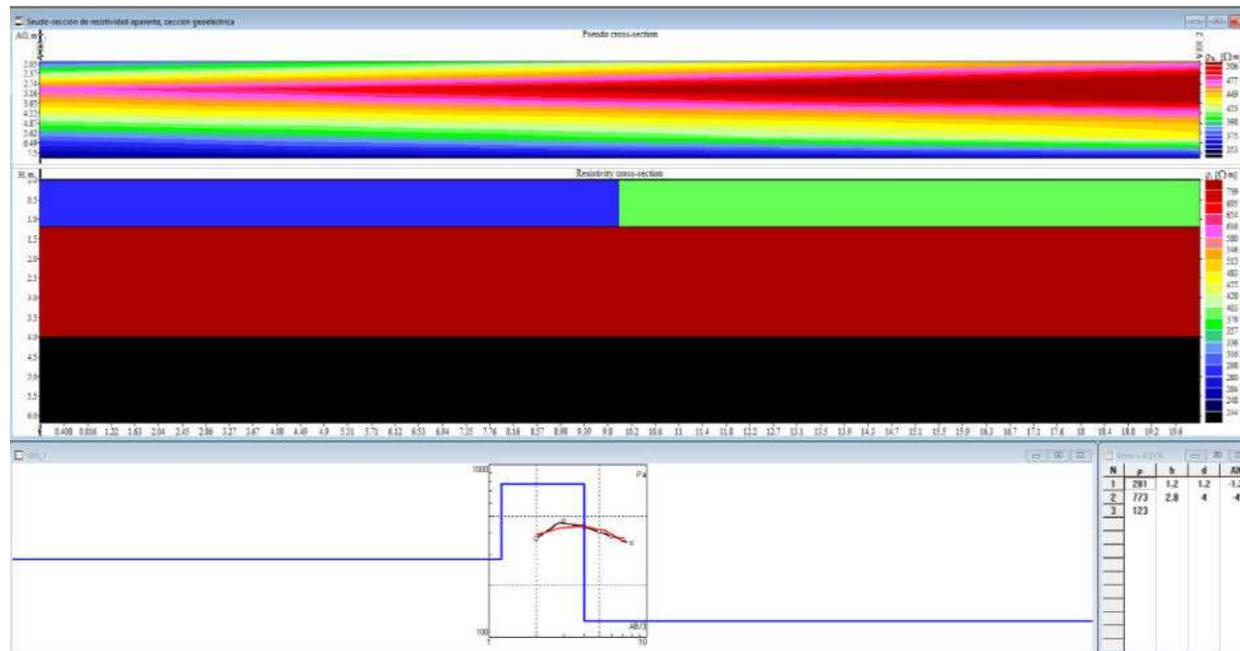
De acuerdo con los valores obtenidos en el cálculo de la resistividad aparente del terreno, se realizó una simulación utilizando el programa IPI2WIN. Este procedimiento tuvo como objetivo conocer las características del tipo de terreno, así como las alturas de las distintas capas o estratos que lo componen. Los resultados se muestran en las Figuras 4.6 y 4.7, y sus valores están detallados en la Tabla 4.19.

La simulación realizada con el programa IPI2WIN ha proporcionado datos sobre la resistividad del terreno y las características de sus estratos, los cuales permitirán una mejor toma de decisiones en la instalación del sistema de puesta a tierra, asegurando su eficacia y funcionalidad.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 4.6

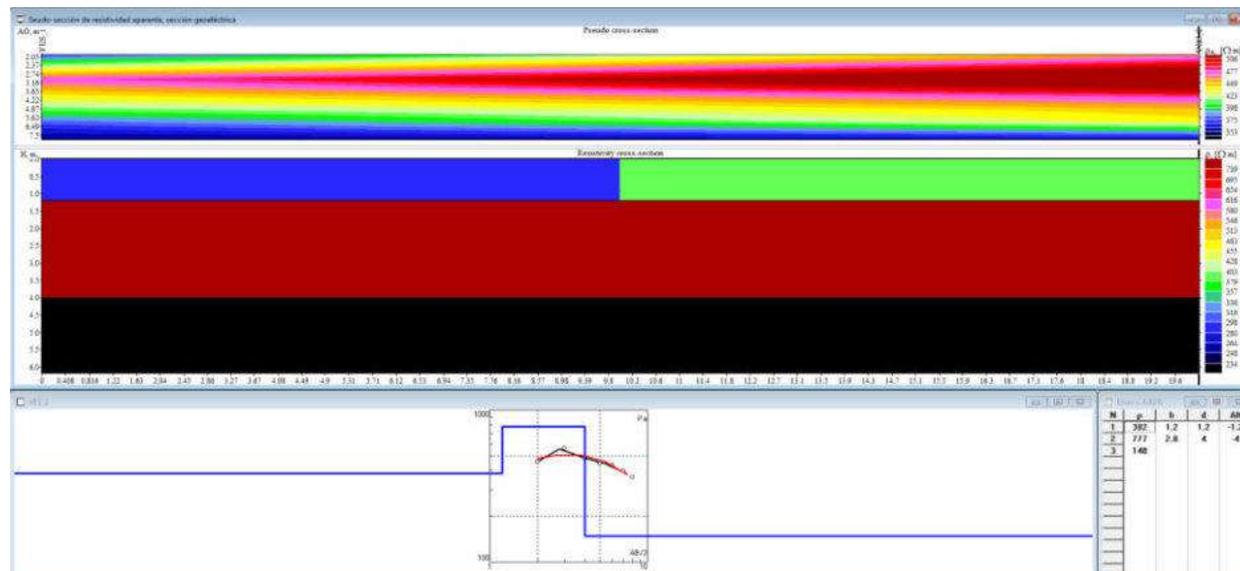
Simulación del terreno para el sondeo 1 con el programa IPI2win



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7

Simulación del terreno para el sondeo 2 con el programa IPI2win



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.19*Características del terreno para 2 capas*

Capa	SONDEO 1		SONDEO 2	
	resistividad 1 [Ω*m]	Profundidad [m]	resistividad 2 [Ω*m]	Profundidad [m]
1	281	1.2	382	1.2
2	773	2.8	777	2.8

*Fuente: Elaboración propia***4.4.8.2. Selección del Calibre del Conductor**

Para determinar la sección del conductor de la malla del sistema de puesta a tierra, se aplicó la fórmula 37 establecida en la norma IEEE Std 80-2013. Esta fórmula asegura que el sistema de puesta a tierra esté diseñado adecuadamente, lo que es fundamental para la seguridad y efectividad del sistema de protección contra descargas atmosféricas en el Hospital de Andahuaylas. La sección del conductor de la malla se calcula utilizando la ecuación (4.1).

$$A = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP * 10^{-4}}{t_c * \alpha_r * \rho_r}\right) * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \quad (4.1)$$

Donde:

 $A =$ Sección del conductor [mm²]. $I =$ Corriente [kA]. $TCAP =$ Capacidad termica del conductor por unidad de volumen [J/(cm³ * °C)]. $t_c =$ Tiempo de duracion de la corriente [s]. $\alpha_r =$ Coeficiente termico de resistividad a la temperatura T_r [1/°C]. $\rho_r =$ Resisitividad del conductor de tierra a la temperatura T_r [μΩ – cm]. $K_0 = (1/\alpha_r) - T_r$ [°C]. $T_m =$ Temperatura maxima permitida [°C]. $T_a =$ Temperatura ambiente [°C].

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Para el diseño de la malla de puesta a tierra, se ha optado por utilizar cobre comercial (Copper, commercial hard-drawn) debido a sus excelentes propiedades eléctricas y su resistencia a la corrosión, como también por su alta conductividad y durabilidad.

Tabla 4.20

Constante de materiales para cálculo de sección de conductor

Description	Material ^a conductivity (% IACS)	α_r factor ^a at 20 °C (1/°C)	K_o at 0 °C (0°C)	Fusing ^a temperature T_m (°C)	Resistivity ^a at 20 °C ρ_r ($\mu\Omega$ -cm)	Thermal ^a capacity TCAP [J/(cm ³ · °C)]
Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.003 93	234	1083	1.72	3.4
Copper, commercial hard-drawn	97.0	0.003 81	242	1084	1.78	3.4
Copper-clad steel wire	40.0	0.003 78	245	1084 ^e	4.40	3.8
Copper-clad steel wire	30.0	0.003 78	245	1084 ^e	5.86	3.8
Copper-clad steel rod	17.0	0.003 78	245	1084 ^e	10.1	3.8
Aluminum-clad steel wire	20.3	0.00360	258	657	8.48	3.561
Steel, 1020	10.8 ^b	0.003 77	245	1510	15.90	3.8
Stainless-clad steel rod ^c	9.8	0.003 77	245	1400 ^e	17.50	4.4
Zinc-coated steel rod	8.6	0.003 20	293	419 ^e	20.10	3.9
Stainless steel, 304	2.4	0.001 30	749	1400	72.00	4.0

Fuente: (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013)

Los valores de corriente y el tiempo de duración de la descarga se establecen según los parámetros de la corriente del rayo, cuyos valores medios fueron calculados para probabilidades de ocurrencia del 95% y 5%, de acuerdo con el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE). Estos valores se presentan en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21

Valores medios de los parámetros de la corriente de rayo según CIGRE

Tipo de impacto	Parámetro	
	Corriente (kA)	Duración (s)
Primer corto negativo	33.3	0.0128
Subsiguiente corto negativo	11.8	0.167
Descarga positiva	33.9	0.0837

Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-1, 2015)

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Reemplazando los valores en la ecuación (4.1), se obtiene la sección del conductor de la malla de puesta a tierra, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22

Calculo de la sección de conductor de acuerdo a IEEE Std 80-2013

Tipo de impacto	Sección del conductor [mm^2]
Primer corto negativo	13.21336316
Subsiguiente corto negativo	16.91236707
Descarga positiva	34.39747633

Fuente: Elaboración propia

Dado que en el mercado no se encuentran secciones exactas como las indicadas en la Tabla 4.22, el calibre del conductor de la malla de puesta a tierra debe aproximarse a valores normalizados, como se muestra en la Tabla 4.23.

Tabla 4.23

Calculo de la sección de conductor (normalizado) de acuerdo a IEEE Std 80-2013

Tipo de impacto	Sección del conductor [mm^2] normalizado
Primer corto negativo	16
Subsiguiente corto negativo	25
Descarga positiva	35

Fuente: Elaboración propia

Para la simulación en el programa ETAP, se seleccionó un calibre de 35 mm^2 , ya que esta sección soporta el valor de corriente promedio más alto, correspondiente a una descarga positiva, de acuerdo con el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE).

4.4.8.3. Selección de la Tensión de Toque y de Paso Tolerables

La norma IEEE Std 80, aprobada el 11 de diciembre de 2013, establece un procedimiento detallado para el diseño de mallas de puesta a tierra. Este diseño tiene como objetivo asegurar

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

niveles seguros de tensión de toque y tensión de paso máximo, lo cual protege a las personas en caso de fallas eléctricas hasta que estas sean eliminadas. La norma evalúa la seguridad de la instalación considerando la corriente crítica y el peso corporal, asegurando así que el sistema de puesta a tierra pueda limitar la exposición a valores de choque eléctrico que el 99.5% de las personas puede soportar.

Dado el perfil de peso promedio de la población peruana proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el cual el 67 % de los peruanos pesa entre 50 y 69 kg y un 21 % pesa menos de 50 kg, el diseño propuesto de la malla de puesta a tierra se enfocará en una población de peso corporal de 50 kg. Este enfoque permite garantizar una mayor seguridad para una mayoría significativa de personas ante posibles tensiones de choque en situaciones de falla eléctrica.

4.4.8.4. Diseño y Cálculo de Parámetros Iniciales de la Malla de Puesta a Tierra

Para prevenir el deterioro de las zapatas y vigas de amarre de los bloques del hospital, se ha implementado una malla de puesta a tierra que rodea los bordes de cada bloque y las áreas verdes, ubicada a 1 metro de profundidad desde el nivel del terreno. El diseño utiliza un conductor de cobre desnudo de 35 mm², lo cual proporciona una resistencia mecánica y eléctrica adecuada para conducir corrientes de falla a tierra sin comprometer la integridad de los elementos estructurales. La elección de 1 metro de profundidad garantiza la protección del conductor frente a posibles daños mecánicos; además, esta profundidad reduce la exposición de la malla a factores climáticos y minimiza el riesgo de corrosión, aumentando así su vida útil.

En el Anexo 03, se presenta el diseño inicial de la malla de puesta a tierra, el cual fue elaborado con el software AutoCAD 2024. Asimismo, para optimizar la seguridad y efectividad

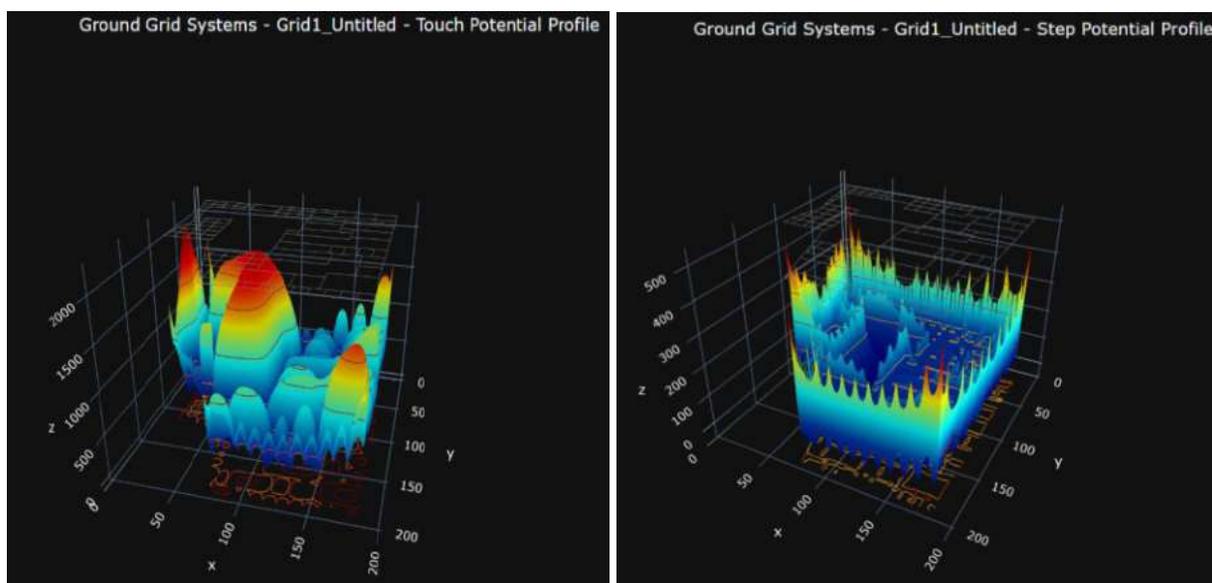
DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

de este diseño, se empleó el programa ETAP para calcular los valores de tensiones de toque y de paso.

La simulación y el cálculo de parámetros se llevaron a cabo utilizando los valores de la corriente de rayo con una probabilidad de ocurrencia del 95%, basándose en las directrices del Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE).

Figura 4.8

Grafica de la tensión de toque (izquierda) y tensión de paso (derecha), del diseño inicial de la malla de puesta a tierra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.24

Cálculo de parámetros del diseño inicial de la malla de puesta tierra

Tipo de impacto	Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Tensión de toque		Tensión de paso	
			Tolerable	Calculado	Tolerable	Calculado
Primer impacto negativo	2.143	9841	1824.7	2136	3818.7	500.1

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Subsiguiente impacto negativo	2.143	11044.9	1053.5	2397.3	2204.7	561.3
Primer impacto positiva	2.143	11317.1	1824.7	2456.4	3818.7	575.1

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 4.24, las tensiones de paso se encuentran por debajo del valor tolerable, mientras que las tensiones de toque superan los valores tolerables. Esto implica que, es necesario hacer ajustes o modificaciones en el diseño de la malla de puesta a tierra para reducir las tensiones de toque calculados.

4.4.8.5. Mejoramiento del Diseño de Malla de Puesta a Tierra Inicial

4.4.8.5.1. Caso 1: Mejoramiento de la Resistividad del Terreno hasta 1.2 metros de Profundidad

Se realizó la simulación para el cálculo de los parámetros de la malla de puesta a tierra, considerando el mejoramiento integral del terreno hasta una profundidad de 1.2 metros (Anexo 03). Al alcanzar un valor de resistividad de $20 \Omega \cdot m$, los valores de tensión de toque y de paso se encuentran por debajo de los valores tolerables, como se muestra en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25

Cálculo de parámetros de la malla de puesta tierra, con mejoramiento integral de terreno hasta $20 \Omega \cdot m$

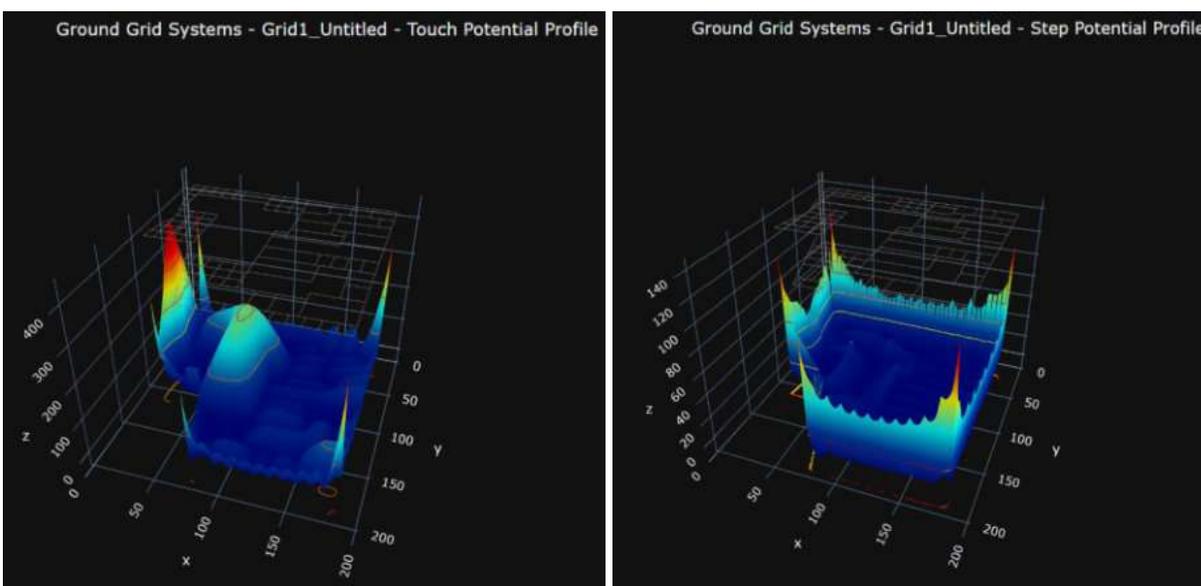
Tipo de impacto	Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Tensión de toque		Tensión de paso	
			Tolerable	Calculado	Tolerable	Calculado
Primer impacto negativo	1.333	6122.6	1194.8	425	1299.2	134.8
Subsiguiente impacto negativo	1.333	6871.6	689.8	477	750.1	151.2

Primer impacto positiva	1.333	7041	1194.8	488.7	1299.2	155
------------------------------------	-------	------	--------	-------	--------	-----

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9

*Grafica de la tensión de toque de la malla de puesta a tierra, con mejoramiento de terreno hasta 20 ohm*m*



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, las tensiones de paso y de toque se encuentran por debajo del valor tolerable con el mejoramiento del terreno. Esto se puede lograr mediante el cambio del terreno actual por un suelo de tipo arcilloso, que puede obtenerse del yacimiento de Ccocha, ubicado en el distrito de Circa, provincia de Abancay, o también mediante el incremento de Bentonita.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.4.8.5.2. Caso 2: Incremento de Capa Superficial de Grava, Considerando un espesor de 5 cm, Resistividad de 3000 $\Omega \cdot m$

Se realizó la simulación para el cálculo de parámetros de la malla de puesta a tierra, considerando el incremento de una capa superficial de material grava con un espesor de 5 cm. Se asumió que el material (grava) tiene una resistividad de 3000 $\Omega \cdot m$.

Como se observa en la Tabla 4.26, los valores de tensión de toque y de paso se encuentran por debajo de los valores tolerables.

Tabla 4.26

Cálculo de parámetros de la malla de puesta tierra, con incremento de capa superficial de grava

Tipo de impacto	Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Tensión de toque		Tensión de paso	
			Tolerable	Calculado	Tolerable	Calculado
Primer impacto negativo	2.143	9841	6003.9	2136	20535.5	500.1
Subsiguiente impacto negativo	2.143	11044.9	3466.3	2397.3	11856.2	561.3
Primer impacto positiva	2.143	11317.1	6003.9	2456.4	20535.5	575.1

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, para mejorar el aislamiento de los conductores de bajada, se deberán implementar las recomendaciones indicadas en la norma NTP IEC-62305, las cuales son:

- Aislamiento de los conductores de bajada expuestos con tuberías de polietileno reticulado (XLPE) de al menos 3 mm de espesor, o con otro material de características similares que esté avalado por la norma nacional.
- Instalación de restricciones físicas de acceso y/o colocación de advertencias para minimizar la probabilidad de que se toquen los conductores de bajada.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.4.8.6. Detalles Finales del Diseño de Malla de Puesta a Tierra

El diseño final de la malla de puesta a tierra tendrá las siguientes consideraciones:

- a. El diseño de la malla se realizará de acuerdo al plano 10 del Anexo 04.
- b. La sección mínima del cable de cobre desnudo de la malla será de 35 mm^2 .
- c. Las uniones deberán realizarse con empalmes exotérmicos tipo Candweld.
- d. La profundidad de instalación de la malla de puesta a tierra será de 1 metro.
- e. Los conductores de bajada de los captos deberán estar aislados o recubiertos por una tubería que proteja el contacto accidental de seres vivos, hasta una altura mínima de 3 metros sobre el nivel de piso terminado. También deberán estar señalizados de acuerdo a lo indicado en la NTP IEC-62305.

4.4.9. Diseño de Protección Interna Contra Descargas Atmosféricas

Para el diseño de protección interna, se han implementado Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS), como se muestra en los planos 12 y 13 del Anexo 04.

Además, de acuerdo con la *Guía sobre inmunidad electromagnética para todos los equipos médicos* de la norma IEC 60601-1-2, todos los equipos médicos están diseñados para soportar sobretensiones de hasta 2 kV en modo diferencial (fase-fase o fase-neutro) y 1.5 kV en modo común (fase-tierra o neutro-tierra). Por este motivo, el diseño propuesto tiene un nivel de protección de 1.5 kV.

En caso de equipos con una capacidad de soporte de sobretensión inferior a 1.5 kV, será necesario instalar DPS exclusivos a la entrada de estos equipos sensibles.

La Figura 4.10, basada en la información proporcionada por la empresa ABB, muestra los niveles de protección adecuados para distintos equipos eléctricos.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Figura 4.10

Valores de niveles de tensión contra sobretensiones de equipos eléctricos

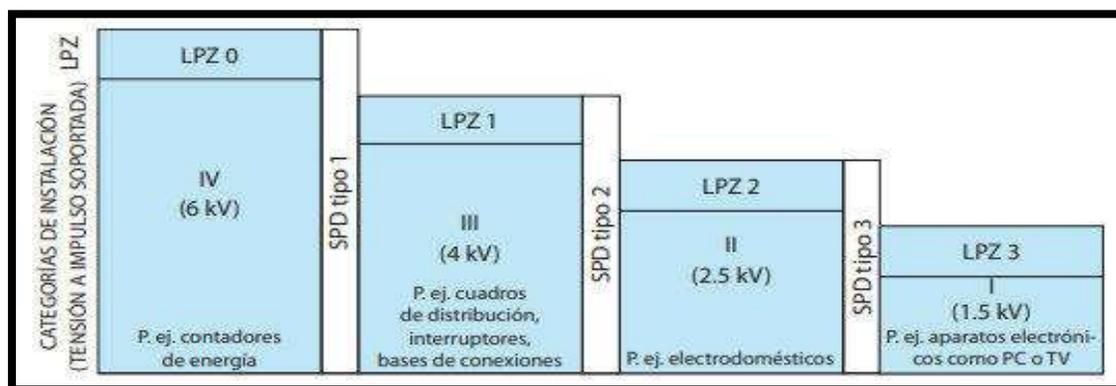
Categorías	U_n		Ejemplos
	230 /400 V	400 /690 V	
I	1500 V	2500 V	Equipos con circuitos electrónicos especialmente sensibles: - ordenadores de estaciones de trabajo, ordenadores, TV, HiFi, vídeo, alarmas, etc; - electrodomésticos con programadores electrónicos, etc.
II	2500 V	4000 V	Electrodomésticos con programadores mecánicos, herramientas
III	4000 V	6000 V	Cuadros de distribución, conmutadores (interruptores, aislantes, bases de conexión, etc.), conductos y sus accesorios (cables, barras de conexión, cajas de conexión, etc.)
IV	6000 V	8000 V	Equipos para uso industrial y otros equipos como motores conectados permanentemente a la red, Contadores, equipos de protección contra sobrecarga, dispositivos de medición remotos, etc.

Fuente: Catalogo técnico protección contra sobretensiones – Empresa ABB

La ubicación y categoría del dispositivo se determinó de acuerdo con la zona de protección, tal como se muestra en la Figura 4.11.

Figura 4.11

Ubicación de los dispositivos contra sobretensiones de acuerdo a la zona de proteccion



Fuente: Catalogo técnico protección contra sobretensiones – Empresa finder

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

El procedimiento para la instalación de los DPS, se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma NTP IEC 62305-4, el cual se describe a continuación:

- 1) Determinar la tensión de impulso soportada U_W del sistema interno a proteger.
- 2) En el límite entre la zona LPZ 0 y LPZ 1 ubicar el DPS 1.
- 3) Seleccionar el nivel de protección de tensión U_{P1} del DPS 1, asegurando que el nivel de protección efectiva $U_{P/f1} \leq U_{W-equipo}$.

donde:
$$U_{P/f1} = U_{P1} + \Delta U$$

$\Delta U = 1kV$, cuando por el DPS circula corriente parcial de rayo (DPS CLASE 1)

$\Delta U = 0$, cuando por el DPS circula corriente inducida de rayo (DPS CLASE 2 y 3)

- 4) Verificar el rango de distancia de protección del equipo DPS 1, el cual es recomendado por el fabricante.
 - Si se cumple los puntos 3 y 4, el equipo está protegido por el DPS 1
 - Si no se cumple los puntos 3 y 4, se necesita un DPS 2 adicional o varios
- 5) Repetir el procedimiento instalando DPS entre las zonas de protección LPZ 1-LPZ 2 y LPZ 2-LPZ 3; hasta que el nivel de tensión soportada del equipo $U_{W-Equipo}$ sea mayor al nivel de protección del DPS.

Capítulo V: Resultados de la Investigación

5.1. Resultados del Análisis de Riesgo inicial

De acuerdo con las indicaciones de la Norma NFPA 780 y la Norma NTP-IEC 62305, se realizó la estimación de riesgo del Hospital de Andahuaylas. Los resultados muestran que el 75% de las estructuras del hospital superan el nivel de riesgo tolerable, lo que indica la necesidad de implementar medidas de protección adicionales para reducir el riesgo de daños por descargas atmosféricas.

Tabla 5.1

Análisis de riesgo y requerimiento inicial del SPCDA para el Hospital de Andahuaylas

Bloque	Riesgo Inicial Según NFPA 780 N_d/N_c	Riesgo inicial Según NTP-IEC 62305 R1/RT	Riesgo Inicial Según NTP-IEC 62305 R2/RT	Análisis de Requerimiento Inicial del SPCDA
A1	80.52	96.940	19.338	Aplicación Recomendable
A2	93.10	96.001	19.145	Aplicación Recomendable
B	103.15	96.240	19.190	Aplicación Recomendable
C	3981.96	776.038	15.491	Aplicación Recomendable
D1	1.39	0.008	0.000	Aplicación Recomendable
D2	7.11	8.376	6.694	Aplicación Recomendable
D3	7.52	8.594	6.851	Aplicación Recomendable
D4	1.81	836.384	6.703	Aplicación Recomendable
D5	1.81	836.384	6.703	Aplicación Recomendable
D6	11.15	836.384	6.703	Aplicación Recomendable
D7	2.27	34.474	6.871	Aplicación Recomendable
D8	0.53	0.012	0.000	Aplicación Opcional
D9	0.29	0.012	0.000	Aplicación Opcional
D10	0.63	0.012	0.000	Aplicación Opcional
E1	2.12	22.709	6.799	Aplicación Recomendable
E2	2.61	23.150	6.914	Aplicación Recomendable
E3	1.10	22.736	6.792	Aplicación Recomendable
F1	0.58	22.180	6.653	Aplicación Opcional
F2	1.32	61.894	18.544	Aplicación Recomendable
F3	62.15	95.976	19.154	Aplicación Recomendable
F4	35.49	22.746	6.821	Aplicación Recomendable
G1	30.00	64.059	19.188	Aplicación Recomendable

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

G2	5.56	62.373	18.686	Aplicación Recomendable
G3	6.21	62.688	18.793	Aplicación Recomendable
H1	10.88	23.187	6.926	Aplicación Recomendable
H2	12.35	64.454	19.302	Aplicación Recomendable
I1	0.20	0.012	0.000	Aplicación Opcional
I2	0.20	0.012	0.012	Aplicación Opcional
I3	0.20	0.012	0.012	Aplicación Opcional
I4	0.20	0.012	0.012	Aplicación Opcional
K1	11.21	1.715	1.715	Aplicación Recomendable
K2	3.03	2.363	2.363	Aplicación Recomendable

Fuente: Elaboración Propia

5.2. Resultados del Análisis de Riesgo Final

De acuerdo con la Tabla 4.11 del Capítulo IV, en la que se especifican los niveles de protección externo e interno necesarios para los bloques del Hospital de Andahuaylas, se llevó a cabo el análisis de riesgo final. Los resultados de este análisis muestran que, con la implementación de las medidas de protección propuestas, los valores de riesgo calculados para cada bloque se encuentran ahora por debajo del nivel de riesgo tolerable, cumpliendo con los estándares de seguridad establecidos.

Tabla 5.2

Análisis de riesgo y requerimiento final del SPCDA para el Hospital de Andahuaylas

Bloque	Riesgo Final	Riesgo Final	Análisis de Requerimiento Final del SPCDA
	Según NTP-IEC 62305 R1/RT	Según NTP-IEC 62305 R2/RT	
A1	0.984	0.194	Aplicación Opcional
A2	0.977	0.192	Aplicación Opcional
B	0.981	0.192	Aplicación Opcional
C	0.987	0.058	Aplicación Opcional
D1	0.002	0.000	Aplicación Opcional
D2	0.419	0.335	Aplicación Opcional
D3	0.436	0.346	Aplicación Opcional
D4	0.640	0.006	Aplicación Opcional
D5	0.640	0.006	Aplicación Opcional
D6	0.640	0.006	Aplicación Opcional

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

D7	0.703	0.138	Aplicación Opcional
D8	0.002	0.000	Aplicación Opcional
D9	0.002	0.000	Aplicación Opcional
D10	0.002	0.000	Aplicación Opcional
E1	0.458	0.136	Aplicación Opcional
E2	0.473	0.138	Aplicación Opcional
E3	0.463	0.136	Aplicación Opcional
F1	0.444	0.133	Aplicación Opcional
F2	0.624	0.186	Aplicación Opcional
F3	0.984	0.192	Aplicación Opcional
F4	0.454	0.136	Aplicación Opcional
G1	0.649	0.192	Aplicación Opcional
G2	0.628	0.187	Aplicación Opcional
G3	0.629	0.188	Aplicación Opcional
H1	0.472	0.139	Aplicación Opcional
H2	0.654	0.193	Aplicación Opcional
I1	0.002	0.000	Aplicación Opcional
I2	0.002	0.000	Aplicación Opcional
I3	0.002	0.000	Aplicación Opcional
I4	0.002	0.000	Aplicación Opcional
K1	0.021	0.018	Aplicación Opcional
K2	0.027	0.028	Aplicación Opcional

Fuente: Elaboración Propia

5.3. Validación del Trabajo de Tesis

Con respecto al diseño de protección contra descargas atmosféricas del Hospital de Andahuaylas, se indica lo siguiente:

- Todos los bloques que conforman el Hospital de Andahuaylas, estarán cobertura dos al 100%, para los fenómenos debido a para descargas directas e indirectas en la estructura, como también las descargas directas e indirectas en la línea de servicio que ingresa a la estructura. Esto se demuestra en el análisis de las componentes de riesgo que se detalla en las tablas 4.12 y 4.13.
- El sistema de protección garantizará una eficiencia del 100% frente a descargas atmosféricas del tipo nube-tierra (incluyendo el primer impacto negativo, impactos

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

subsecuentes e impactos positivos), con una cobertura del 95% de probabilidad de ocurrencia, conforme a los parámetros establecidos por el CIGRE.

- El tipo y la cantidad de elementos que conformarán el sistema de protección contra descargas atmosféricas propuesto se encuentran detallados en la Tabla 4.16, así como en los planos presentados en el Anexo 04.
- De acuerdo con las simulaciones realizadas en el programa ETAP, el diseño inicial del sistema de puesta a tierra presenta una resistencia de 2.143 ohmios, valor que se encuentra por debajo del límite máximo de 5 ohmios establecido por la Norma Técnica de Salud NTS N° 110-MINSA/DGIEM-V.01.
- De acuerdo con las simulaciones realizadas en el programa ETAP para el diseño inicial del sistema de puesta a tierra, el valor de la tensión de paso calculado se encuentra por debajo del límite tolerable, garantizando la seguridad de las personas en este aspecto. Sin embargo, la tensión de toque calculada supera el valor tolerable, por lo que es necesario implementar mejoras en el terreno o añadir una capa adicional de grava para reducir la tensión de toque a niveles aceptables y garantizar la seguridad completa.

Con respecto a la seguridad del Hospital de Andahuaylas contra los efectos de las descargas atmosféricas, se indica lo siguiente:

- Con el nuevo sistema de protección contra descargas atmosféricas propuesto, el riesgo de daño a la estructura, los equipos eléctricos y las personas se reduce a niveles por debajo de los valores tolerables, lo que garantiza su efectividad y cumplimiento con los estándares de seguridad establecidos.
- El nivel de protección requerido para cada bloque del hospital se especifica en la Tabla 4.16, destacando que el Nivel I es el más exigente en términos de seguridad.

Conclusiones

1. El sistema de protección contra descargas atmosféricas propuesto para el Hospital de Andahuaylas garantiza una protección adecuada contra descargas de tipo nube-tierra (primer impacto negativo, impactos subsecuentes e impactos positivos) con una cobertura del 95% de probabilidad de ocurrencia, conforme a los parámetros indicados por el CIGRE. Esta implementación reduce significativamente el riesgo de pérdidas de vidas humanas y fallos en el servicio público, que anteriormente superaban hasta 836 y 19 veces el riesgo tolerable según la norma NTP-IEC 62305, como se muestra en las Tablas 4.14 y 4.15.

Es importante mencionar que, aunque el diseño de la malla de puesta a tierra reduce considerablemente los riesgos, no elimina totalmente el peligro asociado a tensiones de toque. Por ello, es necesario aplicar medidas complementarias, como la instalación de una capa de grava y el aislamiento de los conductores de bajada para evitar contacto accidental. Asimismo, el tratamiento del terreno para reducir la resistividad del suelo, como se presenta en la Tabla 4.25, es fundamental para minimizar aún más las tensiones de toque y de paso, mejorando así la seguridad general del sistema de protección propuesto.

2. El diagnóstico del sistema de protección contra descargas atmosféricas del Hospital de Andahuaylas, realizado conforme a las normativas NFPA 780 y NTP IEC-62305, reveló que los niveles de riesgo en los bloques del hospital superan significativamente los valores tolerables establecidos en ambas normativas. Este análisis permitió identificar las vulnerabilidades específicas de cada bloque, proporcionando información clave para implementar acciones correctivas que incrementen la seguridad de la infraestructura hospitalaria.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Las diferencias en los resultados de riesgo, destacadas en la Tabla 4.4 (NFPA 780) y la Tabla 4.8 (NTP IEC-62305), se deben a las divergencias en el enfoque analítico de ambas normativas. La NFPA 780 se centra principalmente en evaluar los impactos directos de descargas atmosféricas sobre la estructura, mientras que la NTP IEC-62305 adopta un enfoque más integral al considerar tanto las descargas directas como los efectos indirectos de los rayos sobre las líneas de servicio, como electricidad y telecomunicaciones.

Este enfoque más completo de la NTP IEC-62305 resulta especialmente pertinente en edificaciones críticas como los hospitales, donde la continuidad de los servicios esenciales y la mitigación de riesgos indirectos son factores cruciales. Por lo tanto, esta normativa se presenta como la opción más adecuada y exhaustiva para la evaluación del riesgo por descargas atmosféricas en infraestructuras hospitalarias, asegurando una mayor resiliencia frente a eventos de este tipo.

3. Basado en los resultados del análisis de riesgo inicial, se implementaron modificaciones para reducir el nivel de riesgo total a valores inferiores al riesgo tolerable. Esto permitió definir el nivel de protección externo e interno necesario en cada bloque del Hospital de Andahuaylas para garantizar la seguridad de las personas y las instalaciones. Los niveles de protección específicos de cada bloque se encuentran en la Tabla 4.11, mientras que los valores ajustados de riesgo, que ahora son inferiores al riesgo tolerable, se demuestran en la Tabla 4.14. Así, se puede confirmar que la seguridad del hospital frente a descargas atmosféricas ha mejorado sustancialmente.

Es importante mencionar que un análisis de riesgo de esta precisión solo es posible mediante el método detallado en la NTP IEC-62305, ya que esta normativa proporciona una metodología

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

integral para abordar tanto descargas directas como efectos indirectos del rayo, lo cual es crucial para la protección de edificios complejos como hospitales

4. El diseño propuesto para el sistema de protección contra descargas atmosféricas en el Hospital de Andahuaylas se compone de cuatro elementos fundamentales:

a) **Dispositivos captadores:** Se seleccionaron pararrayos del tipo Franklin, los cuales están avalados por la norma NTP IEC-62305 y la norma NFPA 780. No se consideró la instalación de pararrayos activos tipo PDC debido a la falta de evidencia concreta de su efectividad en condiciones naturales y a que no están respaldados por la normativa nacional.

b) **Conductores de bajada:** Estos serán de cobre desnudo con un diámetro mínimo de 35 mm². Deberán cumplir con las distancias de separación adecuadas respecto a personas y otras instalaciones. Además, se recomienda que los conductores de bajada estén aislados con material de polietileno reticulado o de características similares, recubriendo el conductor hasta una altura de 3 metros para prevenir accidentes.

c) **Malla de puesta a tierra:** Este componente está diseñado para proteger la integridad de las personas contra las tensiones de toque y de paso. Se utilizó el software ETAP para modelar el diseño, que inicialmente presentó una resistencia del suelo menor a 5 ohmios, cumpliendo con la normativa. Sin embargo, se identificó que no se cumplían los límites de tensión de toque, por lo que se plantea mejorar el diseño considerando dos opciones: aumentar la capa de grava a 5 cm o mejorar el terreno para reducir su resistividad.

d) **Dispositivos contra sobretensiones (DPS):** Se instalarán DPS en cada tablero para proteger los equipos eléctricos y electrónicos hasta un rango de 1.5 kV. En caso de que se instalen equipos que toleren menores tensiones de impulso, se requerirán DPS de Clase III en la

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

entrada de conexión de cada uno de estos dispositivos. Es crucial que la instalación de los DPS se realice conforme a las recomendaciones de cada fabricante.

Este diseño integral tiene como objetivo maximizar la seguridad del hospital ante descargas atmosféricas, garantizando tanto la protección de las personas como la integridad de los equipos y la infraestructura.

Sugerencias

Estas sugerencias están destinadas a fortalecer el sistema de protección contra descargas atmosféricas y a asegurar la continuidad de las operaciones en el Hospital de Andahuaylas

- 1. Mantenimiento periódico:** Se recomienda realizar un mantenimiento del sistema de protección contra descargas atmosféricas entre dos y tres veces al año. Este mantenimiento es crucial para asegurar que todos los componentes del sistema, como los captores, conductores de bajada y malla de puesta a tierra, funcionen de manera efectiva. Un mantenimiento regular garantizará la correcta captación, transporte y dispersión de la energía del rayo a tierra, minimizando el riesgo de daños a la infraestructura y a las personas.
- 2. Ampliación del análisis de riesgo:** El análisis de riesgo actual se ha centrado únicamente en los circuitos de energía eléctrica. Se sugiere incluir en futuras evaluaciones otros circuitos, como los de fibra óptica y TV-cable, para obtener una estimación más completa del riesgo. Esta inclusión permitirá identificar y mitigar posibles fallas en los sistemas de señal débil, lo que es especialmente importante en un entorno crítico como un hospital.
- 3. Estudio de resistividad del terreno:** Es fundamental realizar un estudio de la resistividad del terreno en el Hospital de Andahuaylas para verificar la efectividad de la malla de puesta a tierra. Si los resultados muestran que la resistencia no cumple con los estándares requeridos, se deberán implementar medidas para mejorarla. Además, se recomienda que todas las puestas a tierra instaladas para sistemas de media tensión, baja tensión y otros estén interconectadas con la malla diseñada para descargas atmosféricas. Esta interconexión es esencial para mejorar la dispersión de la corriente del rayo y para minimizar las tensiones de paso, lo que incrementará la seguridad de la instalación.

Bibliografía

- Acosta, B. (17 de Febrero de 2020). *Diferencia entre rayo y relámpago*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/diferencia-entre-rayo-y-relampago-2583.html>
- Alberto Medina , J. (2021). *Curso de proteccion contra rayos a nivel industrial*. INEL.
- Almao, D. (26 de febrero de 2022). *Pararrayos: funcionamiento, instalación, tipos, precios y curiosidades*. Obtenido de <https://www.cinconoticias.com/pararrayos/>
- Aplicaciones Tecnologicas. (13 de diciembre de 2018). *Aplicaciones Tecnológicas ha participado en la Sesión Plenaria para tratar sobre la 3ra edicion de la norma IEC 62305*. Obtenido de <https://at3w.com/blog/aplicaciones-tecnologicas-ha-participado-en-la-sesion-plenaria-del-tc-81-en-china-2/>
- Arbelaez G., M., & Sanz A., J. H. (2006). Proteccion externa de edificaciones contra descargas atmosfericas. *Scientia Et Technica*, 165-168.
- Castillo Herrera, M. M. (17 de Junio de 2014). *Sistema de Proteccion Contra Descargas Atmosfericas en Edificios Aplicando la Norma NMX-J-549*. Mexico D.F., Mexico.
- Centro de Operaciones de Emergencia Regional - Apurimac. (06 de Enero de 2023). *COER APURIMAC, Aviso meteorologico Nro 01-2023*. Obtenido de <https://www.facebook.com/coerapurimac/>
- Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion. (17 de enero de 2006). Lima, Lima, Peru.
- Donaire Martinez, A. Y., & Gago Maldonado, M. C. (2018). *Diseño de un sistema de proteccion de descarga atmosferica y sobre tensiones para un edificio de apartamentos*. Tesis de grado.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

El Comercio. (10 de Abril de 2020). *Apurímac: Niña muere y su hermana queda grave tras caerles rayo en Andahuaylas*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/apurimac/apurimac-nina-muere-y-su-hermana-queda-grave-tras-caerles-rayo-en-andahuaylas-nnpp-noticia/>

El Comercio. (23 de Marzo de 2020). *Apurímac: una adolescente de 17 años murió tras ser impactada por un rayo*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/apurimac/apurimac-adolescente-de-17-anos-muere-tras-ser-impactada-por-un-rayo-nnpp-noticia/>

Galvan Diego, A., & Velazquez Sanchez, R. (2001). *Proteccion contra el efecto de las tormentas electricas de estructuras y edificios: conceptos basicos, evolucion y aplicacion en Mexico*. Instituto de Investigaciones Electricas.

Gestion. (30 de 03 de 2017). Obtenido de <https://gestion.pe/tendencias/management-empleo/peru-registra-mayor-numero-muertes-laborales-rayos-tormentas-latinoamerica-131964-noticia/?ref=gesr>

Global Hydrometeorology Resource Center. (28 de Agosto de 2022). *Lightning Research*. Obtenido de GHRC-NASA: <https://ghrc.nsstc.nasa.gov/lightning/>

Gomez, R. (05 de Setiembre de 2011). *Sistema de Puesta a Tierra - Teoria, Diseño y Mantenimiento*. Obtenido de <https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html>

Grupo de Electricidade Atmosferica do Brasil. (28 de Agosto de 2022). *Referencia Mundial nas Pesquisas sobre Raios*. Obtenido de <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/aquecimento.global.php>

INGESCO. (24 de Marzo de 2020). *Normativas de Proteccion Contra el Rayo*. Obtenido de <https://www.ingesco.com/es/noticias/normativas-proteccion-contra->

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La Republica. (27 de Febrero de 2022). *Apurímac: dos menores fallecieron tras ser alcanzados*

por rayo en Andahuaylas. Obtenido de La Republica:

[https://larepublica.pe/sociedad/2022/02/27/apurimac-2-menores-fallecieron-tras-ser-](https://larepublica.pe/sociedad/2022/02/27/apurimac-2-menores-fallecieron-tras-ser)

[alcanzados-por-rayo-en-andahuaylas-lrsd/](https://larepublica.pe/sociedad/2022/02/27/apurimac-2-menores-fallecieron-tras-ser-alcanzados-por-rayo-en-andahuaylas-lrsd/)

Martinez, J. M. (19 de Diciembre de 2017). *Calculo Metodo de la Esfera Rodante. Deduccion de*

las Ecuaciones que Permitan Determinar Analiticamente la Ubicacion Segura de un

Conjunto de Pararrayos en Edificaciones Utilizando ell Metodo de la Esfera Rodante.

Barranquilla, Colombia.

Minas, M. d. (17 de enero de 2006). *Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion.* Lima, Lima,

Peru.

Ministerio de Energia y Minas de Colombia . (2024). *Reglamento Tecnico de Instalaciones*

Electricas - RETIE. colombia.

Ministerio de Salud. (1 de Setiembre de 2014). *Norma Tecnica de Salud N° 110-MINSA/DGIEM.*

Infraestructura y Equipamiento de los Establecimientos de Salud del Segundo Nivel de

Atencion. Lima, Lima, Peru.

NFPA-780. (2008). *Norma para la Instalacion de sistemas de Proteccion contra Rayos.*

Norma Tecnica Peruana 62305-1. (2015). *Proteccion Contra el Rayo. Parte 1: Principios*

Generales. Lima: INACAL.

Norma Tecnica Peruana 62305-2. (2015). *Proteccion contra el rayo. Parte 2: Evaluacion del*

riesgo. Lima: INACAL.

Norma Tecnica Peruana 62305-3. (2015). *Proteccion contra el rayo. Parte 3: Daño fisico a*

estructuras y riesgo humano. Lima: INACAL.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Norma Tecnica Peruana 62305-4. (2015). *Proteccion contra el rayo. Parte 4: Sistemas electricos y electronicos en estructuras*. Lima: INACAL.

Ospina, F. C. (Diciembre de 2005). *Tierras - Soporte de la Seguridad Electrica*. Bogota, Colombia: ICONTEC.

Radio Programas del Peru. (12 de Diciembre de 2022). *Andahuaylas: Constantes rayos y truenos atemorizan a pobladores*. Obtenido de RPP Noticias: <https://rpp.pe/peru/actualidad/andahuaylas-constant-rayos-y-truenos-atemorizan-a-pobladores-noticia-548565>

Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad. (04 de Abril de 2013). Lima, Lima, Peru.

Rodriguez Jimenez, R. M., Benito Capa, A., & Portela Lozano, A. (2004). *Metereologia y Climatologia*. Salamanca: Villena Artes Graficas.

Rojas, G. (2007). *Manual de Sistemas de Puesta a Tierra*. Caracas, Venezuela.

Rojas, G. (Enero de 2018). *Proteccion contra sobrevoltajes Parte 1*. Caracas, Venezuela.

Rojas, G. (Febrero de 2018). *Proteccion contra sobrevoltajes Parte 2*. Caracas, Caracas, Venezuela.

Sanchez Huaman, M. R., & Escalante Aguirre, V. E. (2016). *Diseño de sistema de proteccion contra descargas atmosfericas de la Ciudad Universitaria de Perayoc-2016*. Tesis de grado.

Sanz A., J. H., Duque C., E., & Gomez E., S. (2010). *La Resistividad del Suelo en Funcion de la Frecuencia*. *Scientia Et Technica*, 6.

Sierra Tamara, L. J., & Escobar Morales, G. A. (2004). *Investigacion sobre descargas electricas Atmosfericas en Colombia*. Tesis de grado.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Universidad Tecnológica Nacional. (s.f.). *Protecciones contra sobretensiones por descargas atmosféricas*. Obtenido de

[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/5_anio/transmision_distribucion_energia_electrica/files/Protecciones%20contra%20sobretensiones%20-%20Descargas%20atmosf%C3%A9ricas_rev.1%20\(1\).pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/5_anio/transmision_distribucion_energia_electrica/files/Protecciones%20contra%20sobretensiones%20-%20Descargas%20atmosf%C3%A9ricas_rev.1%20(1).pdf)

Victor, R. S. (2020). *Análisis del Comportamiento de los Electrodo de Puesta a Tierra ante Altas Frecuencias. Aplicación a Descargas Atmosféricas*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Matriz de consistencia

Título: Diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas para mejorar la seguridad del hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general		
¿Cuál es el diseño del sistema protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023?	Determinar el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.	Un nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas mejora la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.	<p>Variable Independiente: Diseño de sistema de protección contra descargas atmosféricas I1: Cobertura del sistema de protección. I2: Eficiencia del sistema de protección I3: Tipo y cantidad de elementos del sistema de protección I4: Resistencia del sistema de puesta a tierra I5: Tensión de toque y de paso</p> <p>Variable Dependiente: Seguridad del Hospital frente a descargas atmosféricas I1: Reducción de riesgo de daño a la estructura, equipos eléctricos y personas I2: Nivel de protección del sistema I3: Percepción de seguridad del personal y usuarios del hospital</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo y descriptivo</p> <p>Tipo: Aplicado</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Técnica/Instrumento Revisión documental (normativas y planos)</p> <p>Inspección técnica en campo</p> <p>Medición eléctrica</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		
¿Cómo influye la evaluación del nivel de riesgo actual frente a las descargas atmosféricas en el diseño de medidas de protección para mejorar la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac - 2023?	Determinar cómo la evaluación del nivel de riesgo actual frente a las descargas atmosféricas puede influir en el diseño e implementación de medidas que mejoren la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac, en el año 2023	La evaluación del nivel de riesgo actual frente a las descargas atmosféricas permite identificar vulnerabilidades críticas y diseñar medidas específicas que mejoran la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac, en el año 2023		
¿Cuál es el nivel de protección frente a las descargas atmosféricas que se requiere implementar para mejorar la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023?	Determinar el nivel de protección frente a las descargas atmosféricas para mejorar la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.	La seguridad frente a las descargas atmosféricas del Hospital de Andahuaylas mejora con la implementación del nivel de protección.		
¿Cuáles son los dispositivos que constituirá el nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023?	Seleccionar los dispositivos que constituirá el nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.	Los dispositivos que constituirá el nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas garantizan la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023.		

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Matriz de Operacionalidad de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas (Variable Independiente)	Proceso de creación de un sistema eléctrico y físico que protege las instalaciones hospitalarias contra los efectos de las descargas atmosféricas	Implementación de pararrayos, sistemas de puesta a tierra, conductores de bajada, y otros elementos de protección según normativas	<p>1. Estructural: Instalación de componentes físicos como pararrayos.</p> <p>2. Normativa: Cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales de protección</p> <p>3. Eléctrica: Evaluación de la capacidad de conducción y resistencia del sistema</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura del sistema de protección (%) - Eficiencia del sistema de protección (kA) - Resistencia del sistema de puesta a tierra (Ohmios) - Tensión de toque y de paso (Voltios) 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de documentos normativos - Inspección técnica - Medición con equipos - Simulaciones con software
Seguridad del hospital frente a descargas atmosféricas (Variable Dependiente)	Nivel de protección alcanzado para mitigar los efectos de las descargas atmosféricas, protegiendo la infraestructura, equipos del hospital y personal	Evaluación de la reducción del riesgo de daños en la infraestructura y equipos médicos, y el nivel de protección frente a descargas atmosféricas	<p>1. Reducción de Riesgos: Disminución de las probabilidades de daños o fallas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de riesgo de daño a la estructura, equipos eléctricos y personas - Nivel de protección del sistema - Percepción de seguridad del personal y usuarios del hospital 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulaciones con software - Encuestas de percepción - Observación directa

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

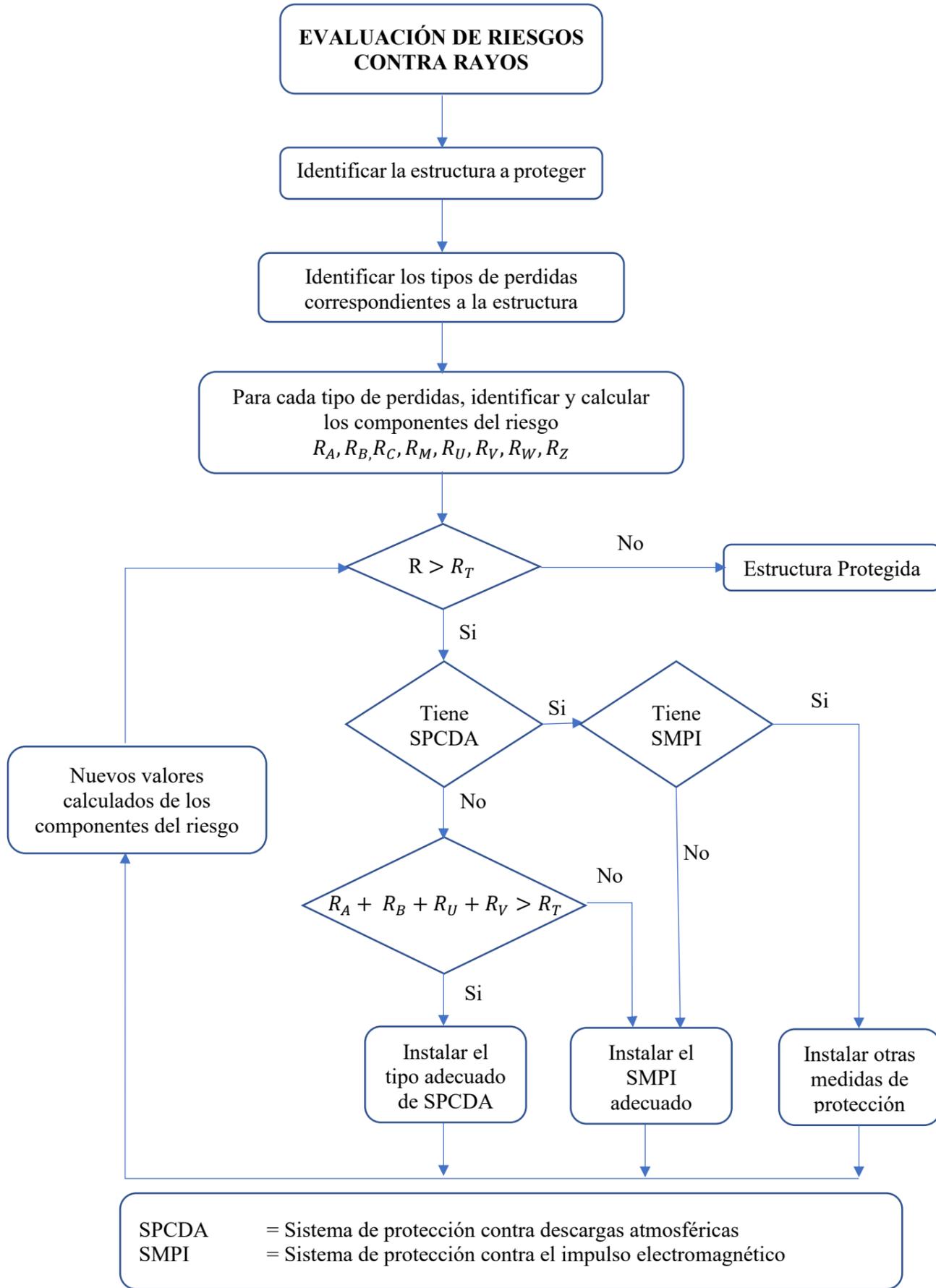
Matriz de Operacionalidad de Variables

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Inseguridad del Hospital de Andahuaylas frente a los efectos de las descargas atmosféricas	Diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas que mejore la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023	Un nuevo diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas mejora la seguridad del Hospital de Andahuaylas, Apurímac-2023	Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas (Variable Independiente)	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura del sistema de protección (%) - Eficiencia del sistema de protección (kA) - Resistencia del sistema de puesta a tierra (Ohmios) - Tensión de toque y de paso (Voltios) 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de documentos normativos - Inspección técnica - Medición con equipos - Simulaciones con software
			Seguridad del hospital frente a descargas atmosféricas (Variable Dependiente)	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de riesgo de daño a la estructura, equipos eléctricos y personas - Nivel de protección del sistema - Percepción de seguridad del personal y usuarios del hospital 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulaciones con software - Observación directa - Encuestas de percepción

ANEXOS

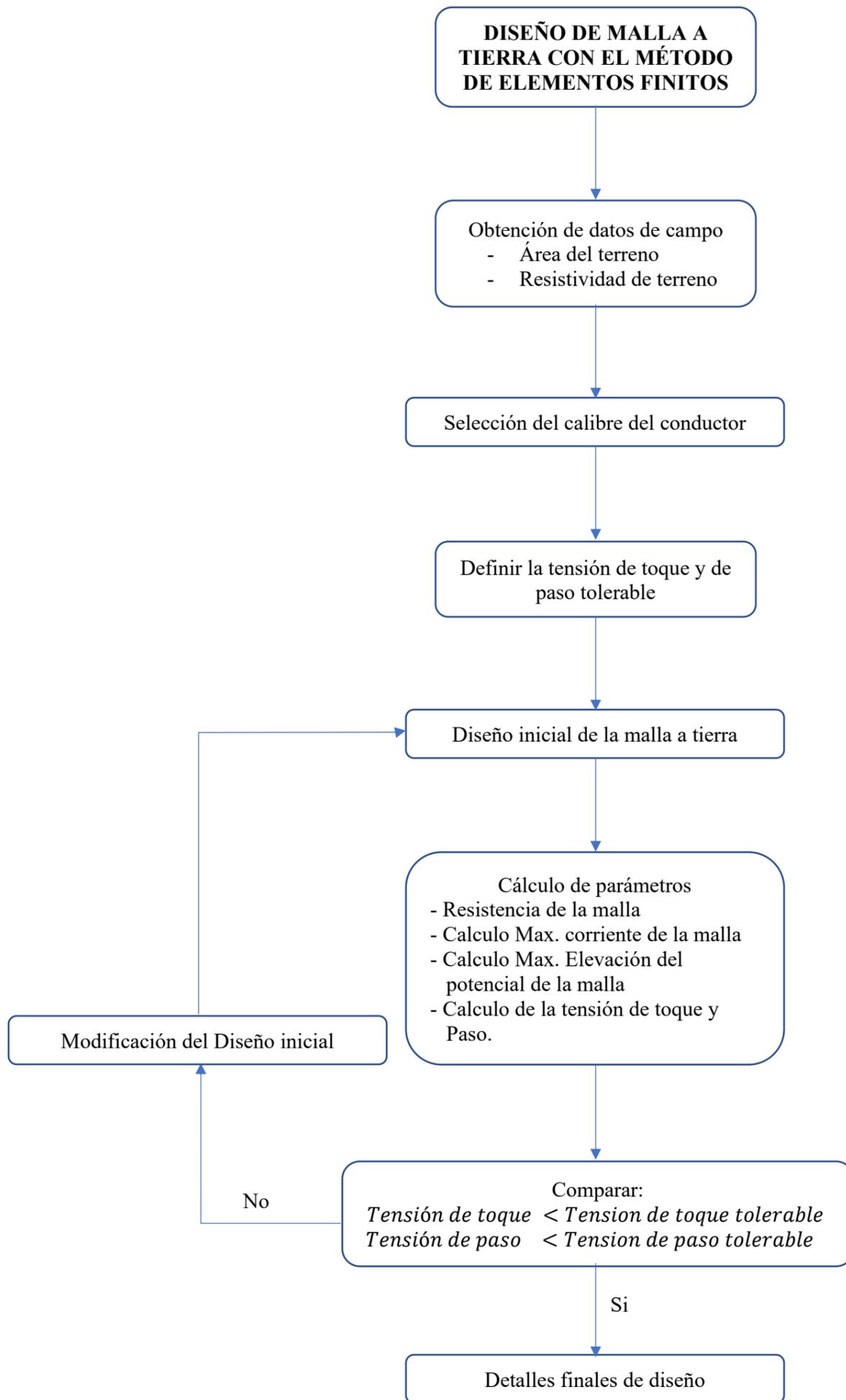
Anexo 01

A.1.1. Flujograma para decidir la necesidad de implementación del sistema de protección y selección de las medidas de protección



Fuente: (Norma Técnica Peruana 62305-2, 2015)

A.1.2. Flujograma para el diseño de malla de puestas a tierra con el Metodo de Elementos Finitos



Anexo 02

A.2.1. Procedimiento para el análisis de riesgo del Bloque C, bajo enfoque normativo NTP IEC-62305-2

NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE SPCDA HOSPITAL ANDAHUAYLAS				
ANÁLISIS DE RIESGO INICIAL:			BLOQUE C	
DATOS DEL MEDIO AMBIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA				
PARAMETRO	OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
Densidad de descargas a tierra [descargas/año]	Datos obtenidos de OSINERGMIN	N_G	5.00	https://gisem.osinergmin.gob.pe/Descargas_Atmosfericas/
Dimensión de la estructura [metro]	BLOQUE C	L	44.7	Valores obtenidos del Expediente técnico del Hospital
		W	59.45	
		H	26.85	
Factor de localización de la estructura	Estructura rodeada por objetos de la misma altura o más pequeños	C_D	0.5	TABLA A1 - IEC62305
Factor en función del nivel de protección del SPCDA	Sin SPCDA	P_B	1	TABLA B2 - IEC62305
Factor en función del nivel de protección de los DPS	Ningún DPS	P_{EB}	1	TABLA B7 - IEC62305
Apantallamiento externo espacial de la estructura	Ninguno	K_{S1}	1	ECUACION B.5 - IEC62305

DATOS DE LA LINEA DE ENERGIA				
PARAMETRO	OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
Longitud de la línea de energía [metro]	Distancia de tablero general a tablero de distribución	L_L	338.20	Valor obtenidos del Expediente técnico del Hospital
Factor en función de la instalación de la línea	subterránea	C_1	0.5	TABLA A2 - IEC62305
Factor en función del tipo de línea	Línea de energía de BT, telecomunicaciones o de datos.	C_T	1	TABLA A3 - IEC62305
Factor en función del medio ambiente de la línea	Urbana con edificios altos mayores a 20 metros	C_E	0.01	TABLA A4 - IEC62305
Factor que depende del apantallamiento, puesta a tierra, y condiciones de aislamiento de la línea de energía	Línea de energía múltiple con neutro conectado a tierra	C_{LD}	1	TABLA B4 - IEC62305
		C_{LI}	0.2	
Dimensionamiento de la estructura Adyacente que suministra energía	BLOQUE K2	L_J	8.35	Valores obtenidos de GIS ELSE
		W_J	8.3	
		H_J	5.45	
Factor de localización de la estructura adyacente	Estructura rodeada por objetos más altos	C_{DJ}	0.25	TABLA A1 - IEC62305
Tensión soportada del sistema interno (kV)	Equipos especialmente protegidos o equipos sensibles	U_W	1.5	TABLA DE LA IEC 60364-4-44
Factor de capacidad de soporte del sistema frente al impulso de rayo	Valor en función de U_W	K_{S4}	0.7	ECUACION B.7 - IEC62305
Factor de falla de los sistemas internos debido a una descarga en la línea conectada, depende de las características de la línea	Valor en función de R_S y U_W	P_{LD}	1.0	TABLA B8 - IEC62305
Factor de falla de los sistemas internos debido a una descarga en la línea conectada, depende de las características de la línea y la tensión de soporte	líneas de energía con U_W igual a 1.5 kV	P_{LI}	0.6	TABLA B9 - IEC62305

FACTORES PARA BLOQUE DE HABITACIONES Y OTROS (ZONA 2)					
PARAMETRO	OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA	
Factor de reducción en función del Tipo de superficie del suelo o piso	Mármol, cerámica	r_t	0.001	TABLA C3 - IEC62305	
Factor de probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños por tensión de toque y de paso	Sin medidas de protección	P_{TA}	1	TABLA B1 - IEC62305	
Factor de probabilidad que una descarga en la línea produzca daños por tensiones de toque	Ninguna medida de protección	P_{TU}	1	TABLA B6 - IEC62305	
Factor de reducción en función del riesgo de incendio o explosión en la estructura	Riesgo de incendio Normal	r_f	0.01	TABLA C5 - IEC62305	
Factor de reducción en función de las previsiones para reducir las consecuencias del fuego	Instalación de extinguidores fijos operados automáticamente, instalación de alarma automáticos.	r_p	0.2	TABLA C4 - IEC62305	
Pantalla espacial interna de la estructura	Ninguno	K_{S2}	1	ECUACION B.6 - IEC62305	
RED DE ENERGIA ELECTRICA	Factor en función del tipo de cableado interno	Cable sin pantalla - sin precauciones de trazado del cableado para evitar lazos (1)	K_{S3}	1	TABLA B5 - IEC62305
	Factor en función de la instalación de DPS	Sin protección coordinada de DPS	P_{DPS}	1	TABLA B3 - IEC62305
TIPO DE PERDIDA L1 (pérdida de vidas humanas)	Factor de aumento de pérdidas en función de la presencia de riesgo especial	Dificultad de evacuación (estructuras con personas invalidas, hospitales)	h_z	5	TABLA C6 - IEC62305
	D1: Daños a seres vivos por choque eléctrico (Tensiones de toque y de paso)	Todos los tipos de heridas	L_T	0.01	TABLA C2 - IEC62305
	D2: Daños físicos	Hospital, hotel, escuela, edificio cívico	L_F	0.1	
	D3: Daños en sistemas eléctricos y electrónicos (falla en sistemas internos)	otras partes del hospital	L_O	0.001	
	Factor de aumento de pérdidas por presencia continua de personas en la estructura	$\frac{n_z}{n_t} * \frac{t_z}{8760}$	-	0.332	
TIPO DE PERDIDA L2 (perdida inaceptable de servicio público)	D2: Daños físicos	Gas, agua, suministro de energía	L_F	0.1	TABLA C8 - IEC62305
	D3: Daños en sistemas eléctricos y electrónicos (falla en sistemas internos)	Gas, agua, suministro de energía	L_O	0.01	TABLA C8 - IEC62305
	Factor de aumento de pérdidas por presencia de personas en la estructura	$\frac{n_z}{n_t}$	-	0.664	
FACTORES PARA BLOQUE DE SALA DE OPERACIONES (ZONA 3)					
PARAMETRO	OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA	
Factor de reducción en función del Tipo de superficie del suelo o piso	Mármol, cerámica	r_t	0.001	TABLA C3 - IEC62305	
Factor de probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños por tensión de toque y de paso	Sin medidas de protección	P_{TA}	1	TABLA B1 - IEC62305	
Factor de probabilidad que una descarga en la línea produzca daños por tensiones de toque	Ninguna medida de protección	P_{TU}	1	TABLA B6 - IEC62305	
Factor de reducción en función del riesgo de incendio o explosión en la estructura	Riesgo de incendio Normal	r_f	0.01	TABLA C5 - IEC62305	
Factor de reducción en función de las previsiones para reducir las consecuencias del fuego	Instalación de extinguidores fijos operados automáticamente, instalación de alarma automáticos.	r_p	0.2	TABLA C4 - IEC62305	
Pantalla espacial interna de la estructura	Ninguno	K_{S2}	1	ECUACION B.6 - IEC62305	
ENERGIA	Factor en función del tipo de cableado interno	Cable sin pantalla - sin precauciones de trazado del cableado para evitar lazos (1)	K_{S3}	1	TABLA B5 - IEC62305
	Factor en función de la instalación de DPS	Sin protección coordinada de DPS	P_{DPS}	1	TABLA B3 - IEC62305

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

TIPO DE PERDIDA L1 (pérdida de vidas humanas)	Factor de aumento de pérdidas en función de la presencia de riesgo especial	Dificultad de evacuación (estructuras con personas invalidas, hospitales)	h_Z	5	TABLA C6 - IEC62305
	D1: Daños a seres vivos por choque eléctrico (Tensiones de toque y de paso)	Todos los tipos de heridas	L_T	0.01	TABLA C2 - IEC62305
	D2: Daños físicos	Hospital, hotel, escuela, edificio cívico	L_F	0.1	
	D3: Daños en sistemas eléctricos y electrónicos (falla en sistemas internos)	Unidad de cuidados intensivos y salas de operación de hospitales	L_O	0.01	
	Factor de aumento de pérdidas por presencia continua de personas en la estructura	$\frac{n_Z}{n_t} * \frac{t_Z}{8760}$	-	0.051	
TIPO DE PERDIDA L2 (perdida inaceptable de servicio público)	D2: Daños físicos	Gas, agua, suministro de energía	L_F	0.1	TABLA C8 - IEC62305
	D3: Daños en sistemas eléctricos y electrónicos (falla en sistemas internos)	Gas, agua, suministro de energía	L_O	0.01	TABLA C8 - IEC62305
	Factor de aumento de pérdidas por presencia de personas en la estructura	$\frac{n_Z}{n_t}$	-	0.051	

FACTORES PARA BLOQUE DE UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (ZONA 4)					
	PARAMETRO	OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
	Factor de reducción en función del Tipo de superficie del suelo o piso	Mármol, cerámica	r_t	0.001	TABLA C3 - IEC62305
	Factor de probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños por tensión de toque y de paso	Sin medidas de protección	P_{TA}	1	TABLA B1 - IEC62305
	Factor de probabilidad que una descarga en la línea produzca daños por tensiones de toque	Ninguna medida de protección	P_{TU}	1	TABLA B6 - IEC62305
	Factor de reducción en función del riesgo de incendio o explosión en la estructura	Riesgo de incendio Normal	r_f	0.01	TABLA C5 - IEC62305
	Factor de reducción en función de las previsiones para reducir las consecuencias del fuego	Instalación de extinguidores fijos operados automáticamente, instalación de alarma automáticos.	r_p	0.2	TABLA C4 - IEC62305
	Pantalla espacial interna de la estructura	Ninguno	K_{S2}	1	ECUACION B.6 - IEC62305
	ENERGIA	Factor en función del tipo de cableado interno	Cable sin pantalla - sin precauciones de trazado del cableado para evitar lazos (1)	K_{S3}	1
Factor en función de la instalación de DPS		Sin protección coordinada de DPS	P_{DPS}	1	TABLA B3 - IEC62305
TIPO DE PERDIDA L1 (pérdida de vidas humanas)	Factor de aumento de pérdidas en función de la presencia de riesgo especial	Dificultad de evacuación (estructuras con personas invalidas, hospitales)	h_Z	5	TABLA C6 - IEC62305
	D1: Daños a seres vivos por choque eléctrico (Tensiones de toque y de paso)	Todos los tipos de heridas	L_T	0.01	TABLA C2 - IEC62305
	D2: Daños físicos	Hospital, hotel, escuela, edificio cívico	L_F	0.1	
	D3: Daños en sistemas eléctricos y electrónicos (falla en sistemas internos)	Unidad de cuidados intensivos y salas de operación de hospitales	L_O	0.01	
	Factor de aumento de pérdidas por presencia continua de personas en la estructura	$\frac{n_Z}{n_t} * \frac{t_Z}{8760}$	-	0.285	
TIPO DE PERDIDA L2 (perdida inaceptable de servicio público)	D2: Daños físicos	TV, líneas de telecomunicaciones	L_F	0.01	TABLA C8 - IEC62305
	D3: Daños en sistemas eléctricos y electrónicos (falla en sistemas internos)	TV, líneas de telecomunicaciones	L_O	0.001	TABLA C8 - IEC62305
	Factor de aumento de pérdidas por presencia de personas en la estructura	$\frac{n_Z}{n_t}$	-	0.285	

CALCULO DE CANTIDADES RELEVANTES

AREAS EQUIVALENTES DE EXPOSICION DE LA ESTRUCTURA Y LAS LINEAS					
	PARAMETRO	OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
Estructura	Superficie de captación (m2)	BLOQUE C	A_D	39,819.63	ECUACION A.2 - IEC62305
	Superficie de captación de las descargas que impactan cerca de la estructura (m2)	BLOQUE C	A_M	889,550.00	ECUACION A.7 - IEC62305
Línea de energía	superficie de captación de las descargas que impactan en el servicio de energía (m2)	BLOQUE C	$A_{L-energia}$	13,528.00	ECUACION A.9 - IEC62305
	Superficie de captación de las descargas a tierra cerca de la línea de energía (m2)	BLOQUE C	$A_{I-energia}$	1,352,800.00	ECUACION A.11 - IEC62305
	Superficie de captación de la superficie adyacente aislada (m2)	BLOQUE K2	$A_{DJ-energia}$	1,453.58	ECUACION A.2 - IEC62305

NUMERO ANUAL ESPERADO DE EVENTOS PELIGROSOS					
	PARAMETRO	OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
Estructura	Número de eventos peligrosos para la estructura	BLOQUE C	N_D	0.099549078	ECUACION A.4 - IEC62305
	Evaluación del valor medio anual del número de eventos peligrosos por descargas cerca de una estructura	BLOQUE C	N_M	4.44775	ECUACION A.6 - IEC62305
Línea de energía	Evaluación del valor medio anual del número de eventos peligrosos por descargas en una línea de energía	BLOQUE C	$N_{L-energia}$	0.0003382	ECUACION A.8 - IEC62305
	Evaluación del valor medio anual del número de eventos peligrosos por descargas cerca de una línea de energía	BLOQUE C	$N_{I-energia}$	0.03382	ECUACION A.10 - IEC62305
	Número de eventos peligrosos para una estructura adyacente	BLOQUE K2	$N_{DJ-energia}$	0.001816975	ECUACION A.5 - IEC62305

CALCULO DE VALORES DE PERDIDAS EN CADA ZONA

	TIPO DE DAÑO	ZONA				OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
		Z1	Z2	Z3	Z4				
TIPO DE PERDIDA L1 (pérdida de vidas humanas)	D1	0	3.31924E-06	5.074E-07	2.8541E-06	BLOQUE C	$L_A = L_U$	6.68076E-06	ECUACION C.1 - IEC62305
	D2	0	0.000331924	5.074E-05	0.00028541	BLOQUE C	$L_B = L_V$	0.000668076	ECUACION C.3 - IEC62305
	D3	0	0.000331924	0.0005074	0.00285412	BLOQUE C	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	0.003693446	ECUACION C.4 - IEC62305
	TIPO DE DAÑO	ZONA				OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
		Z1	Z2	Z3	Z4				
TIPO DE PERDIDA L2 (perdida inaceptable de servicio público)	D2	0	0.00013277	1.0148E-05	5.7082E-06	BLOQUE C	$L_B = L_V$	0.000148626	ECUACION C.7 - IEC62305
	D3	0	0.006638478	0.0005074	0.00028541	BLOQUE C	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	0.00743129	ECUACION C.8 - IEC62305

CALCULO DE PROBABILIDAD PARA LA ESTRUCTURA EN CADA ZONA

TIPO DE DAÑO	ZONA				OBSERVACION	SIMBOLO	REFERENCIA
	Z1	Z2	Z3	Z4			
D1	0	1	1	1	Probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños a los seres vivos por choque eléctrico	P_A	ECUACION B.1 - IEC62305
D2	0	1	1	1	Probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños físicos	P_B	TABLA B2 - IEC62305
D3		1	1	1	Probabilidad de que una descarga en la estructura produzca fallas en sistemas internos	P_C	ECUACION B.2 - IEC62305
D3		0.4444	0.4444	0.4444	Probabilidad de que una descarga cerca de una estructura produzca fallas en sistemas internos	P_M	ECUACION B.3 - IEC62305

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

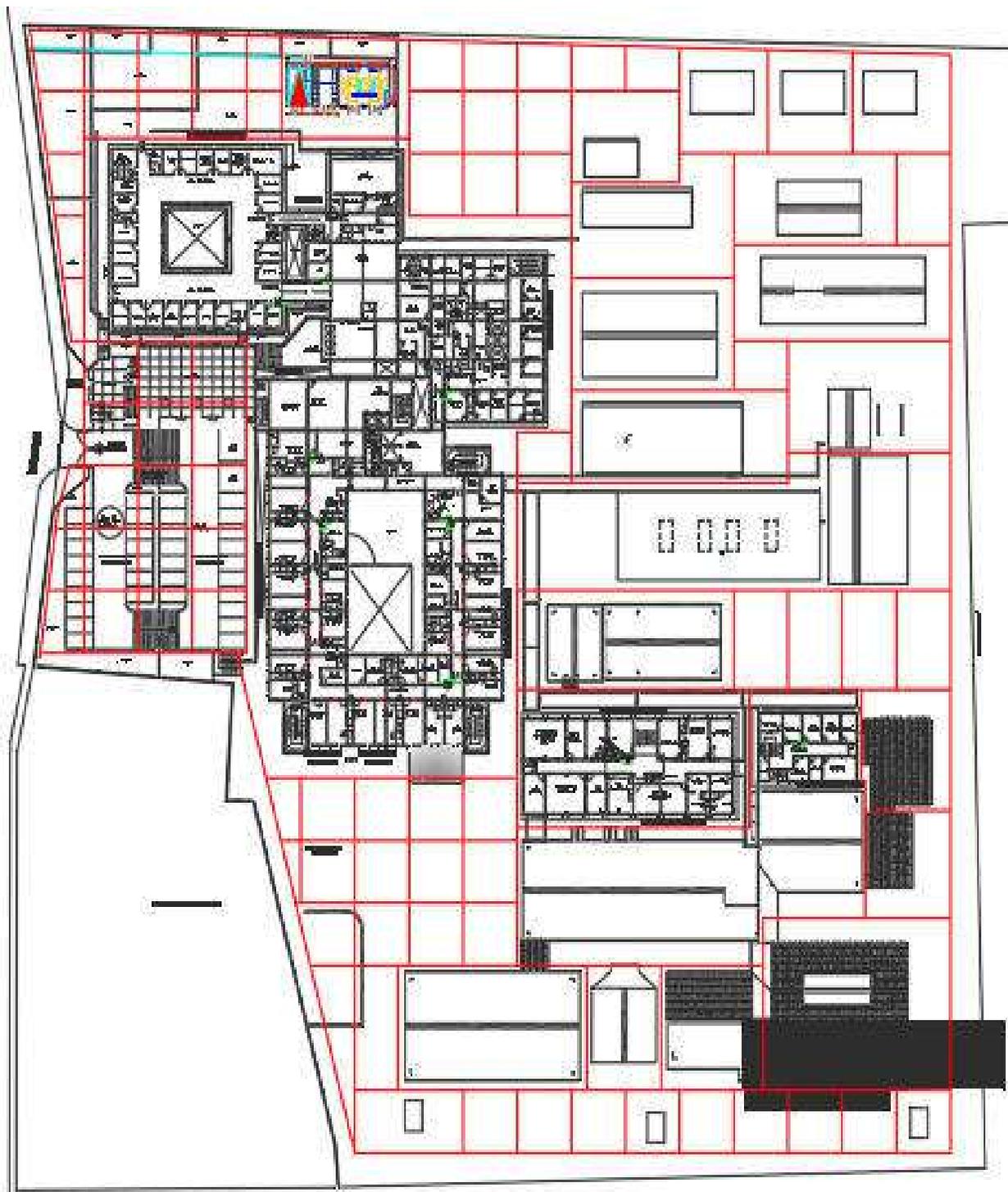
D1		1	1	1	Probabilidad de que una descarga en una línea produzca daños a los seres vivos por choque eléctrico	$P_{U-energia}$	ECUACION B.8 - IEC62305
D2		1	1	1	Probabilidad de que una descarga en una línea produzca daños físicos	$P_{V-energia}$	ECUACION B.9 - IEC62305
D3		1	1	1	Probabilidad de que una descarga en una línea produzca fallas en sistemas internos	$P_{W-energia}$	ECUACION B.10 - IEC62305
D3		0.12	0.12	0.12	Probabilidad de que una descarga cerca de una línea produzca fallas en sistemas internos	$P_{Z-energia}$	ECUACION B.11 - IEC62305

CALCULO DE COMPONENTES DE RIESGO PARA LA ESTRUCTURA EN CADA ZONA

	TIPO DE DAÑO	ZONA				OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
		Z1	Z2	Z3	Z4				
TIPO DE PERDIDA L1 (pérdida de vidas humanas)	D1	0	3.30E-07	5.05112E-08	2.8413E-07	Riesgo de que una descarga en la estructura produzca daños a los seres vivos por choque eléctrico	R_A	6.65064E-07	ECUACION 6 - IEC62305
	D2	0	3.30E-05	5.05112E-06	2.8413E-05	Riesgo de que una descarga en la estructura produzca daños físicos	R_B	6.65064E-05	ECUACION 7 - IEC62305
	D3	0	3.30E-05	5.05112E-05	0.00028413	Riesgo de que una descarga en la estructura produzca fallas en sistemas internos	R_C	0.000367679	ECUACION 8 - IEC62305
	D3	0	6.56E-04	0.001003016	0.00564197	Riesgo de que una descarga cerca de una estructura produzca fallas en sistemas internos	R_M	0.007301122	ECUACION 9 - IEC62305
	D1	0	7.15E-09	1.09354E-09	6.1511E-09	Riesgo de que una descarga en una línea produzca daños a los seres vivos por choque eléctrico	$R_{U-energia}$	1.43982E-08	ECUACION 10 - IEC62305
	D2	0	7.15E-07	1.09354E-07	6.1511E-07	Riesgo de que una descarga en una línea produzca daños físicos	$R_{V-energia}$	1.43982E-06	ECUACION 11 - IEC62305
	D3	0	7.15E-07	1.09354E-06	6.1511E-06	Riesgo de que una descarga en una línea produzca fallas en sistemas internos	$R_{W-energia}$	7.96002E-06	ECUACION 12 - IEC62305
	D3	0	1.35E-06	2.05923E-06	1.1583E-05	Riesgo de que una descarga cerca de una línea produzca fallas en sistemas internos	$R_{Z-energia}$	1.49895E-05	ECUACION 13 - IEC62305
	TOTAL	0	0.000725341	0.001061892	0.00597314		R1	0.007760376	SPCDA RECOMENDABLE
	TIPO DE DAÑO	ZONA				OBSERVACION	SIMBOLO	VALOR	REFERENCIA
		Z1	Z2	Z3	Z4				
TIPO DE PERDIDA L2 (perdida inaceptable de servicio público)	D2	0	1.32E-05	1.01022E-06	5.6825E-07	Riesgo de que una descarga en la estructura produzca daños físicos	R_B	1.47956E-05	ECUACION 7 - IEC62305
	D3	0	6.61E-04	5.05112E-05	2.8413E-05	Riesgo de que una descarga en la estructura produzca fallas en sistemas internos	R_C	0.000739778	ECUACION 8 - IEC62305
	D3	0	1.31E-02	0.001003016	0.0005642	Riesgo de que una descarga cerca de una estructura produzca fallas en sistemas internos	R_M	0.014690008	ECUACION 9 - IEC62305
	D2	0	2.86E-07	2.18707E-08	1.2302E-08	Riesgo de que una descarga en una línea produzca daños físicos	$R_{V-energia}$	3.20315E-07	ECUACION 11 - IEC62305
	D3	0	1.43E-05	1.09354E-06	6.1511E-07	Riesgo de que una descarga en una línea produzca fallas en sistemas internos	$R_{W-energia}$	1.60157E-05	ECUACION 12 - IEC62305
	D3	0	2.69E-05	2.05923E-06	1.1583E-06	Riesgo de que una descarga cerca de una línea produzca fallas en sistemas internos	$R_{Z-energia}$	3.01591E-05	ECUACION 13 - IEC62305
TOTAL	0	0.013838402	0.001057712	0.00059496		R2	0.015491077	SPCDA RECOMENDABLE	

ANEXO 03

A.3.1. Diseño inicial de la malla a tierra del Hospital de Andahuaylas



DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A.3.2. Cálculo de parámetros con el programa ETAP, del diseño inicial de la malla de puesta a tierra

Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.154	9890.7	1824.7	2183.5	3818.7	710.5
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.154	11100.6	1053.5	2450.7	2204.7	797.4
	Primer Impacto positivo								
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.143	9841	1824.7	2136	3818.7	500.1
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.143	11044.9	1053.5	2397.3	2204.7	561.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.237	10270.1	1824.7	2531.7	3818.7	363.1
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.237	11526.6	1053.5	2841.4	2204.7	407.5
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	2.237	11810.7	1824.7	2911.4	3818.7	417.6

A.3.3. Cálculo de parámetros con el programa ETAP, del diseño inicial de la malla de puesta a tierra con mejoramiento de terreno hasta 1.2 metros

RESISTIVIDAD DE TERRENO 300 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.098	9632.7	1682	1958.8	3248	638.6

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.098	10811.1	971.1	2198.4	1875.2	716.7
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	2.098	11077.6	1682	2252.6	3248	734.4
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.091	9602.6	1682	1930.5	3248	465.1
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.091	10777.4	971.1	2166.7	1875.2	522
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.212	10156.2	1682	2519.2	3248	333.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.212	11398.6	971.1	2827.4	1875.2	374.2
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.212	10156.2	1682	2519.2	3248	333.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.212	11398.6	971.1	2827.4	1875.2	374.2
	Primer Impacto positivo								
RESISTIVIDAD DE TERRENO 200 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.008	9220.3	1508	1627	2552	533.5
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.008	10348.3	870.6	1826.1	1473.4	598.8
	Primer Impacto positivo								
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.006	9210.3	1508	1618.3	2552	407
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.006	10337	870.6	1816.3	1473.4	456.8
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.162	9929	1508	2491.8	2552	285.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.162	11143.7	870.6	2796.6	1473.4	320.3
	Primer Impacto positivo								

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

RESISTIVIDAD DE TERRENO 100 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.849	8490.7	1334	1154	1856	387.2
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.849	9529.4	770.2	1295.2	1071.6	434.6
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.849	9764.3	1334	1327.1	1856	445.3
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.85	8494	1334	1158	1856	311.8
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.85	9533.1	770.2	1299.7	1071.6	349.9
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.85	9768.1	1334	1331.7	1856	358.5
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.05	9411.9	1334	2424.1	1856	208.8
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.05	10563.4	770.2	2720.6	1071.6	234.4
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	2.05	10823.7	1334	2787.7	1856	240.2
RESISTIVIDAD DE TERRENO 50 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.657	7607.1	1247	777.2	1508	272.2
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.657	8537.7	720	872.3	870.6	305.5
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.657	8748.1	1247	893.8	1508	313
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.658	7613	1247	783.3	1508	226.3
	Subsiguiente Impacto negativo								

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

	95%	4.9	31	1.658	8544.4	720	879.1	870.6	254
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.658	8755	1247	900.8	1508	260.3
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.888	8668	1247	2319.5	1508	144.1
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.888	9728.5	720	2603.2	870.6	161.8
	Primer Impacto positivo								
95%	4.6	14	1.888	9968.3	1247	2667.4	1508	165.8	
RESISTIVIDAD DE TERRENO 20 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.332	6117.6	1194.8	420.6	1299.2	158.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.332	6866.1	689.8	472.1	750.1	177.8
	Primer Impacto positivo								
95%	4.6	14	1.332	70.53	1194.8	483.7	1299.2	182.2	
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.333	6122.6	1194.8	425	1299.2	134.8
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.333	6871.6	689.8	477	750.1	151.2
	Primer Impacto positivo								
95%	4.6	14	1.333	7041	1194.8	488.7	1299.2	155	
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.586	7283.2	1194.8	2066.9	1299.2	80.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.586	8174.2	689.8	2319.8	750.1	90.2
	Primer Impacto positivo								
95%	4.6	14	1.586	8375.7	1194.8	2376.9	1299.2	92.4	

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A.3.4. Cálculo de parámetros con el programa ETAP, del diseño inicial de la malla de puesta a tierra con mejoramiento de terreno hasta 2.4 metros

RESISTIVIDAD DE TERRENO 300 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.022	9282.4	1682	1735.9	3248	583.6
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.022	10418	971.1	1948.2	1875.2	655.1
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	2.022	10674.8	1682	1996.2	3248	671.2
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.008	9218.8	1682	1675.6	3248	393
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.008	10346.5	971.1	1880.6	1875.2	441
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	2.008	10601.6	1682	1926.9	3248	451.9
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2	9185.1	1682	1645.1	3248	313.8
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2	10308.7	971.1	1846.3	1875.2	352.2
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	2	10562.8	1682	1891.8	3248	360.9
RESISTIVIDAD DE TERRENO 200 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.902	8735.6	1508	1369.5	2552	470.8
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.902	9804.3	870.6	1537	1473.4	528.4

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.902	10045.9	1508	1574.9	2552	541.4
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.893	8692.8	1508	1329.7	2552	326.7
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.893	9756.3	870.6	1492.3	1473.4	366.7
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.893	9996.8	1508	1529.1	2552	375.7
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.889	8673.3	1508	1312.8	2552	267.6
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.889	9734.4	870.6	1473.3	1473.4	300.3
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.889	9974.3	1508	1509.7	2552	307.7
RESISTIVIDAD DE TERRENO 100 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.691	7765.4	1334	893.4	1856	322.3
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.691	8715.3	770.2	1002.7	1071.6	361.7
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.691	8930.2	1334	1027.4	1856	370.6
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.686	7743	1334	873.3	1856	232.4
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.686	8690.2	770.2	980.1	1071.6	260.8
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.686	8904.4	1334	1004.3	1856	267.3
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.685	7735.8	1334	871.1	1856	196.1
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.685	8682.1	770.2	977.6	1071.6	220.1
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.685	8896.1	1334	1001.7	1856	225.6

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

RESISTIVIDAD DE TERRENO 50 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.448	6650.6	1247	558.4	1508	213.2
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.448	7464.3	720	626.7	870.6	239.3
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.448	7648.2	1247	642.1	1508	245.2
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.446	6638.4	1247	549.1	1508	157.6
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.446	7450.5	720	616.3	870.6	176.9
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.446	7634.1	1247	631.5	1508	181.3
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.445	6636	1247	579.4	1508	135.5
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.445	7447.8	720	650.2	870.6	152
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.445	7631.4	1247	666.3	1508	155.8
RESISTIVIDAD DE TERRENO 20 OHM-M									
Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
0.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.082	4966.1	1194.8	274.5	1299.2	114.8
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.082	5573.7	689.8	308	750.1	128.9
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.082	5711.1	1194.8	315.6	1299.2	132.1
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.08	4960.4	1194.8	295.2	1299.2	85.9

DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.08	5567.2	689.8	331.3	750.1	96.4
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.08	5704.4	1194.8	339.5	1299.2	98.8
1.5	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	1.08	4960	1194.8	311.2	1299.2	74.8
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	1.08	5566.8	689.8	349.3	750.1	84
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	1.08	5704	1194.8	357.9	1299.2	86

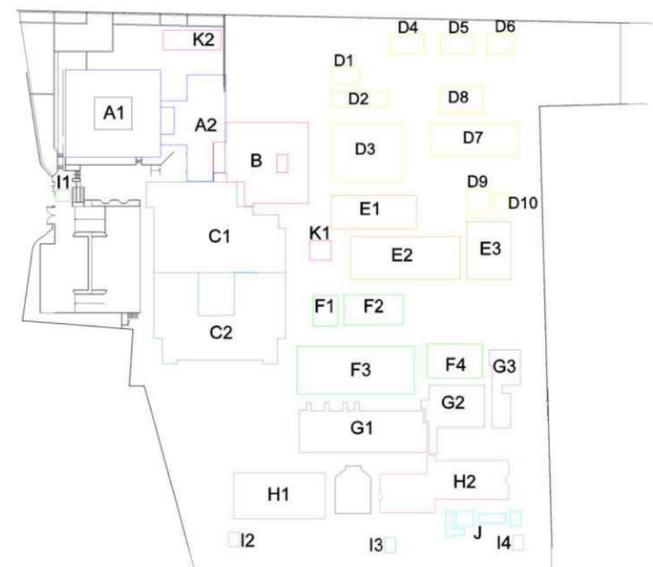
A.3.5. Cálculo de parámetros con el programa ETAP, del diseño inicial de la malla de puesta a tierra con incremento de capa superficial (5cm) de grava de 3000 $\Omega \cdot m$

Profundidad de la malla (m)	probabilidad de ocurrencia	Valores de parámetros según probabilidad CIGRE		Resistencia del suelo Rg (ohm)	Aumento de potencial GPR (V)	Max. Tensión de toque Tolerable (V)	Tensión de toque calculado	Max. Tensión de paso Tolerable (V)	Tensión de paso calculado
		Corriente (kA)	Duración total de la descarga (ms)						
1	Primer Impacto negativo								
	95%	4	15	2.143	9841	6003.9	2136	20535.5	500.1
	Subsiguiente Impacto negativo								
	95%	4.9	31	2.143	11044.9	3466.3	2397.3	11856.2	561.3
	Primer Impacto positivo								
	95%	4.6	14	2.143	11317.1	6003.9	2456.4	20535.5	575.1

Anexo 04**A.4.1. Planos del diseño del nuevo sistema de protección contra descargas atmosféricas externo para el Hospital de Andahuaylas**

- **Plano 01: Superficie de captación**
- **Plano 02: Zona de Protección nivel I**
- **Plano 03: Zona de Protección nivel III**
- **Plano 04: Zona de Protección nivel IV**
- **Plano 05: Zona de Protección vista lateral izquierdo**
- **Plano 06: Zona de Protección vista lateral derecho**
- **Plano 07: Zona de Protección vista frontal**
- **Plano 08: Zona de Protección vista posterior**
- **Plano 09: Diseño de SPCDA Externo propuesto**
- **Plano 10: Diseño de Malla de tierra propuesto**
- **Plano 11: Diagrama unifilar general sin protección interna**
- **Plano 12: Diagrama unifilar general con protección interna (02 planos)**
- **Plano 13: Diagrama unifilar sub tableros con protección interna (20 planos)**

PLANO 01: VISTA DE PLANTA - SUPERFICIE DE CAPTACIÓN



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABlero DE FUERZA (NORMAL)
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABlero DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCOA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

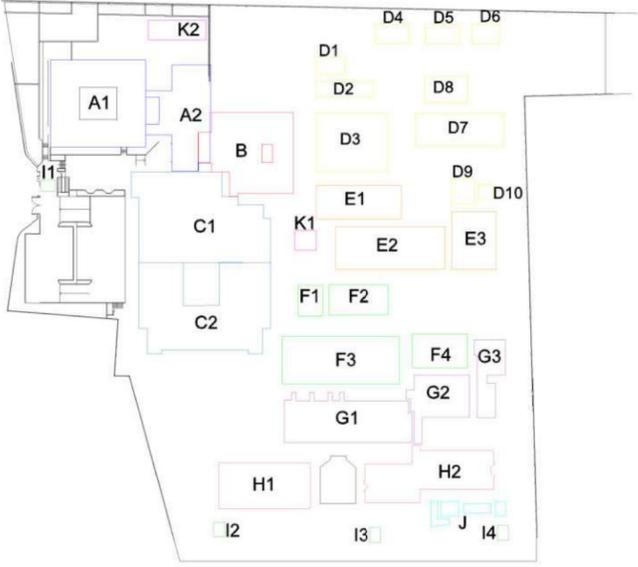
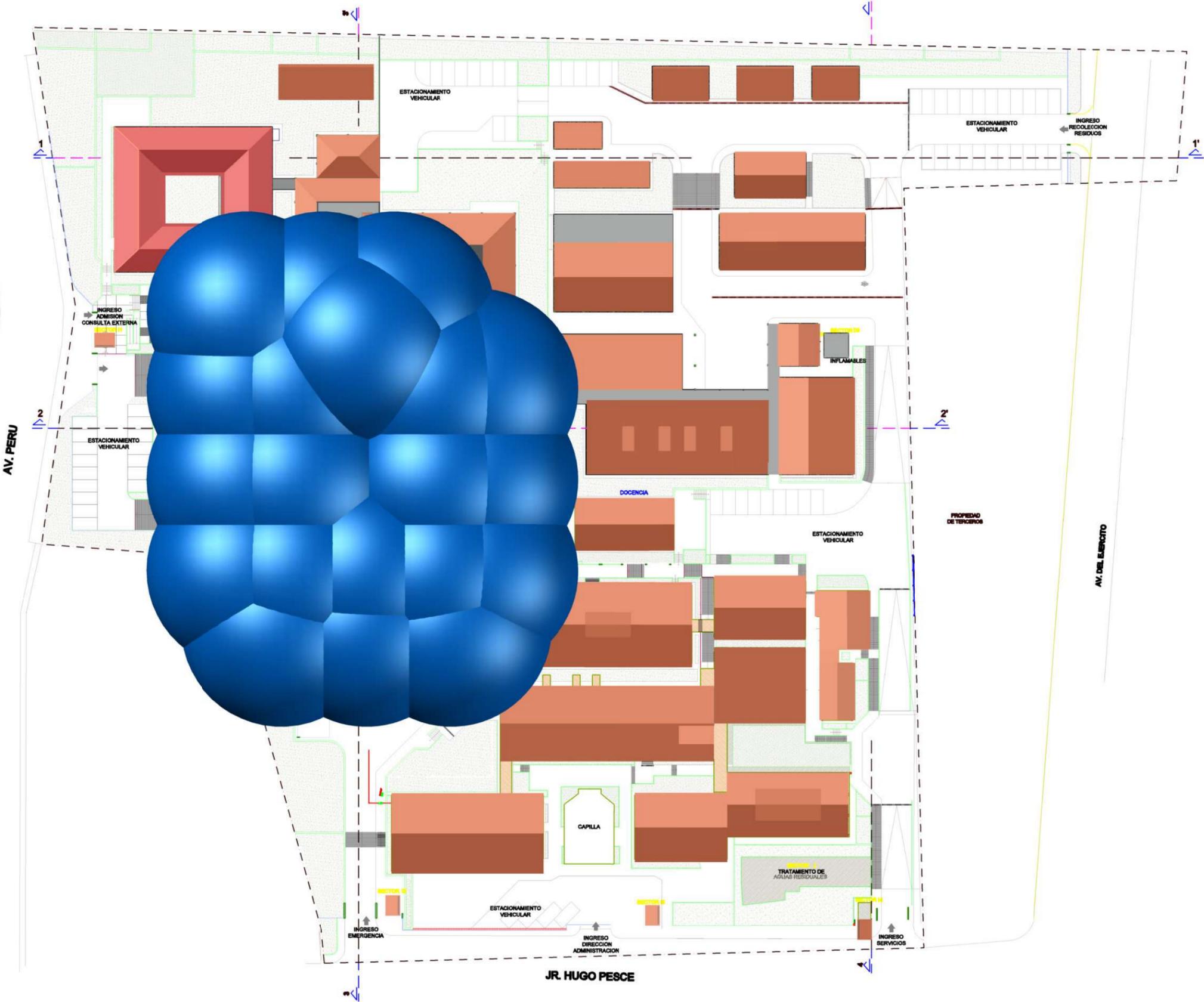
NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
DISTRITO: ANDAHUAYLAS	ESCUELA PROFESIONAL IE
PROVINCIA: ANDAHUAYLAS	
DEPARTAMENTO: APURÍMAC	

PLANO 02: ZONA DE PROTECCION - NIVEL I



LEYENDA BAJA TENSION

SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABlero DE FUERZA (NORMAL)
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABlero DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

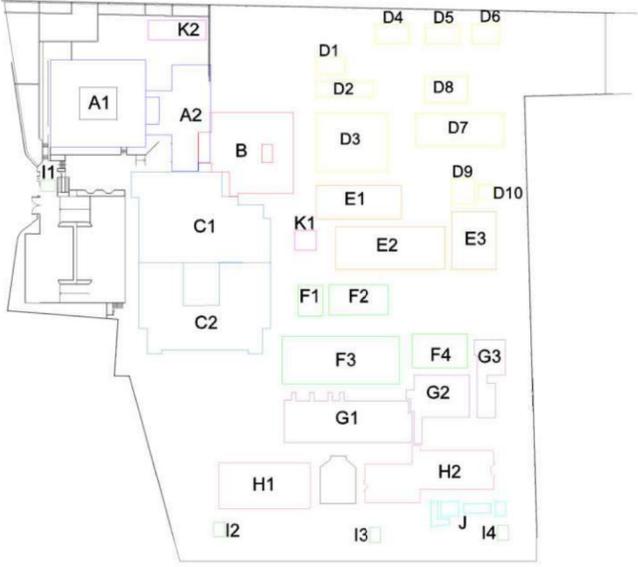
ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
---------------------------	----------------------------

DISTRITO: ANDAHUAYLAS	IE
PROVINCIA: ANDAHUAYLAS	
DEPARTAMENTO: APURÍMAC	

PLANO 03: ZONA DE PROTECCION - NIVEL III



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABlero DE FUERZA (NORMAL)
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABlero DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

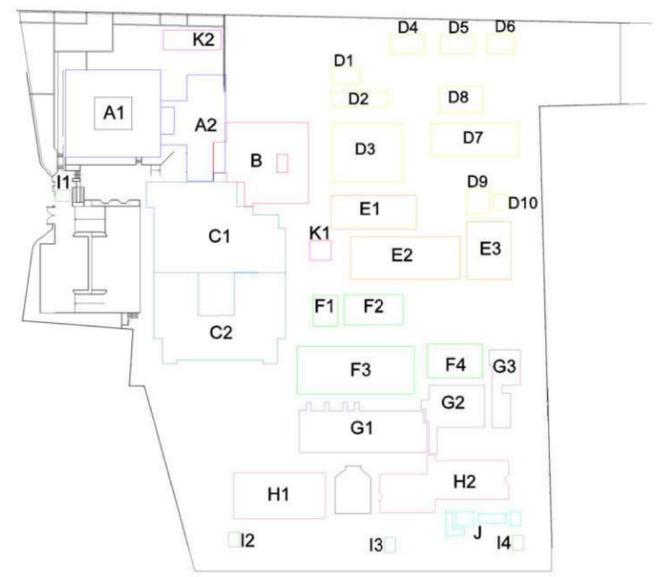
NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

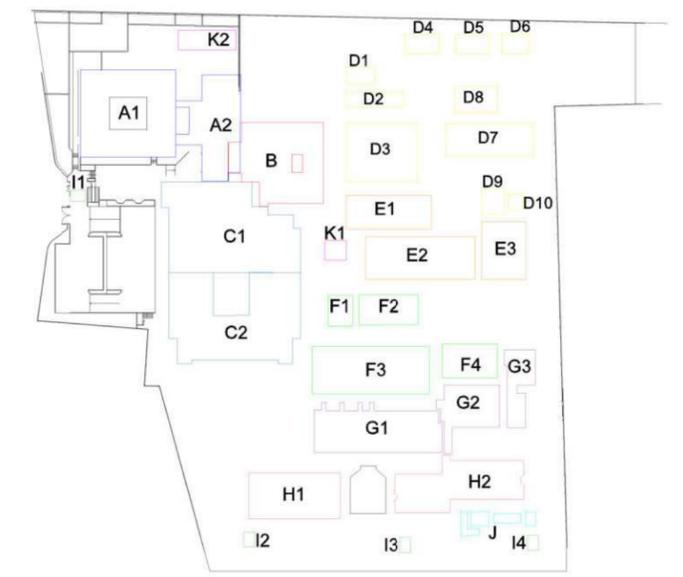
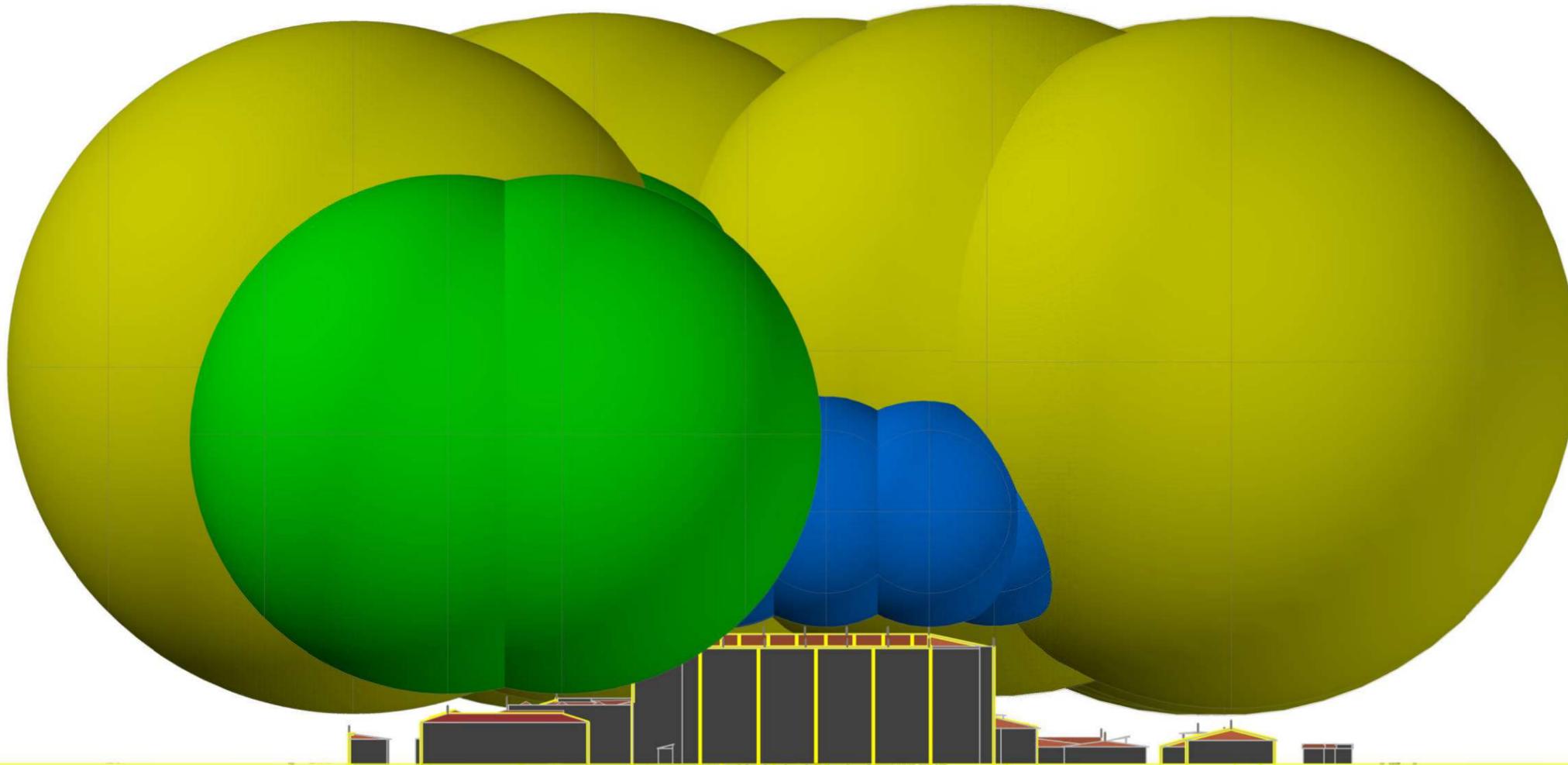
FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
DISTRITO: ANDAHUAYLAS	ESCUELA PROFESIONAL IE
PROVINCIA: ANDAHUAYLAS	
DEPARTAMENTO: APURÍMAC	

PLANO 04: ZONA DE PROTECCION - NIVEL IV



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABLERO DE FUERZA (NORMAL)
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABLERO DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC	
ESPECIALIDAD: PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	
ELABORADO POR: REYNALDO LUQUE CARBAJAL	
FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
DISTRITO: ANDAHUAYLAS PROVINCIA: ANDAHUAYLAS DEPARTAMENTO: APURÍMAC	ESCUELA PROFESIONAL IE



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABLERO DE FUERZA (NORMAL)
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABLERO DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

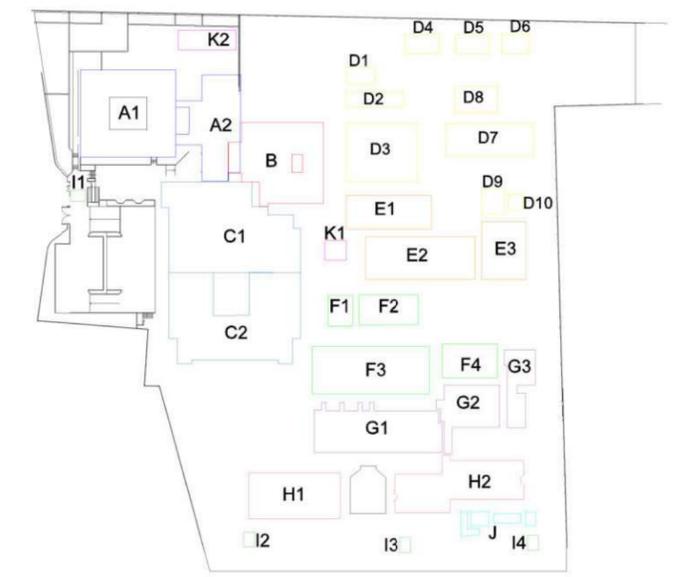
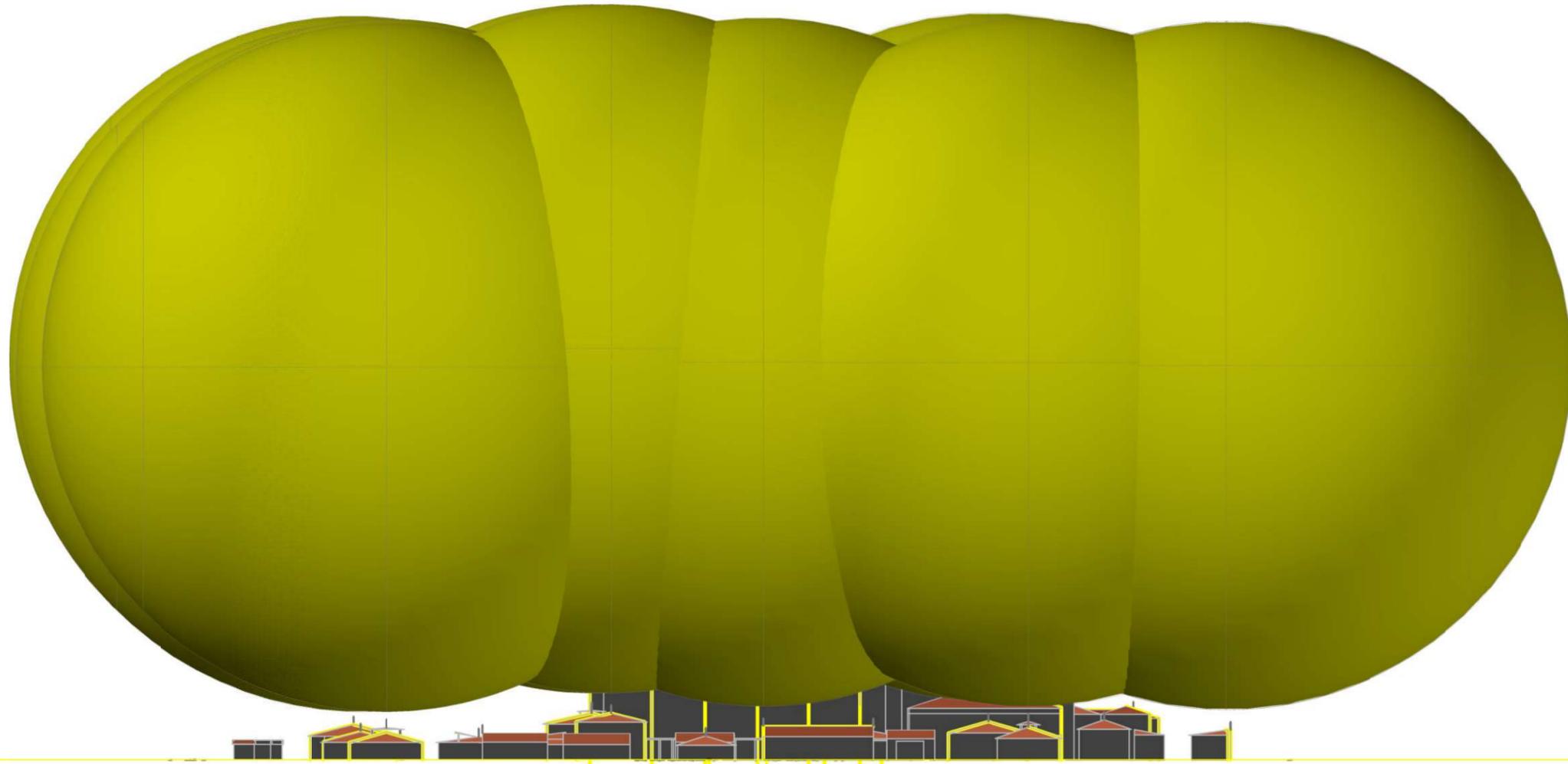
ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: **MAY-2024** FACULTAD: **FIEEIM**

DISTRITO: **ANDAHUAYLAS** ESCUELA PROFESIONAL
 PROVINCIA: **ANDAHUAYLAS** **IE**
 DEPARTAMENTO: **APURÍMAC**

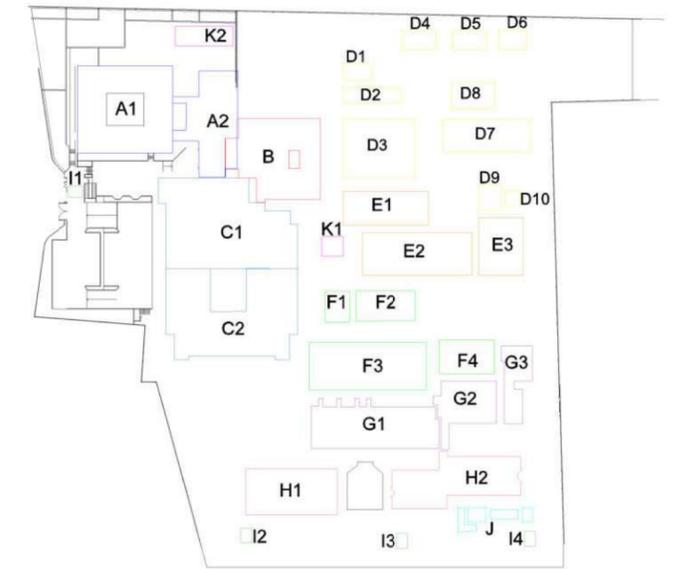
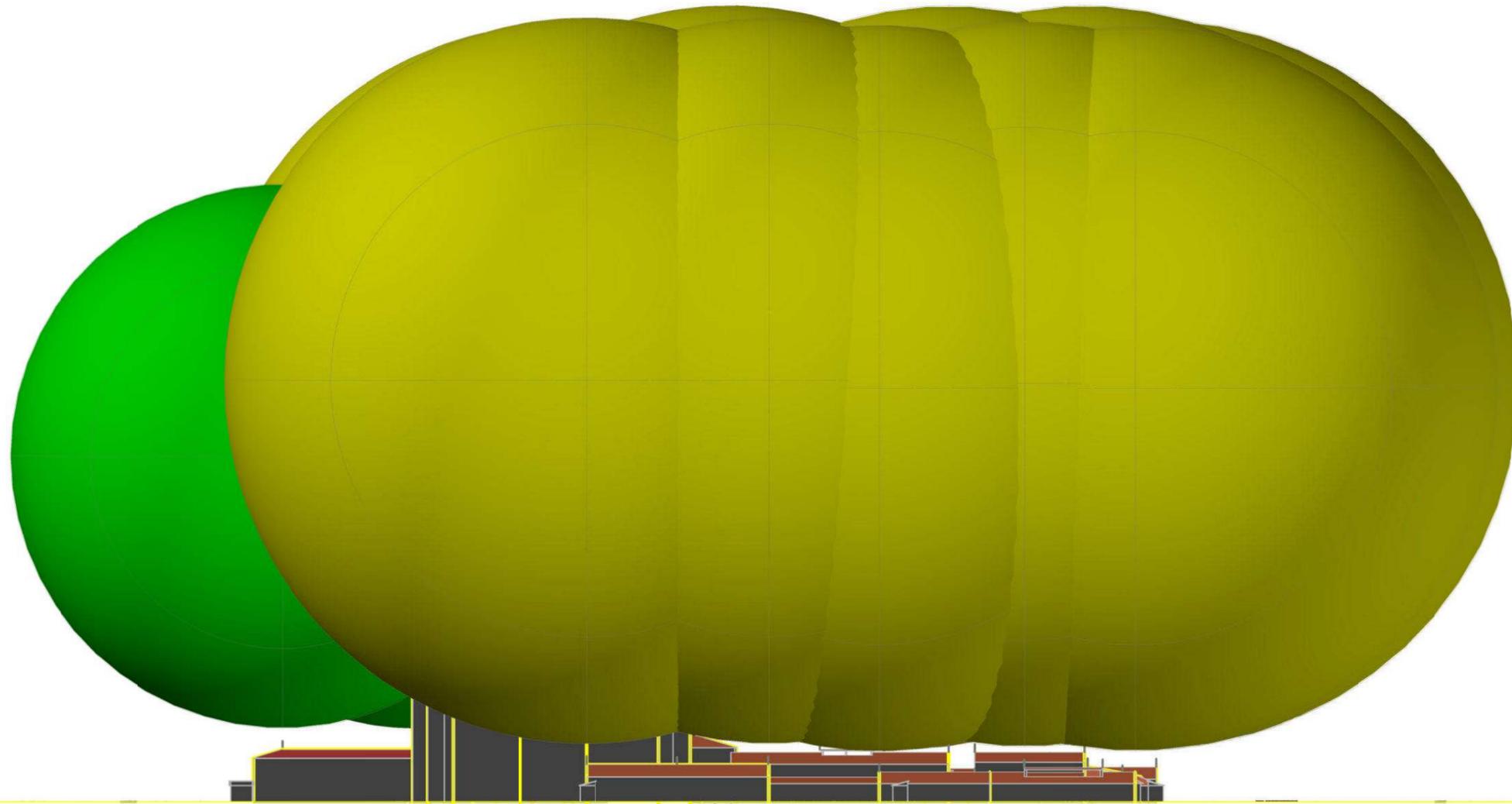
PLANO 05: SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO PROPUESTO - VISTA LATERAL IZQUIERDO



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABLERO DE FUERZA (NORMAL)
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABLERO DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC	
ESPECIALIDAD: PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	
ELABORADO POR: REYNALDO LUQUE CARBAJAL	
FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
DISTRITO: ANDAHUAYLAS	ESCUELA PROFESIONAL IE
PROVINCIA: ANDAHUAYLAS	
DEPARTAMENTO: APURÍMAC	

PLANO 07: SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO PROPUESTO - VISTA LATERAL DERECHO



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABLERO DE FUERZA (NORMAL)
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABLERO DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

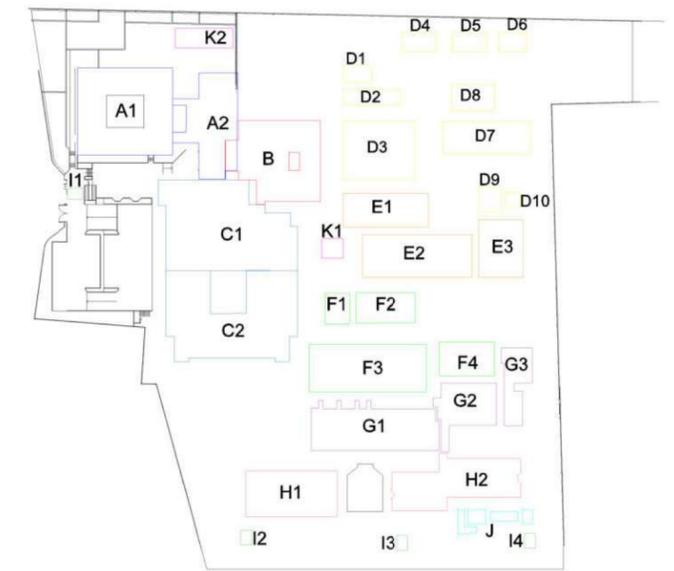
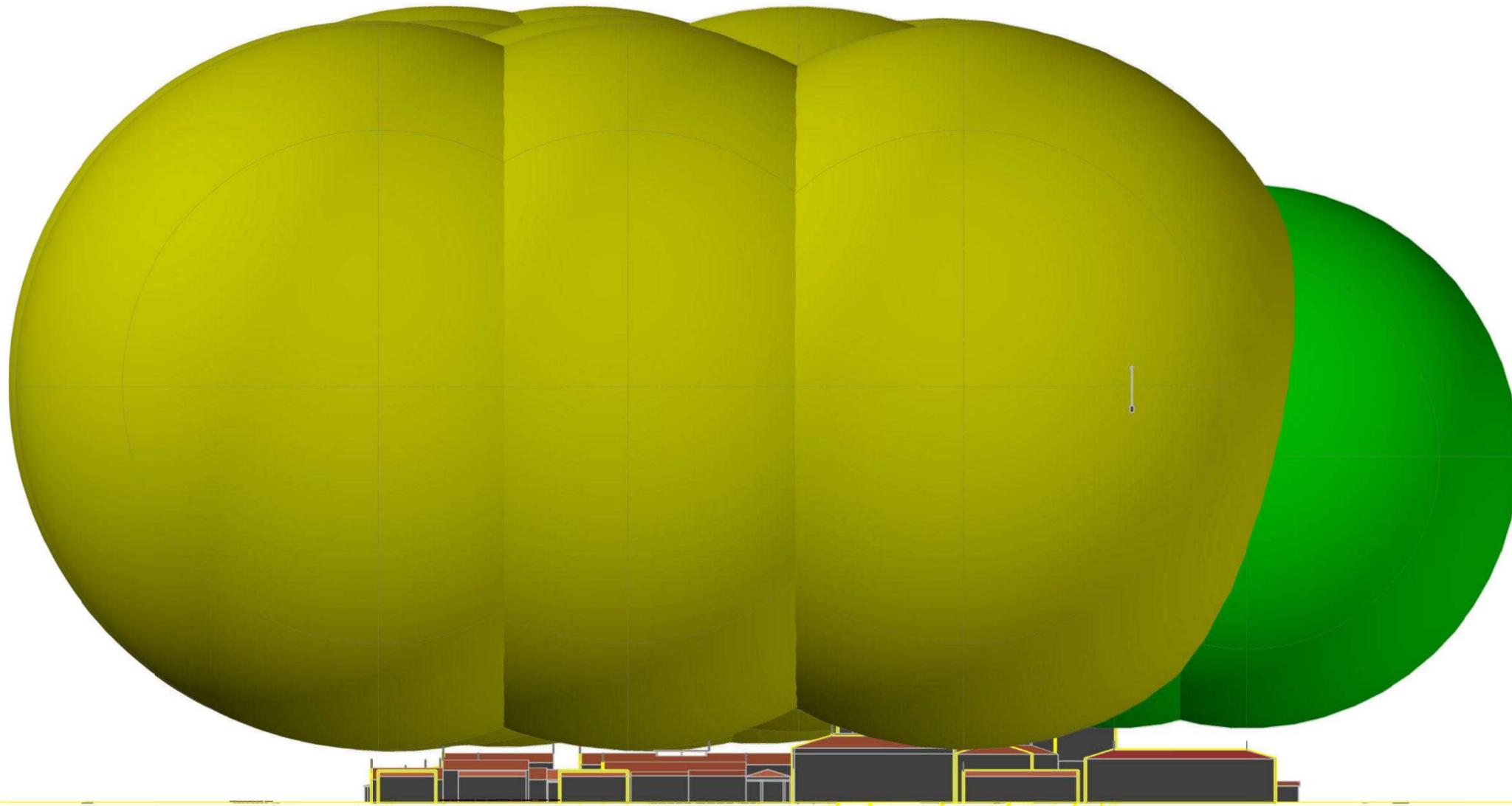
FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

DISTRITO:
ANDAHUAYLAS
PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS
DEPARTAMENTO:
APURÍMAC

ESCUELA PROFESIONAL
IE

PLANO 08: SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO PROPUESTO - VISTA FRONTAL



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABlero DE FUERZA (NORMAL)
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABlero DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

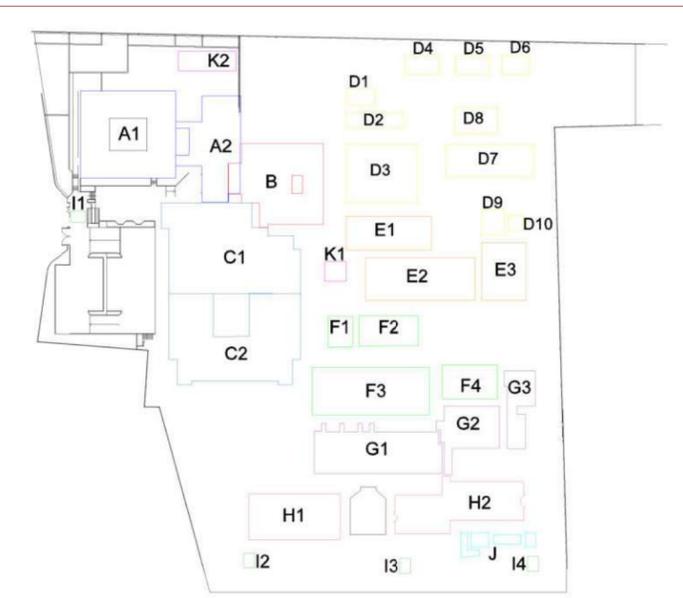
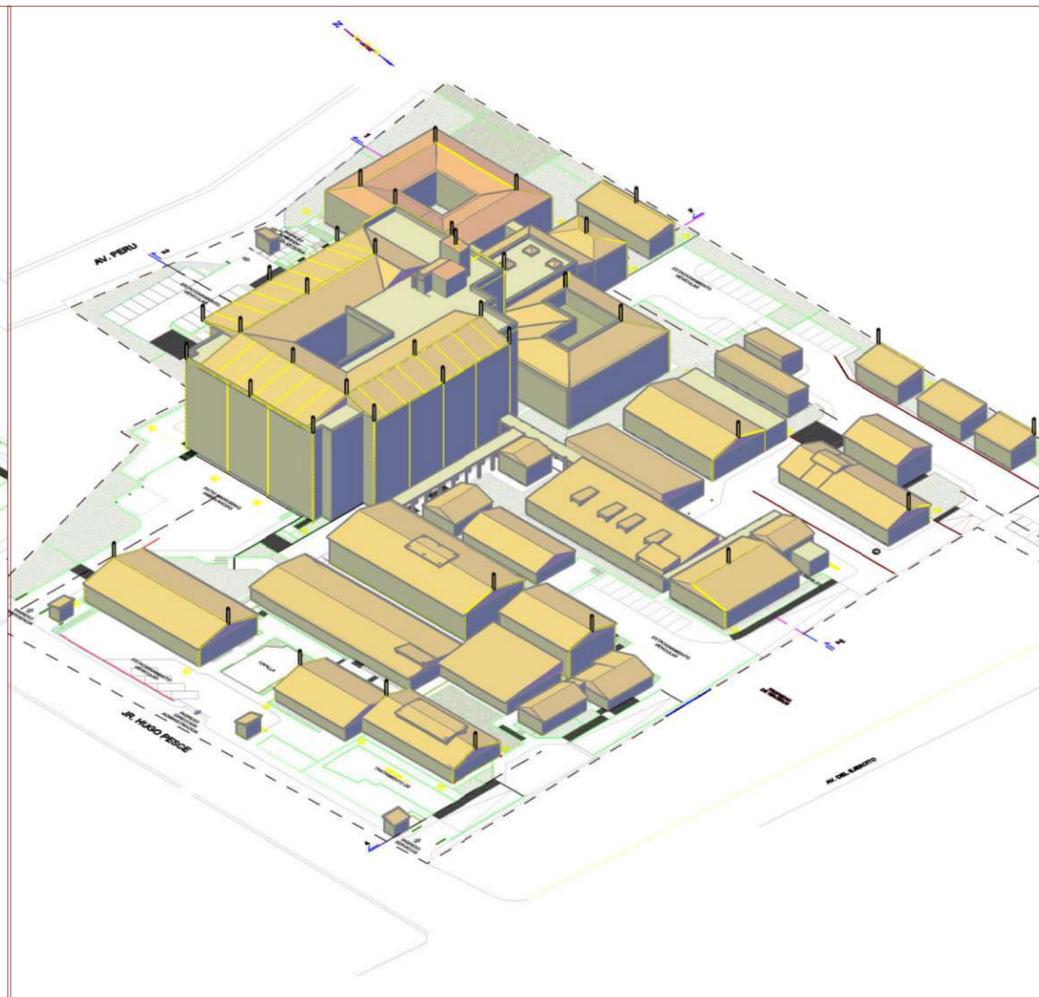
FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

DISTRITO:
ANDAHUAYLAS
 PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS
 DEPARTAMENTO:
APURÍMAC

ESCUELA PROFESIONAL
IE

PLANO 09: SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO PROPUESTO - VISTA POSTERIOR



LEYENDA BAJA TENSION

SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABlero DE FUERZA (NORMAL)
	TABlero DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABlero DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 , PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-O-A PARA MANDO LOCAL.
	PARARRAYO TIPO FRANKLIN
	PUESTA A TIERRA PARA SPCDA
	DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES
	CONDUCTOR DE BAJADA
	SUPERFICIE DE CAPTACION

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

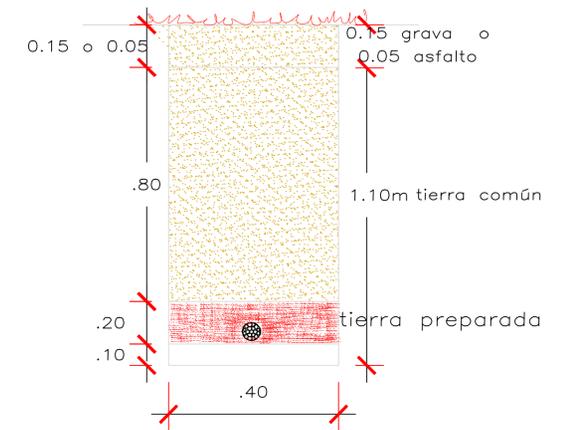
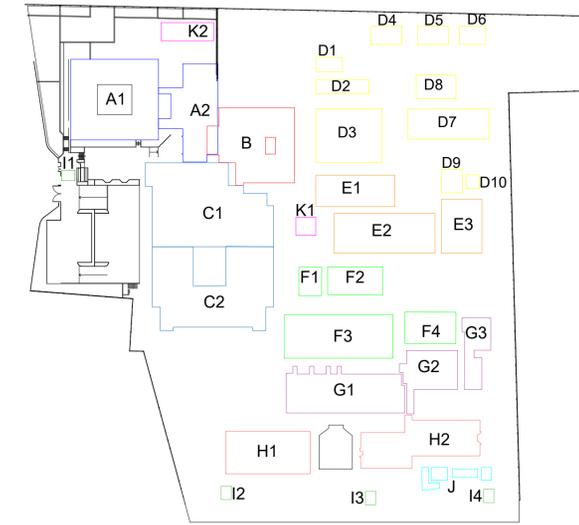
FECHA: **MAY-2024** FACULTAD: **FIEEIM**

DISTRITO: **ANDAHUAYLAS** ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA: **ANDAHUAYLAS** **IE**

DEPARTAMENTO: **APURÍMAC**

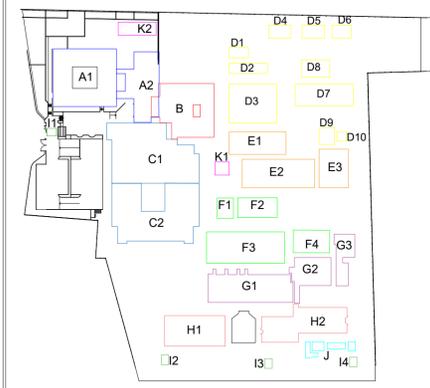
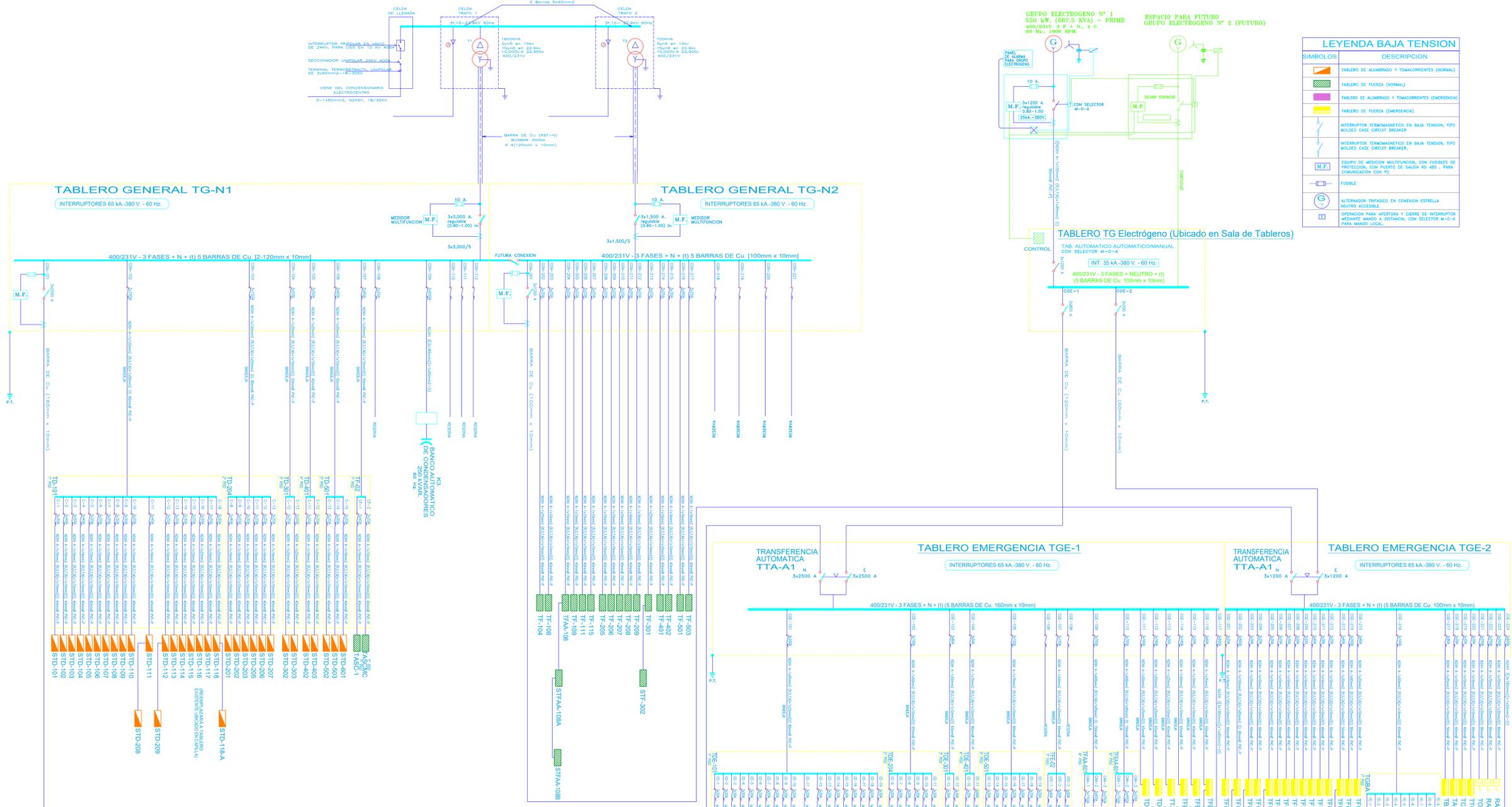
PLANO 10: DISEÑO DE PROTECCION PROPUESTO



TENDIDO DE CONDUCTOR
MALLA DE TIERRA

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC	
ESPECIALIDAD: PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - MALLA A TIERRA	
ELABORADO POR: REYNALDO LUQUE CARBAJAL	
FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
DISTRITO: ANDAHUAYLAS	ESCUELA PROFESIONAL IE
PROVINCIA: ANDAHUAYLAS	
DEPARTAMENTO: APURÍMAC	

PLANO 10: VISTA DE PLANTA DISEÑO DE MALLA A TIERRA



LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABLERO DE FUERZA (NORMAL)
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABLERO DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOULDED CASE CIRCUIT BREAKER
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOULDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 - PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-D-A PARA MANDO LOCAL.

LEYENDA SUBSTACION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TRANSFORMADOR TRIFASICO EN CONEXION TRIANGULO-ESTRELLA CON EL NEUTRO PUESTO A TIERRA
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	SECCIONADOR TRIPOLAR OPERACION SIN CARGA MANDO FRONTAL
	TERMINAL PARA CABLE
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 - PARA COMUNICACION CON PC
	INTERRUPTOR DE VACIO
	RELE DE PROTECCION
	TRANSF. TOROIDAL DE INTENSIDAD RESIDUAL

LEYENDA BAJA TENSION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABLERO DE FUERZA (NORMAL)
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABLERO DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOULDED CASE CIRCUIT BREAKER
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOULDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 - PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-D-A PARA MANDO LOCAL.

TRANSFORMADOR N° 1			
ITEM	DESCRIPCION	POT. INST.	MAX. DEM.
1	ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL Y EMERGENCIA)	679,961	538,276
2	TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS (EMERGENCIA)	10,000	10,000
3	AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION (NORMAL Y EMERGENCIA)	784,566	706,109
4	ASCENSORES (NORMAL Y EMERGENCIA)	81,500	77,100
5	COMPUTO, SISTEMA DE COMUNICACIONES (EMERGENCIA)	75,000	67,500
TOTAL MAXIMA DEMANDA 10 KV.		1,631,027	1,398,984

TRANSFORMADOR N° 2			
ITEM	DESCRIPCION	POT. INST.	MAX. DEM.
1	EQUIPAMIENTO BIOMEDICO Y CARGAS VARIAS (NORMAL Y EMERGENCIA)	636,788	509,618
2	BOMBAS DE AGUA, DESAGUE, COMPRESOR DE AIRE, BOMBAS Y OTROS EQUIPOS (EMERGENCIA)	147,492	112,243
TOTAL MAXIMA DEMANDA 10 KV.		784,279	621,861

LEYENDA SUBSTACION	
SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TRANSFORMADOR TRIFASICO EN CONEXION TRIANGULO-ESTRELLA CON EL NEUTRO PUESTO A TIERRA
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	SECCIONADOR TRIPOLAR OPERACION SIN CARGA MANDO FRONTAL
	TERMINAL PARA CABLE
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485 CON PROTOCOLO MOD BUS
	INTERRUPTOR DE VACIO
	RELE DE PROTECCION
	TRANSF. TOROIDAL DE INTENSIDAD RESIDUAL

NOTAS:

- ENCUADRAMIENTO MECANICO Y ELECTROICO, PERMITE QUE SOLO 2 DE LOS 3 INTERRUPTORES, ESTEN CERRADOS AL MISMO TIEMPO, LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA NO OPERAN EN PARALELO.
- EL ALTERNADOR DEL GRUPO ELECTROGENO TIENE CONEXION ESTRELLA CON NEUTRO (100%) ACCESIBLE, POR MEDIO DE UN PUNTEO CON BARRA DE COBRE 100x10x10mm.
- LAS UNICAS CONEXIONES ENTRE LOS NEUTROS Y TIERRA SE HAN EN EL TABLERO GENERAL TO-N1 Y TO-N2.
- EN EL INTERRUPTOR PRINCIPAL EN BAJA TENSION DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA, ASI COMO DEL GRUPO ELECTROGENO, SE TIENE ADICIONALMENTE A LA PROTECCION TERMOMAGNETICA REGULABLE, CON UN RELE DE PROTECCION DE FALTA DE FASE A TIERRA REGULABLE ENTRE 0.1" (5%) y 0.2" - 1" s. (CORRIENTE NOMINAL DEL INTERRUPTOR)
- TODO LOS INTERRUPTORES DE SALIDAS EN LOS TABLEROS TO-N1, TO-N2, TGE-1, TGE-2 TENDRAN INCORPORADOS:
 - CONTACTOS PARA SERIALIZACION REMOTA DE POSICION DE INTERRUPTOR ABIERTO CERRADO
 - CONTACTOS PARA SERIALIZACION REMOTA DE APERTURA DE INTERRUPTOR POR FALTA (SOBRECORRIENTE o SOBRECARGA)
 - MODULO DE VIGILANCIA DE AISLAMIENTO FASE-TIERRA CON CONTACTOS PARA SERIALIZACION REMOTA
- TODO LOS INTERRUPTORES DE LOS TABLEROS GENERALES (TO-N1, TO-N2, TGE-1 y TGE-2) TENDRAN RELES AJUSTABLES DE TIPO ELECTRONICO CON LOS SIGUIENTES ACCESORIOS PARA EL SISTEMA DE MONITOR CENTRALIZADO (CONTACTOS SIN TIEMPO):
 - INDICACION DE VIGILANCIA DEL ESTADO DEL AISLAMIENTO, REGULABLE ENTRE 200 y 1.000mA.
 - INDICACION DE POSICION DEL INTERRUPTOR (ABIERTO-CERRADO)
 - INDICACION DE APERTURA POR FALTA (C.C. o SOBRECARGA)
- LOS INTERRUPTORES GENERALES DE LOS SUBTABLEROS DE DISTRIBUCION TENDRAN RELES TERMOMAGNETICOS. LOS INTERRUPTORES PRINCIPALES DE LOS SUBTABLEROS DE EMERGENCIA TENDRAN LOS SIGUIENTES ACCESORIOS:
 - INDICACION DE POSICION DEL INTERRUPTOR, E INDICACION DE APERTURA POR FALTA.
 - LOS INTERRUPTORES GENERALES DE LOS SUBTABLEROS DEL SUMINISTRO NORMAL, TENDRA SOLO INDICACION DE POSICION DEL INTERRUPTOR
- EL CONTRATISTA VERIFICARA LA SELECTIVIDAD DE LA PROTECCION, DEBENDO PRESENTAR LA DOCUMENTACION QUE LO DEMUESTRE.

7R05.8.260.1025

RAYOS X
RAYOS Y
RAYOS Z
TOMOCORRADO
TIOX
TIOY
TIOZ
TIOA
TIOB
TIOC
TIOE
TIOF
TIOG
TIOH
TIOI
TIOJ
TIOK
TIOL
TIOM
TION

- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables

NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR SIN PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

IE

PLANO 11 : DIAGRAMA UNIFILAR SIN PROTECCION INTERNA

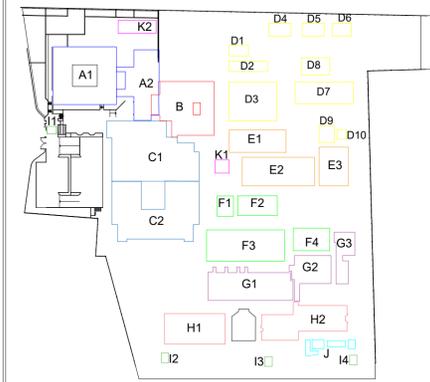
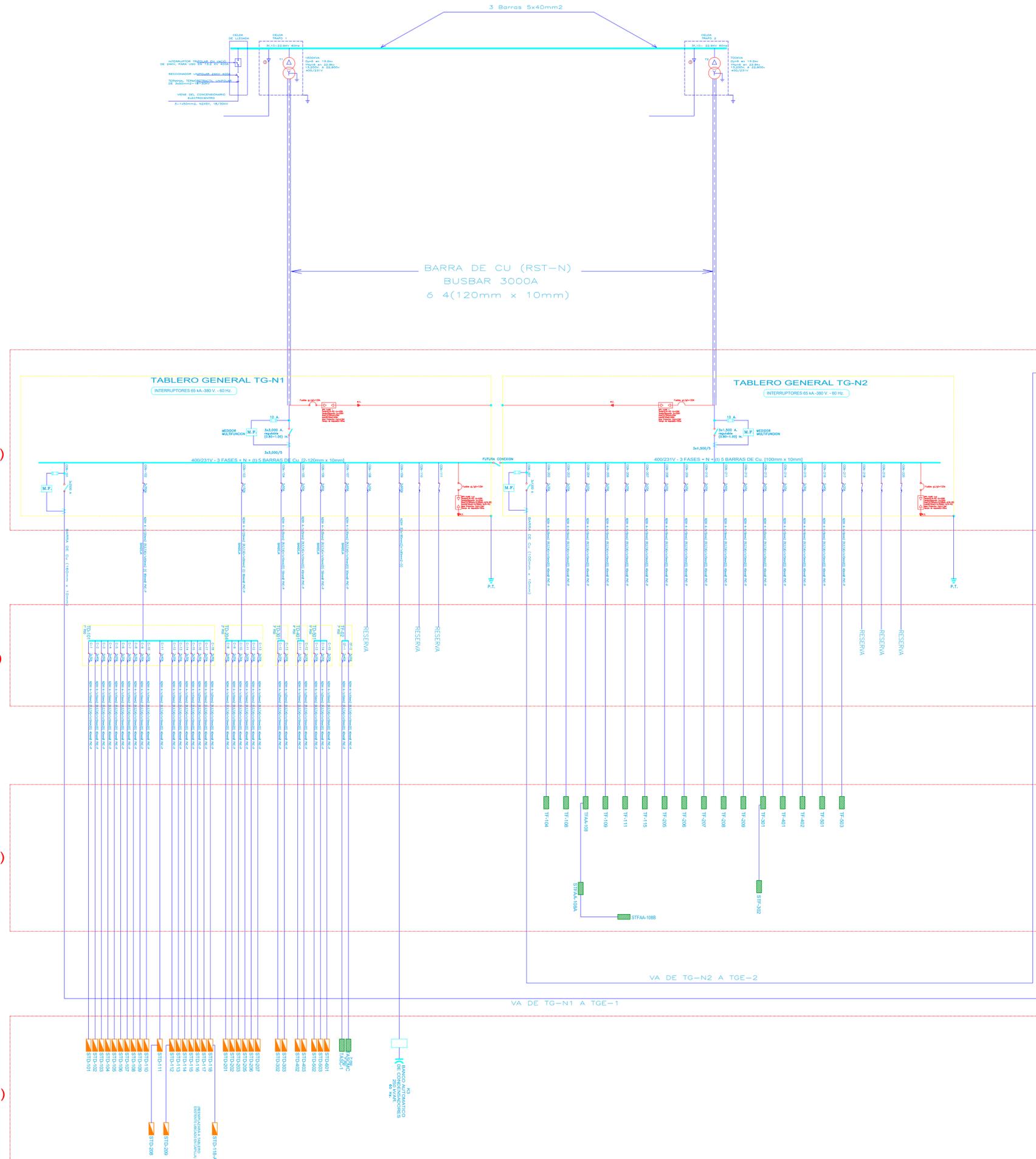
PLANO 12 A : DIAGRAMA UNIFILAR CON INSTALACION DE DISPOSITIVOS CONTRA SOBRETENSIONES

LPZ 0
CATERIA DE SOBRETENSION IV (6kV)

LPZ 1
CATERIA DE SOBRETENSION III (4kV)

LPZ 2
CATERIA DE SOBRETENSION II (2.5kV)

LPZ 3
CATERIA DE SOBRETENSION I (1.5kV)



LEYENDA SUBESTACION

SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TRANSFORMADOR TRIFASICO EN CONEXION TRIANGULO-ESTRELLA CON EL NEUTRO PUESTO A TIERRA
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	SECCIONADOR TRIPOLAR OPERACION SIN CARGA MANDO FRONTAL
	TERMINAL PARA CABLE
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE COMUNICACION RS 485 CON PROTOCOLO MOD BUS
	INTERRUPTOR DE VACIO
	RELE DE PROTECCION
	TRANSF. TORCIONAL DE INTENSIDAD RESIDUAL

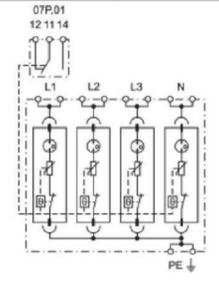
LEYENDA BAJA TENSION

SIMBOLOS	DESCRIPCION
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (NORMAL)
	TABLERO DE FUERZA (NORMAL)
	TABLERO DE ALUMBRADO Y TOMACORRIENTES (EMERGENCIA)
	TABLERO DE FUERZA (EMERGENCIA)
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EN BAJA TENSION, TIPO MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER
	EQUIPO DE MEDICION MULTIFUNCION, CON FUSIBLES DE PROTECCION, CON PUERTO DE SALIDA RS 485, PARA COMUNICACION CON PC
	FUSIBLE
	ALTERNADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA NEUTRO ACCESIBLE
	OPERACION PARA APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTOR MEDIANTE MANDO A DISTANCIA, CON SELECTOR M-0-A PARA MANDO LOCAL

7R.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

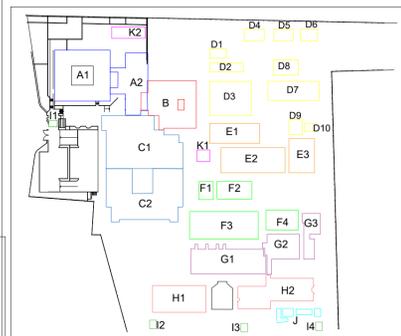
FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

DISTRITO:
ANDAHUAYLAS
PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS
DEPARTAMENTO:
APURIMAC

ESCUELA PROFESIONAL
IE

DIAGRAMA UNIFILAR STD-101, STD-102, STD-103, STD-104, STD-107, STD-108



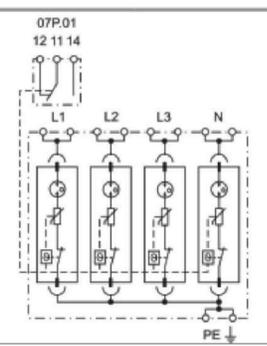
CUADRO DE CLAVES

CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mm \emptyset PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mm \emptyset PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P

7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
DISTRITO: ANDAHUAYLAS	ESCUELA PROFESIONAL: IE
PROVINCIA: ANDAHUAYLAS	
DEPARTAMENTO: APURIMAC	

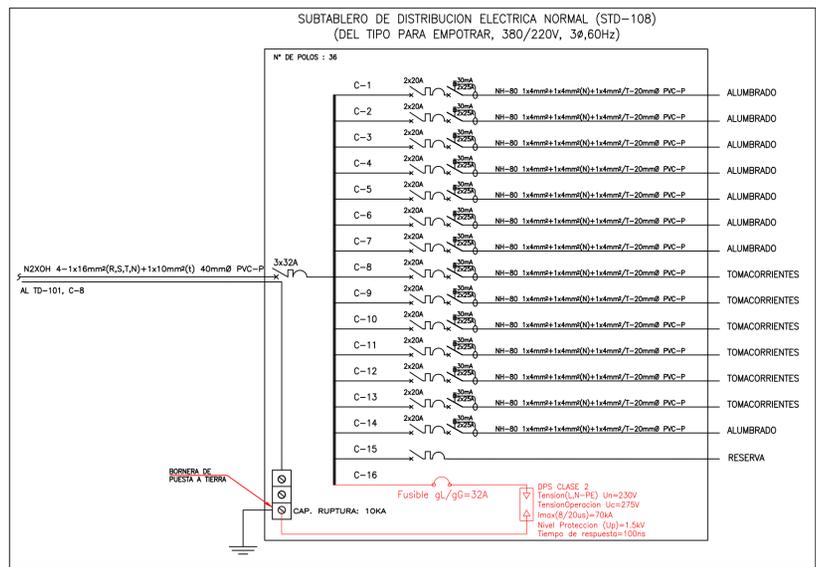
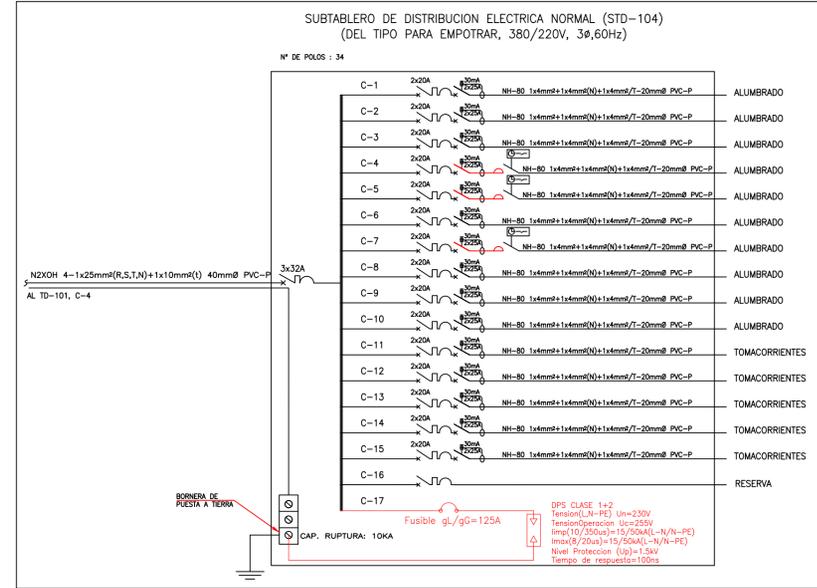
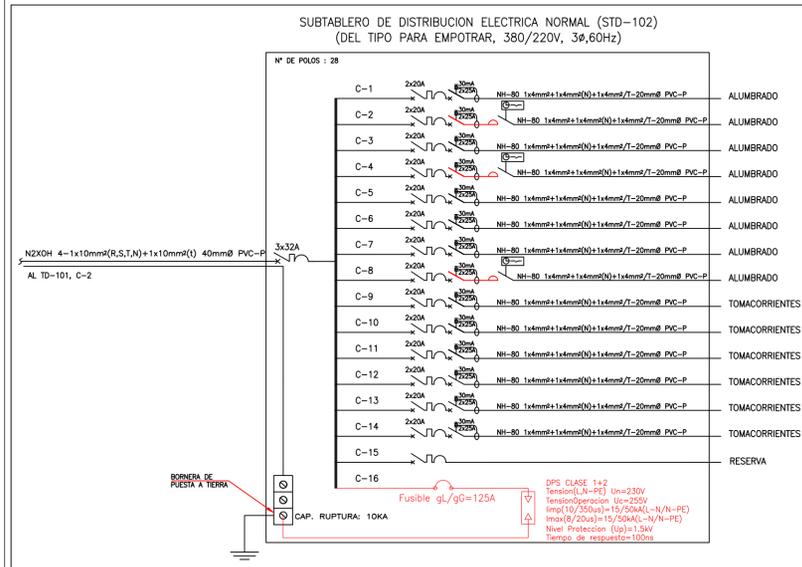
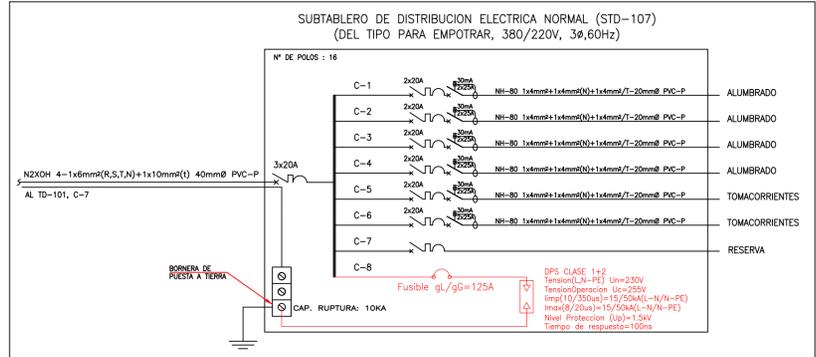
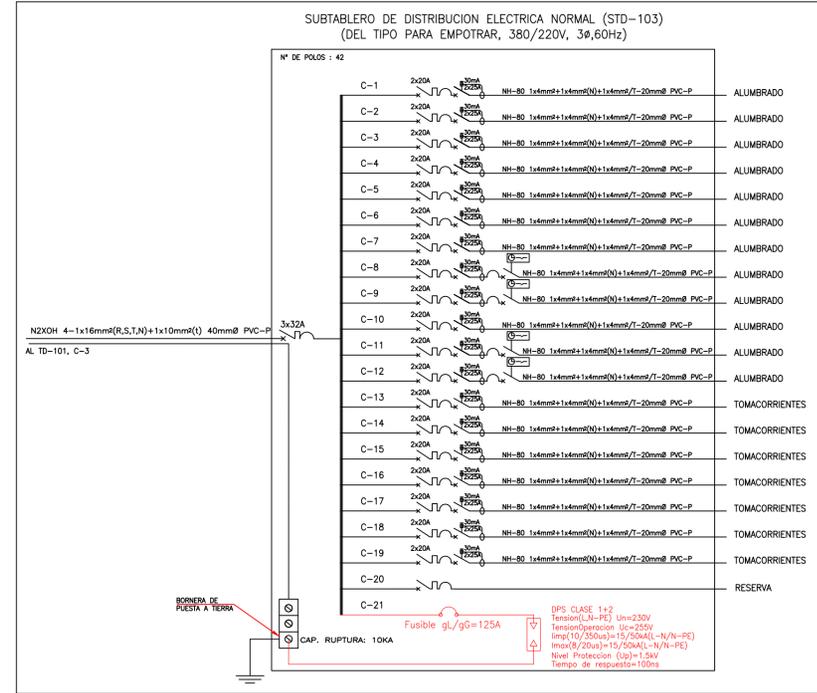
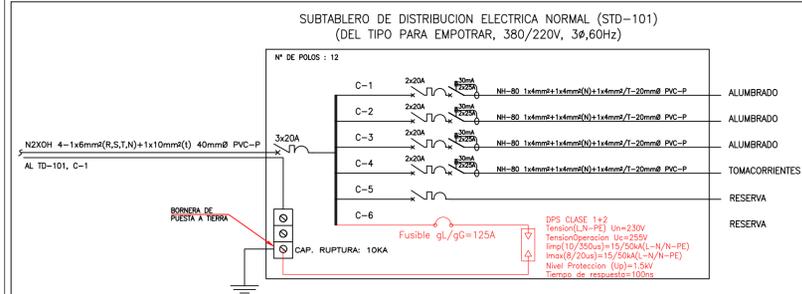
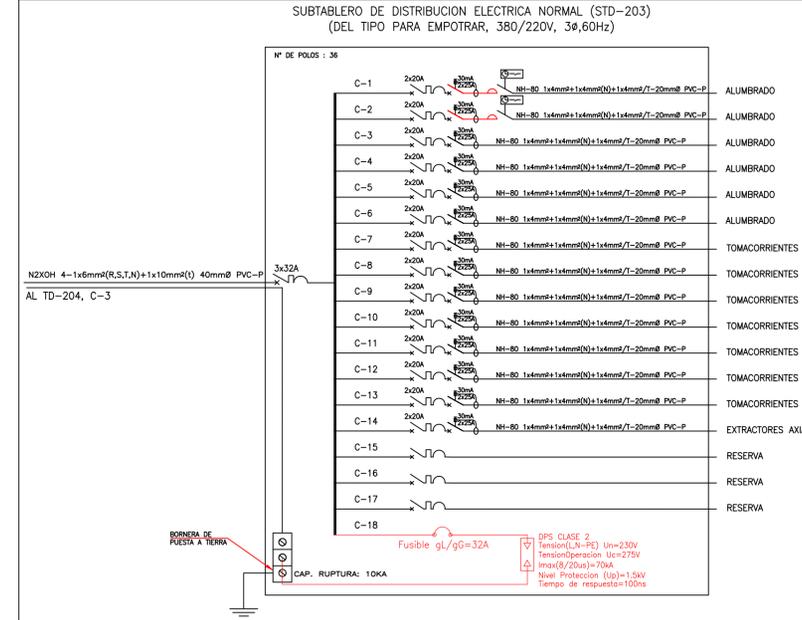
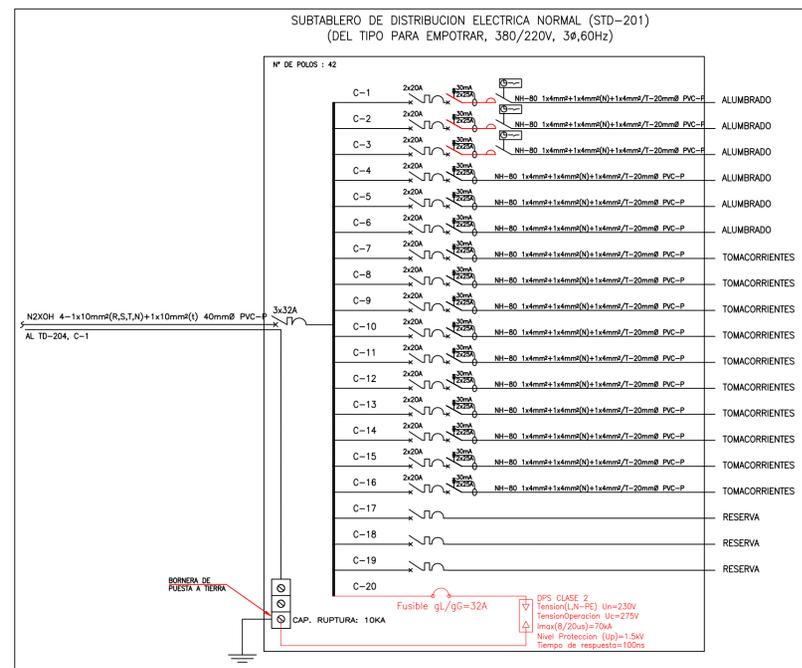
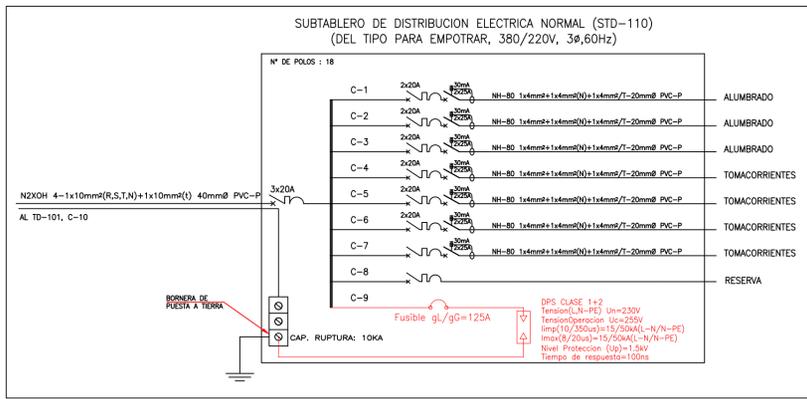
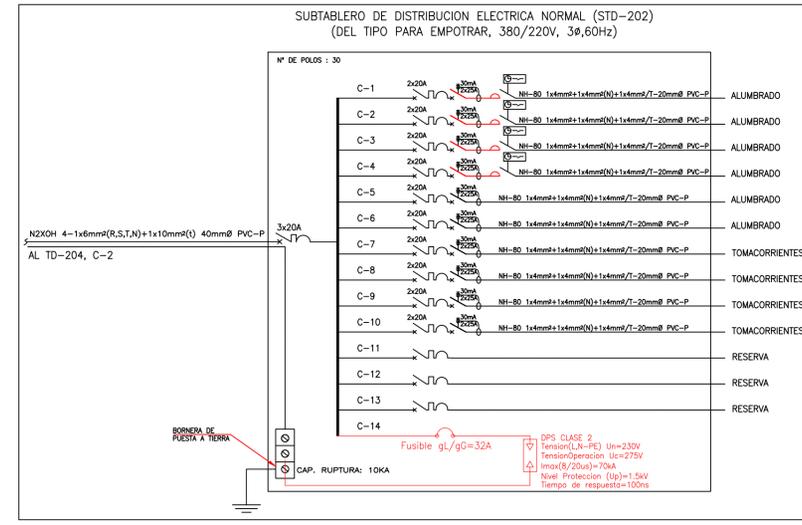
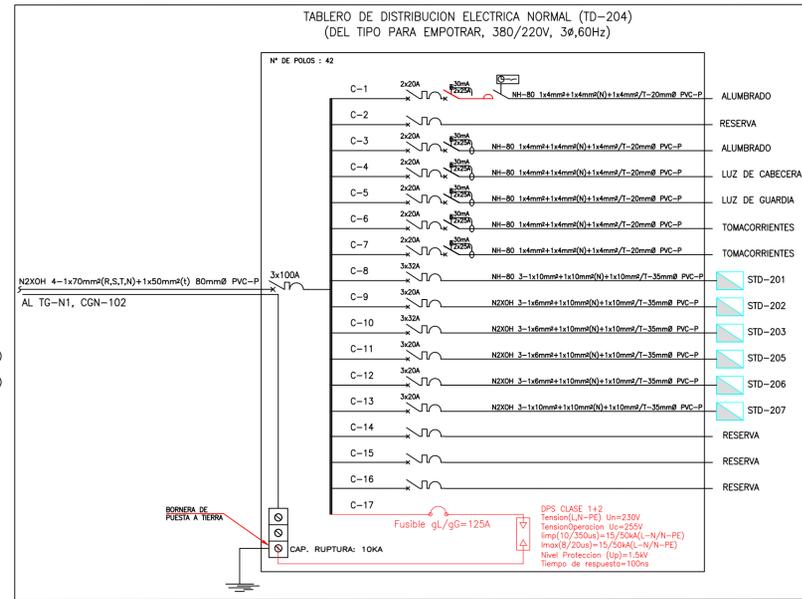
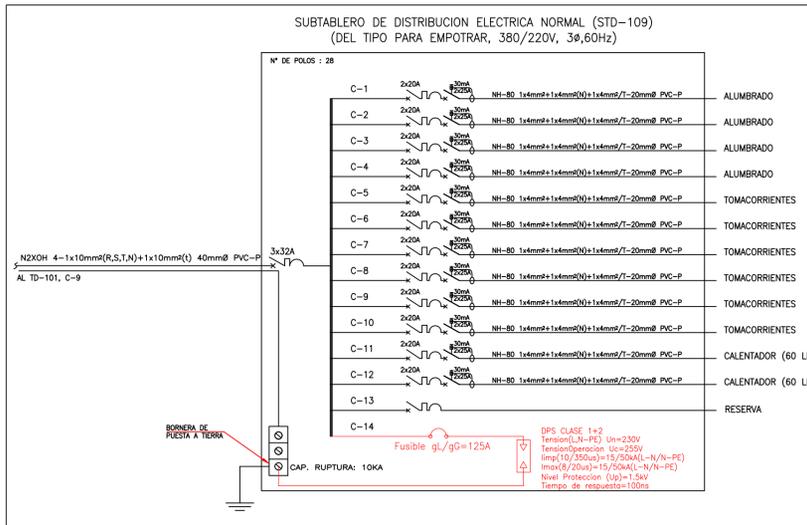
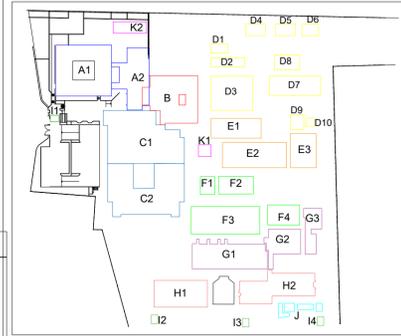


DIAGRAMA UNIFILAR STD-109, STD-110, TD-204, STD-201, STD-202, STD-203



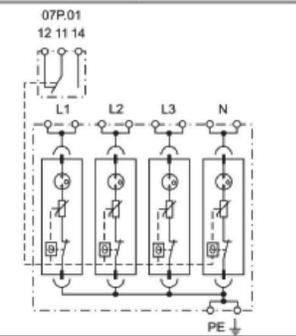
CUADRO DE CLAVES

ALIMENTADOR

(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mm ² PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mm ² PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mm ² PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mm ² PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mm ² PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mm ² PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mm ² PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm ² PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm ² PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mm ² PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm ² PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm ² PVC-P



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD: PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR: REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: MAY-2024 FACULTAD: FIEEIM

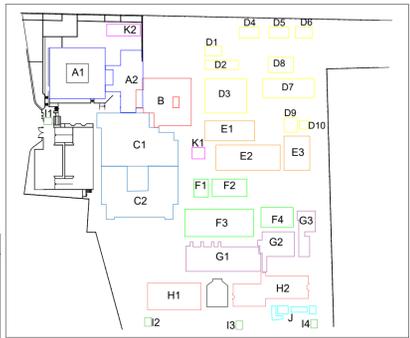
DISTRITO: ANDAHUAYLAS ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA: ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO: APURIMAC

IE

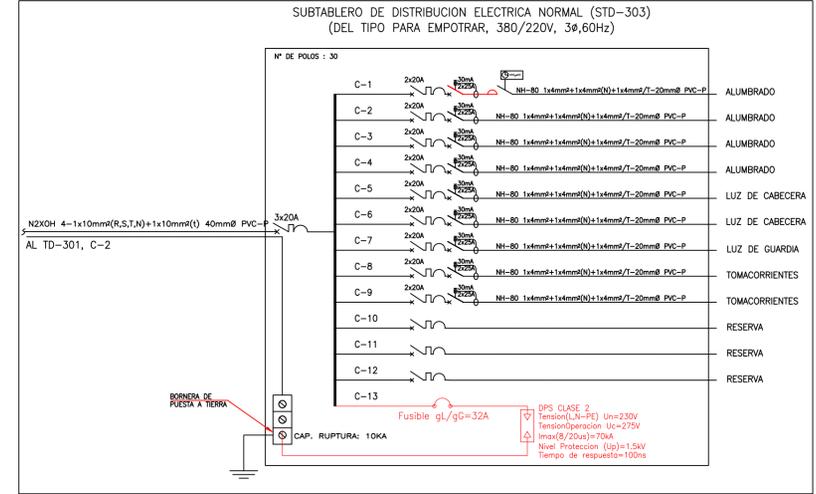
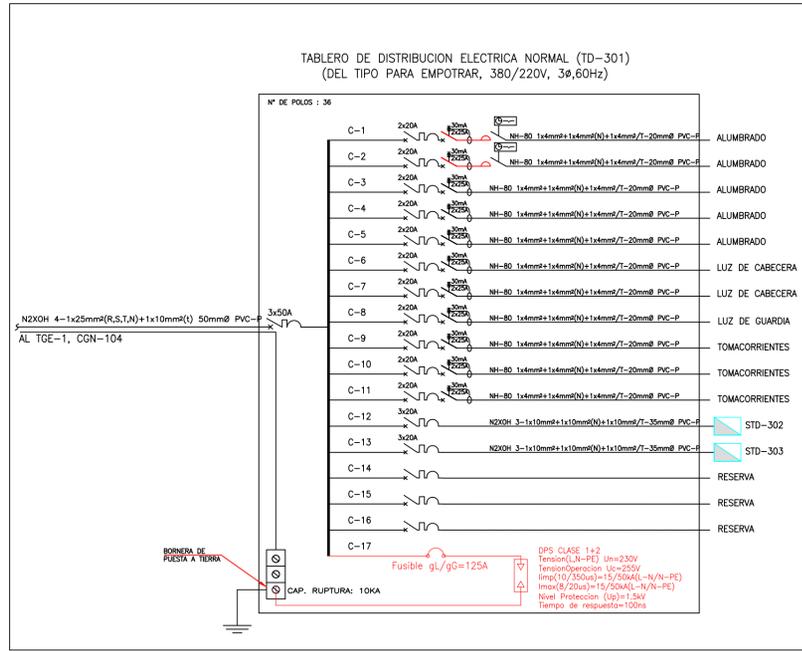
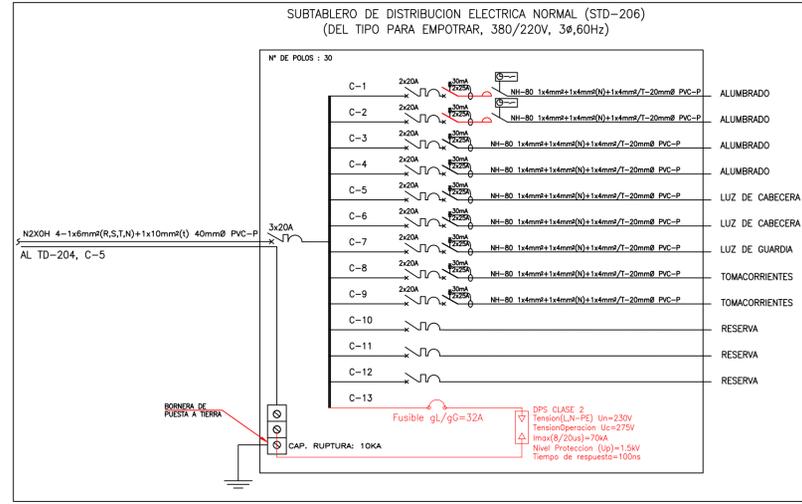
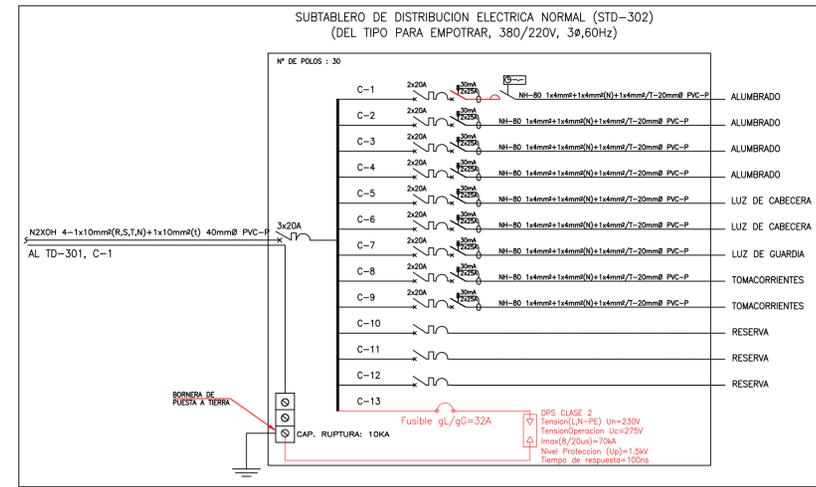
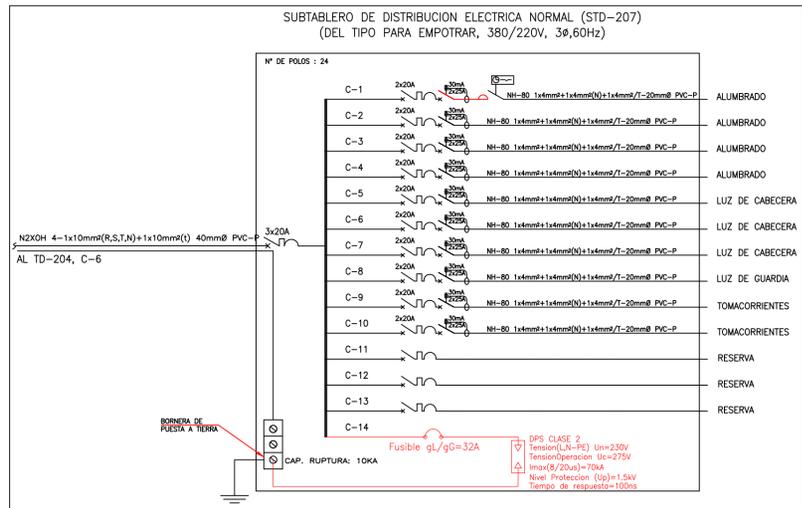
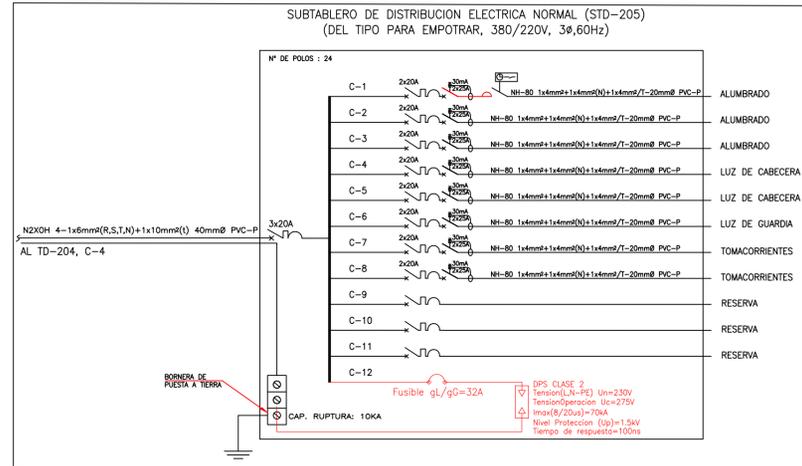
DIAGRAMA UNIFILAR STD-205, STD-206, STD-207, TD-301, STD-302, STD-303



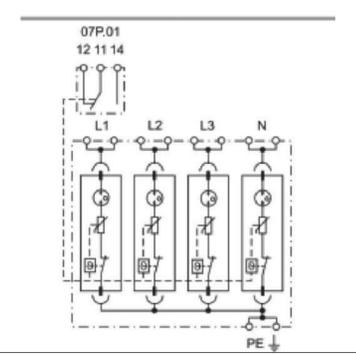
CUADRO DE CLAVES

ALIMENTADOR

Ⓐ	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mmØ PVC-P
Ⓑ	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mmØ PVC-P
Ⓒ	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mmØ PVC-P
Ⓓ	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mmØ PVC-P
Ⓔ	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mmØ PVC-P
Ⓕ	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mmØ PVC-P
Ⓖ	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
Ⓗ	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
Ⓙ	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mmØ PVC-P
Ⓚ	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P
Ⓛ	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

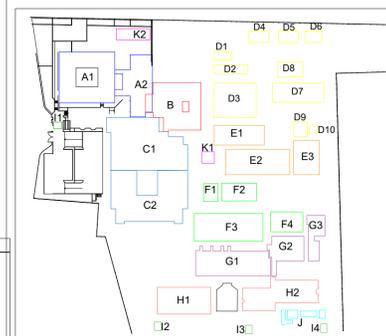
DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

ESCUELA PROFESIONAL:
IE

DIAGRAMA UNIFILAR TD-401, STD-402, STD-403, TD-501, STD-502, STD-503



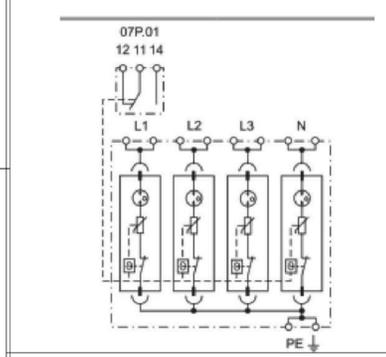
CUADRO DE CLAVES

ALIMENTADOR

Ⓐ	N2XOH 4-1x40mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P
Ⓑ	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
Ⓒ	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
Ⓓ	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
Ⓔ	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mm \emptyset PVC-P
Ⓚ	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mm \emptyset PVC-P
Ⓛ	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
Ⓜ	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
Ⓝ	N2XOH 4-1x8mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
Ⓞ	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P
Ⓟ	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

FACULTAD:
FIEEIM

ESCUELA PROFESIONAL:
IE

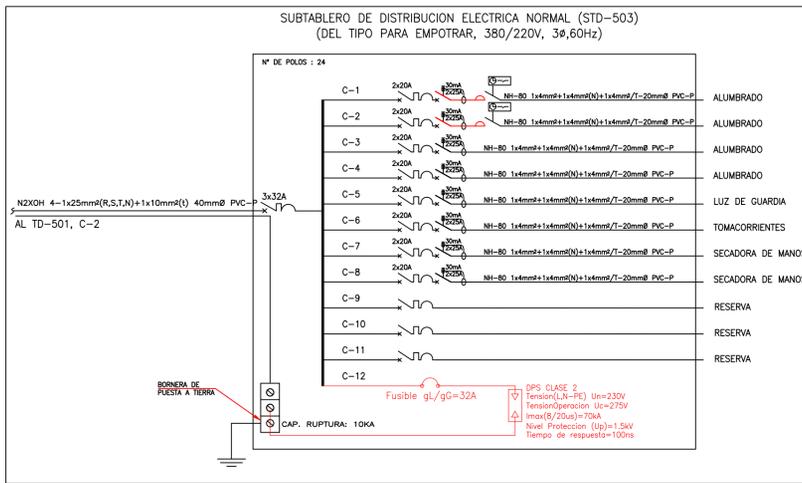
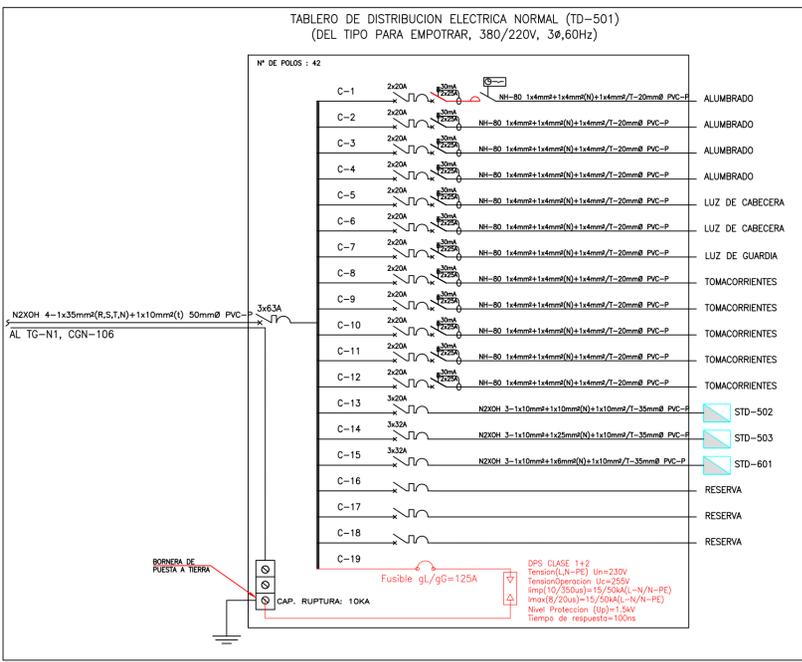
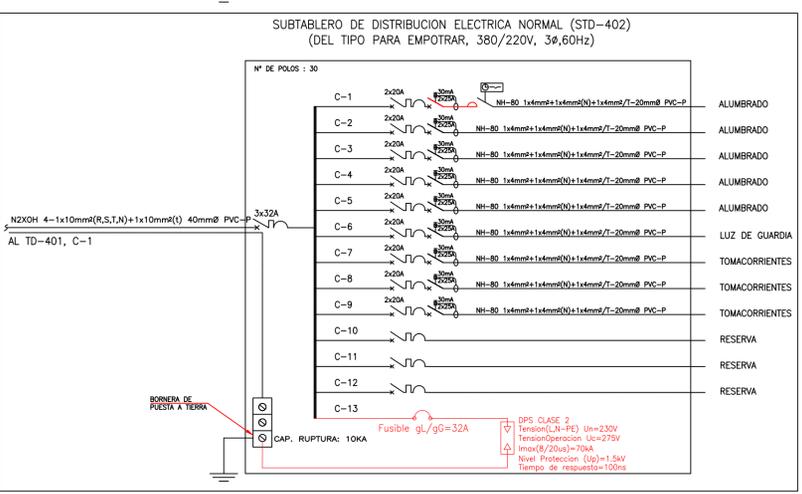
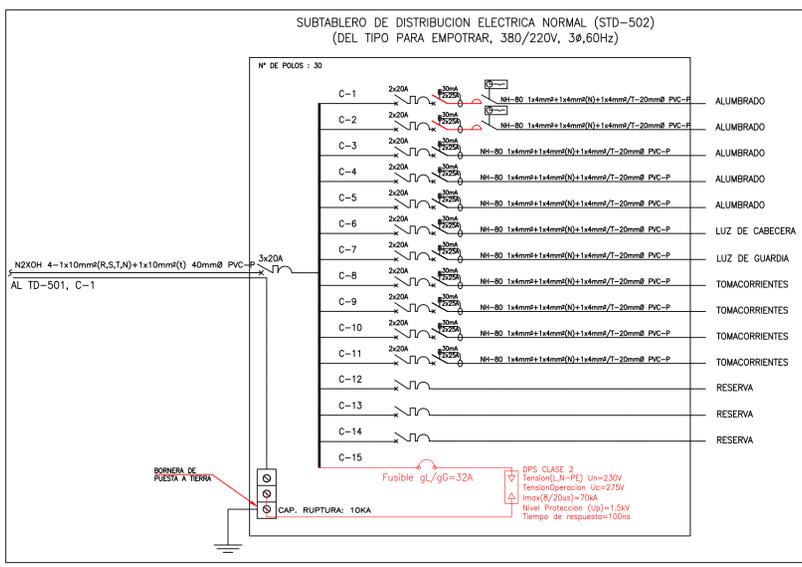
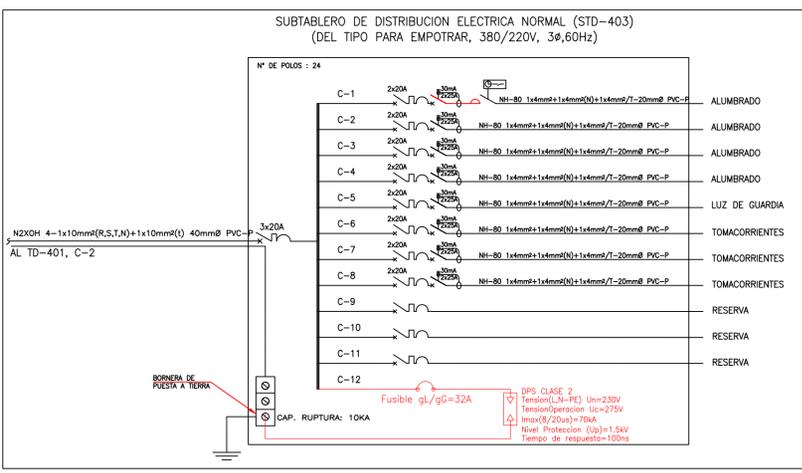
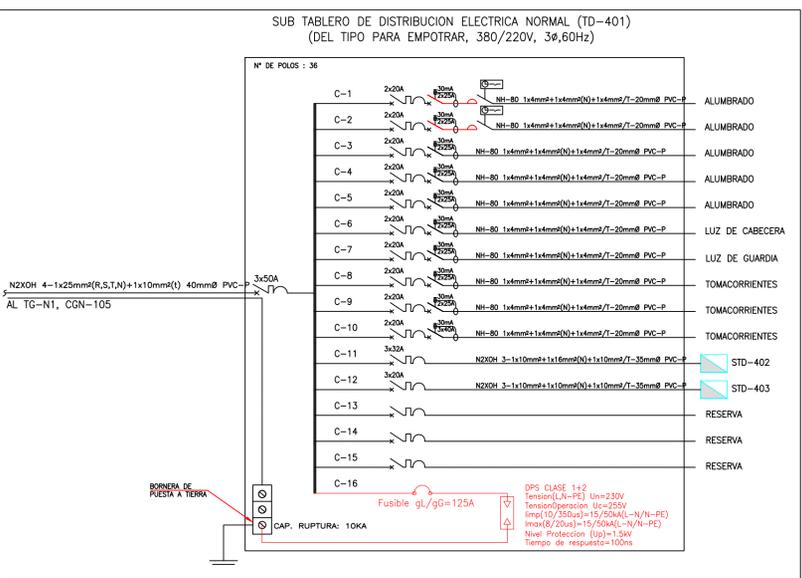
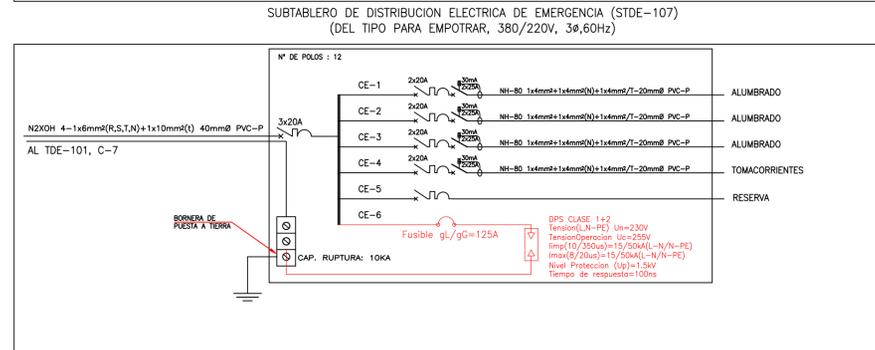
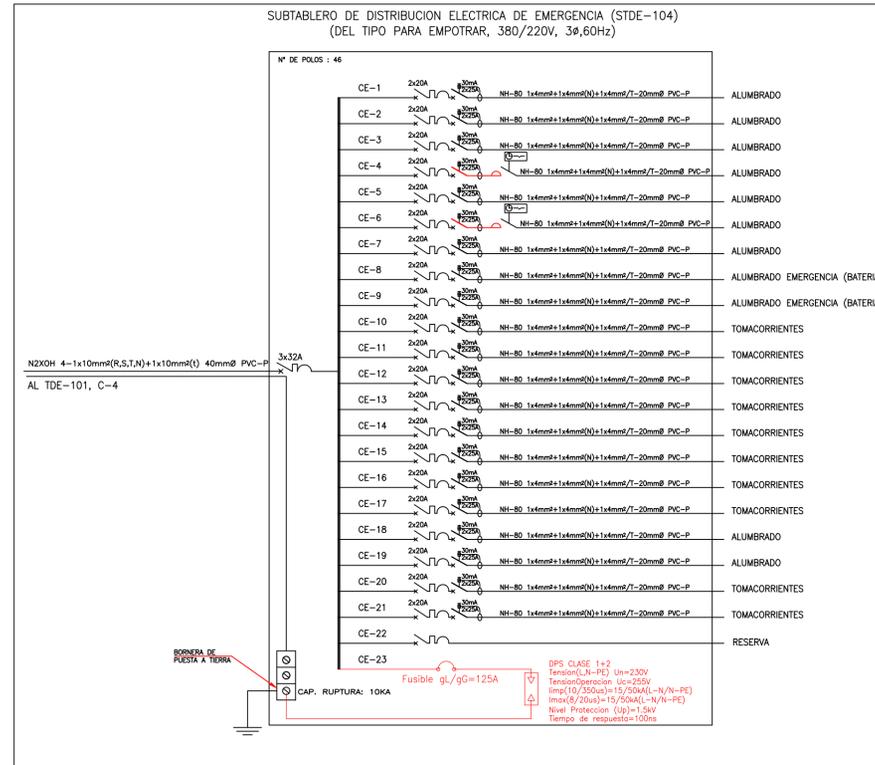
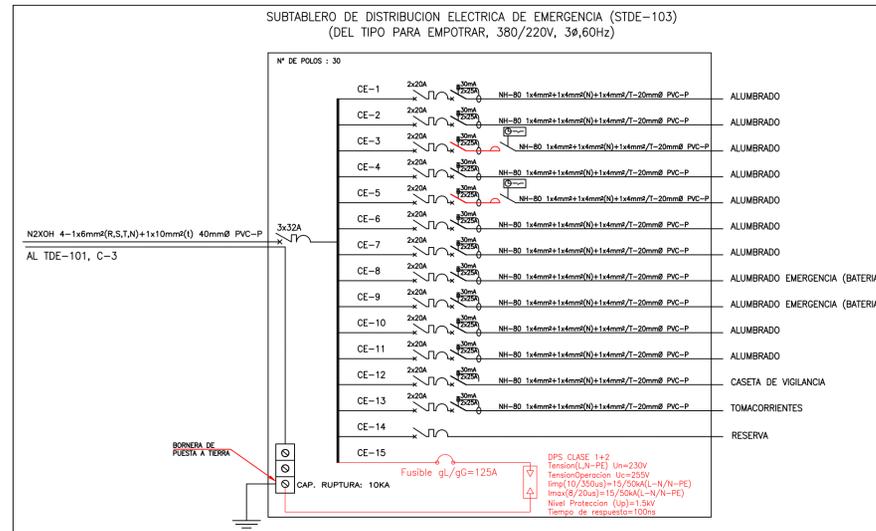
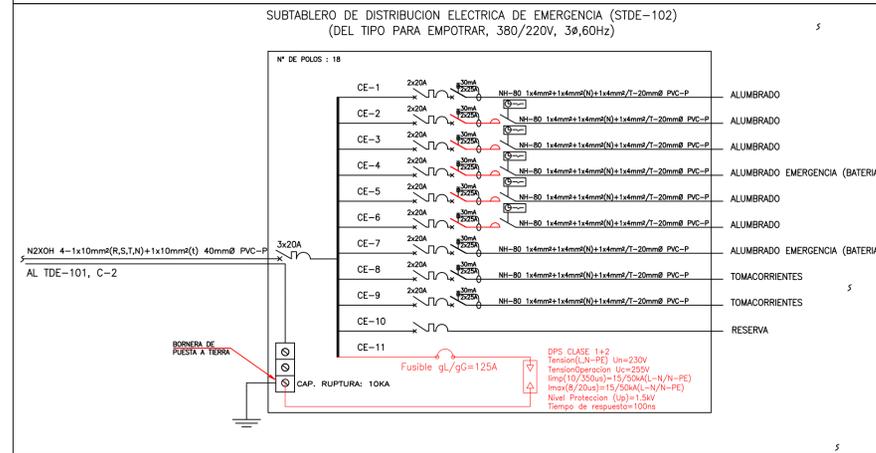
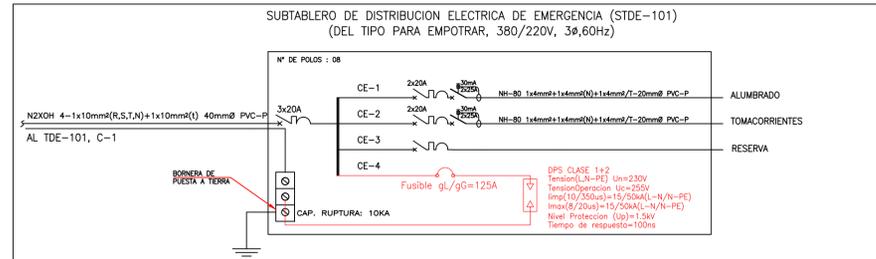
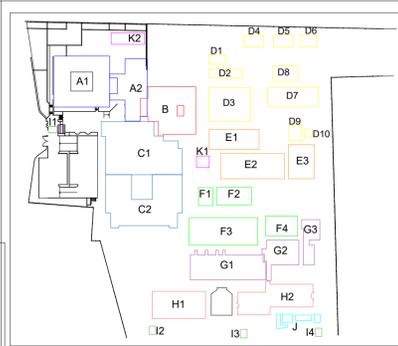


DIAGRAMA UNIFILAR STDE-101, STDE-102, STDE-103, STDE-104, STDE-107



CUADRO DE CLAVES

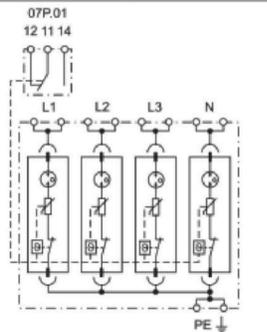
ALIMENTADOR

Ⓐ	N2XOH 4-1x40mm2 (R,S,T,N)+1x95mm2(I) 150mmØ PVC-P
Ⓑ	N2XOH 4-1x120mm2 (R,S,T,N)+1x50mm2(I) 80mmØ PVC-P
Ⓒ	N2XOH 4-1x95mm2 (R,S,T,N)+1x70mm2(I) 80mmØ PVC-P
Ⓓ	N2XOH 4-1x70mm2 (R,S,T,N)+1x35mm2(I) 80mmØ PVC-P
Ⓔ	N2XOH 4-1x50mm2 (R,S,T,N)+1x25mm2(I) 65mmØ PVC-P
Ⓛ	N2XOH 4-1x35mm2 (R,S,T,N)+1x25mm2(I) 50mmØ PVC-P
Ⓜ	N2XOH 4-1x25mm2 (R,S,T,N)+1x16mm2(I) 40mmØ PVC-P
Ⓨ	N2XOH 4-1x16mm2 (R,S,T,N)+1x10mm2(I) 40mmØ PVC-P
Ⓛ	N2XOH 4-1x10mm2 (R,S,T,N)+1x10mm2(I) 40mmØ PVC-P
Ⓛ	N2XOH 4-1x6mm2 (R,S,T,N)+1x6mm2 (I) 40mmØ PVC-P
Ⓛ	N2XOH 4-1x300mm2 (R,S,T,N)+1x500mm2 (I) 150mmØ PVC-P
Ⓛ	N2XOH 4-1x500mm2 (R,S,T,N)+1x500mm2 (I) 150mmØ PVC-P

7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:

REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: MAY-2024 FACULTAD: FIEEIM

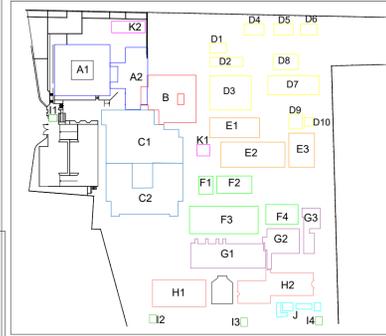
DISTRITO: ANDAHUAYLAS ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA: ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO: APURIMAC

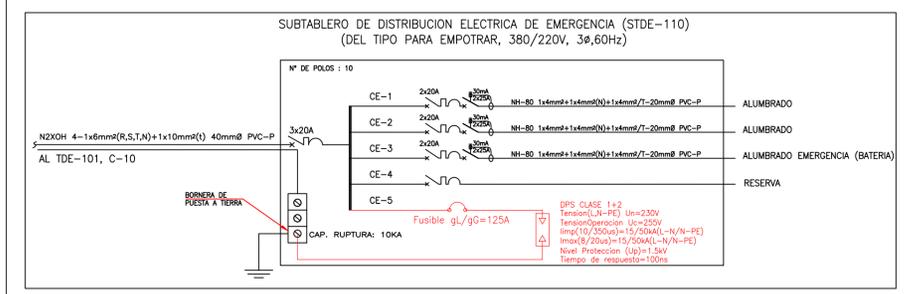
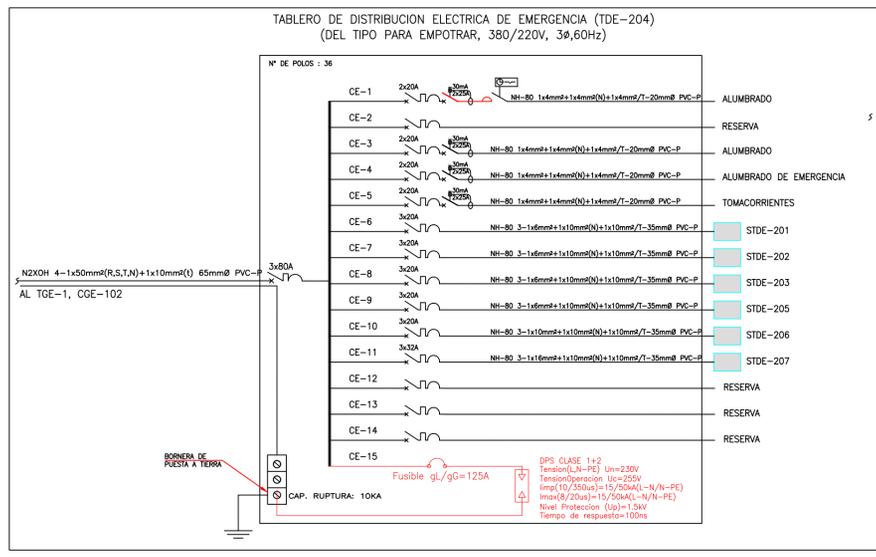
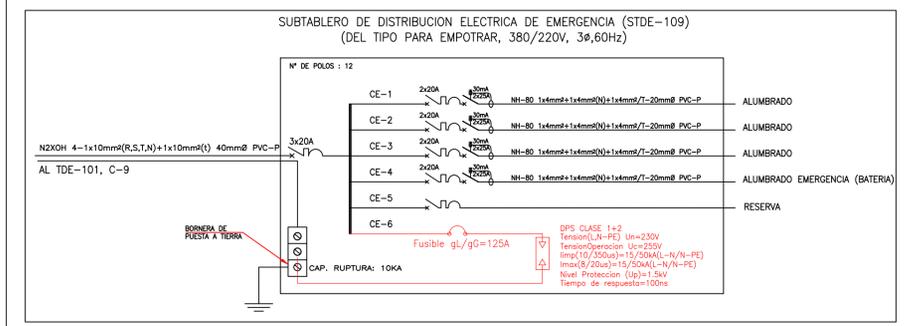
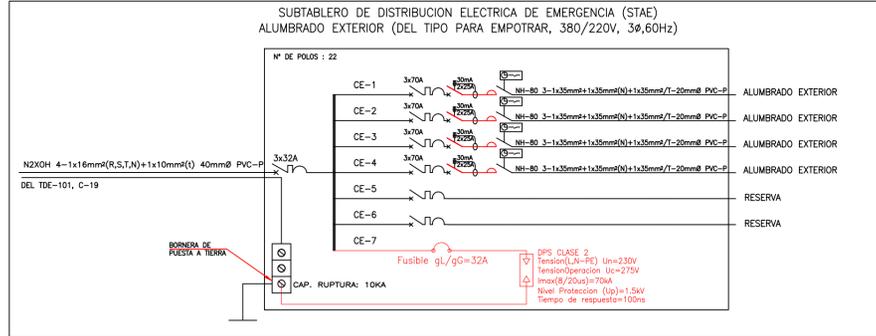
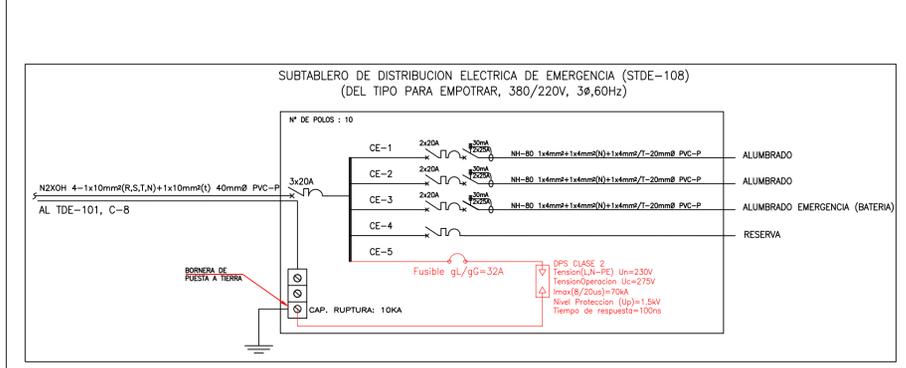


DIAGRAMA UNIFILAR STDE-108, STDE-109, STDE-110, STAE, TDE-204

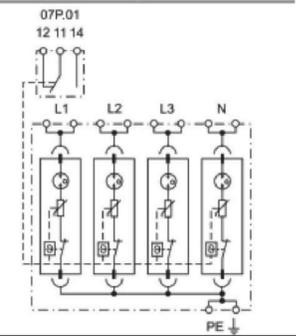


CUADRO DE CLAVES

CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

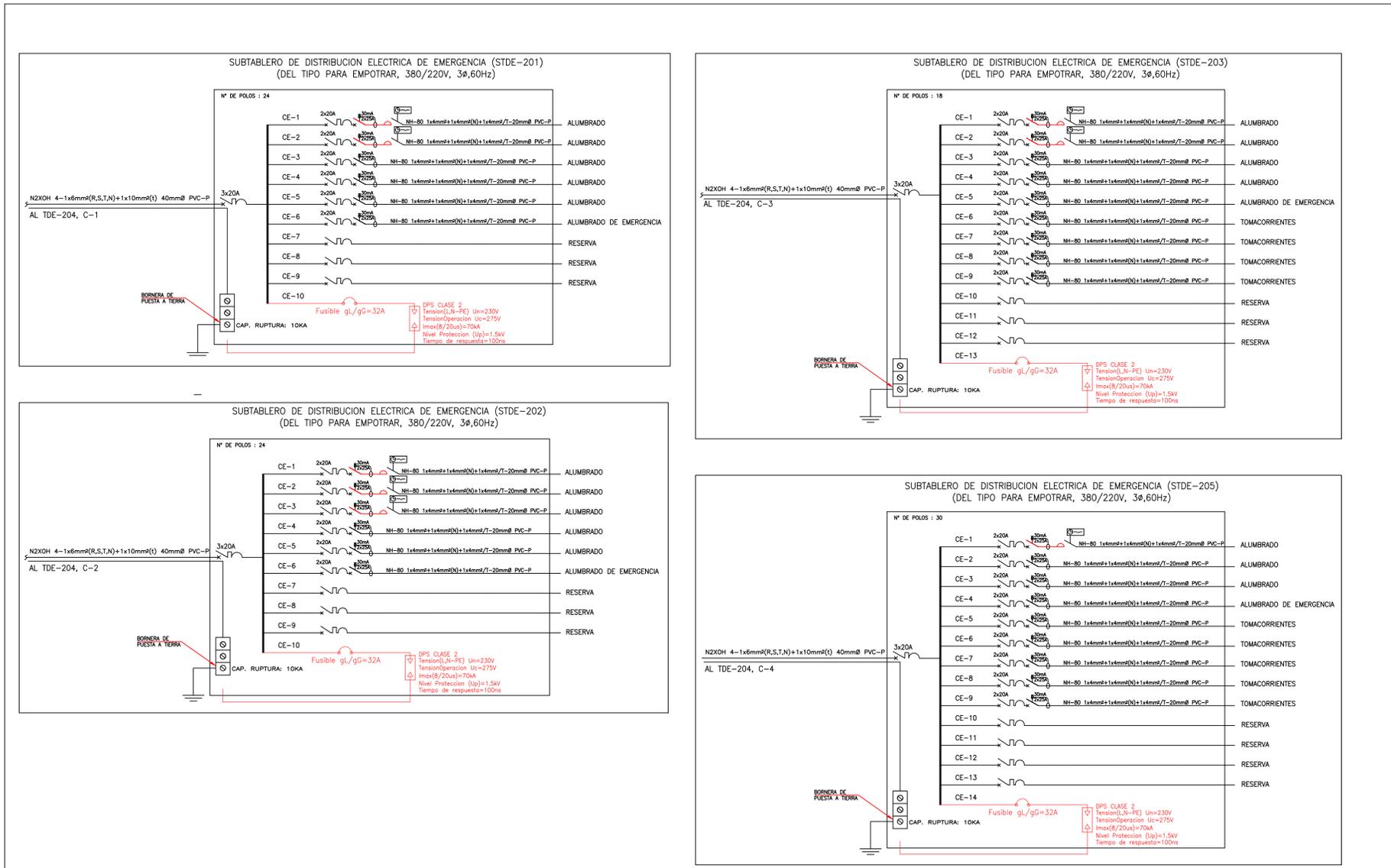
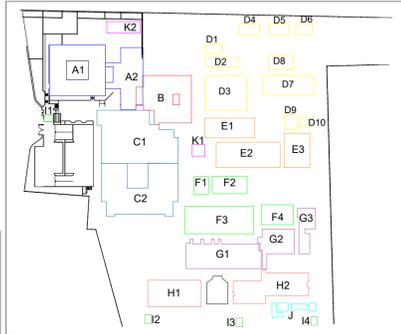
DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

IE

DIAGRAMA UNIFILAR STDE-201, STDE-202, STDE-203, STDE-205

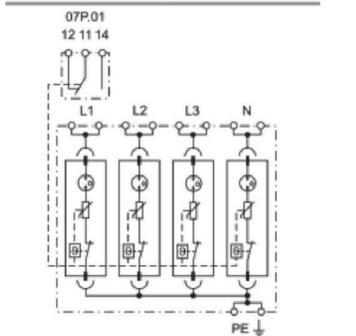


CUADRO DE CLAVES

CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (t) 150mm \varnothing PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 80mm \varnothing PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (t) 80mm \varnothing PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (t) 80mm \varnothing PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 65mm \varnothing PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 50mm \varnothing PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (t) 40mm \varnothing PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mm \varnothing PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mm \varnothing PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (t) 40mm \varnothing PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mm \varnothing PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mm \varnothing PVC-P



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

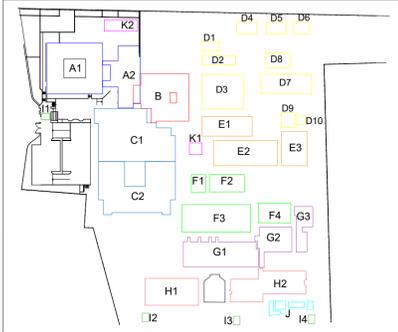
PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

FACULTAD:
FIEEIM

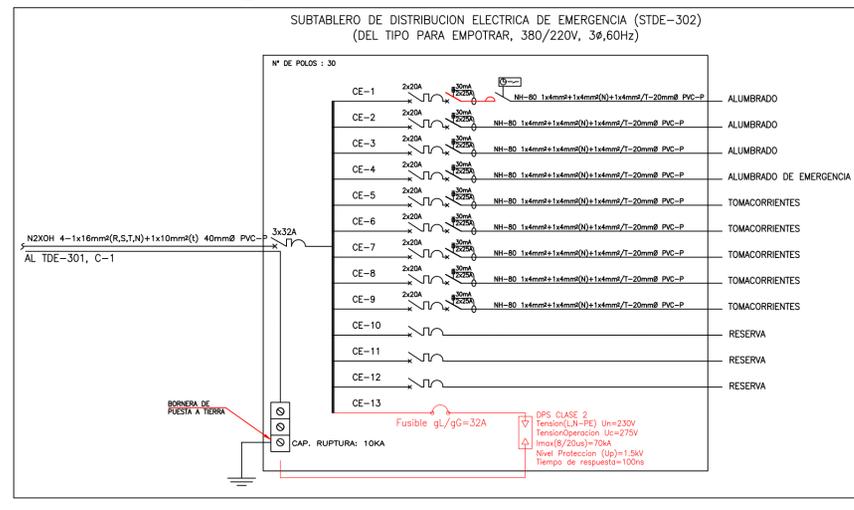
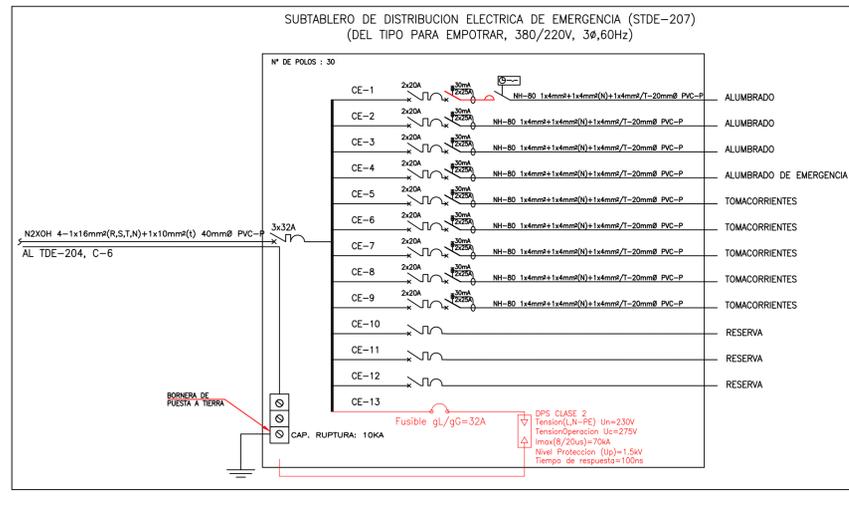
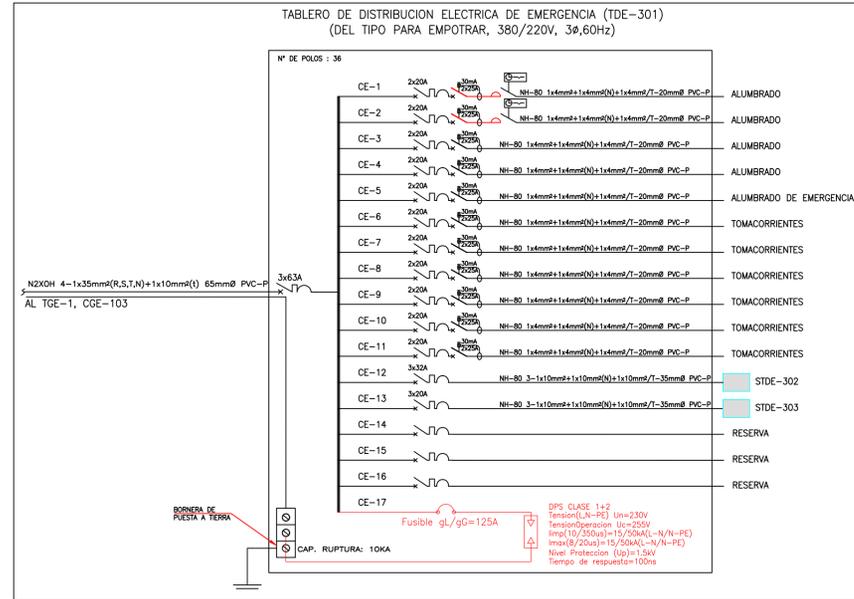
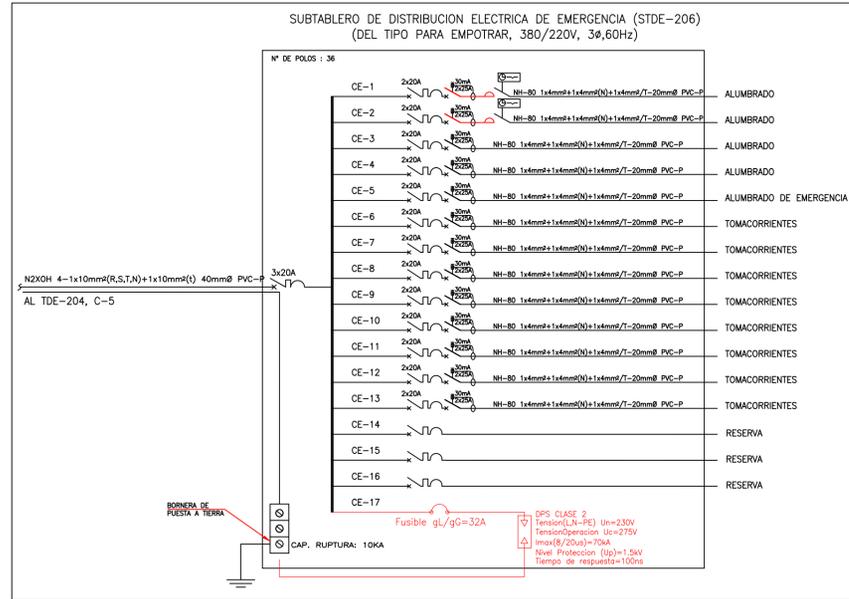
ESCUELA PROFESIONAL:
IE

DIAGRAMA UNIFILAR STDE-206, STDE-207, TDE-301, STDE-302



CUADRO DE CLAVES

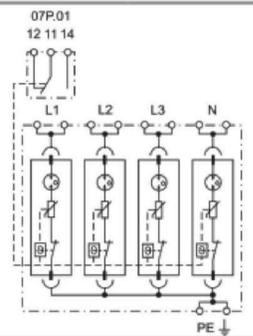
CLAVE	ALIMENTADOR
⊕	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 150mmØ PVC-P
⊙	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mmØ PVC-P
⊗	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mmØ PVC-P
⊖	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mmØ PVC-P
⊕	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mmØ PVC-P
⊖	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mmØ PVC-P
⊙	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mmØ PVC-P
⊗	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
⊖	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
⊕	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mmØ PVC-P
⊖	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P
⊙	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

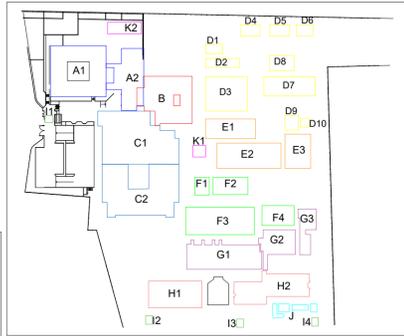
DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

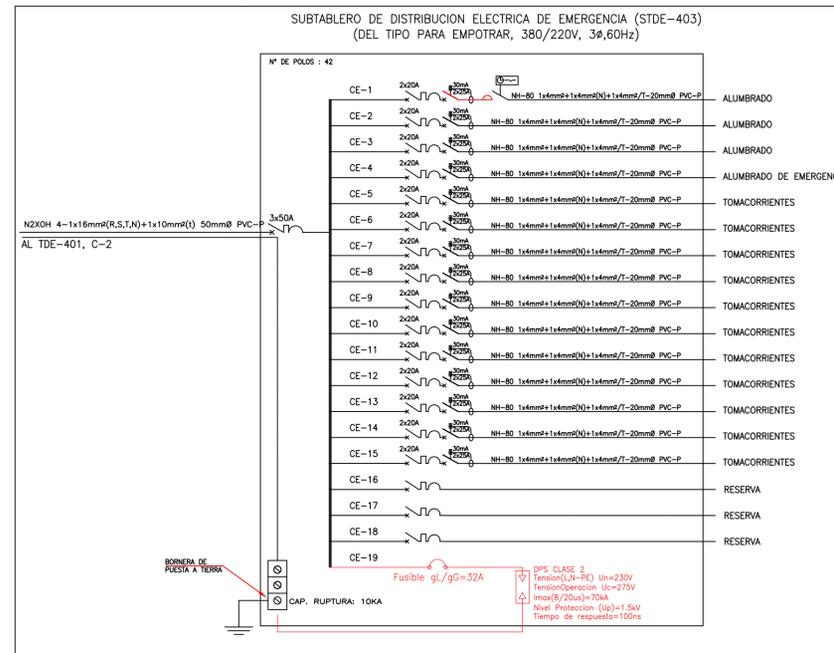
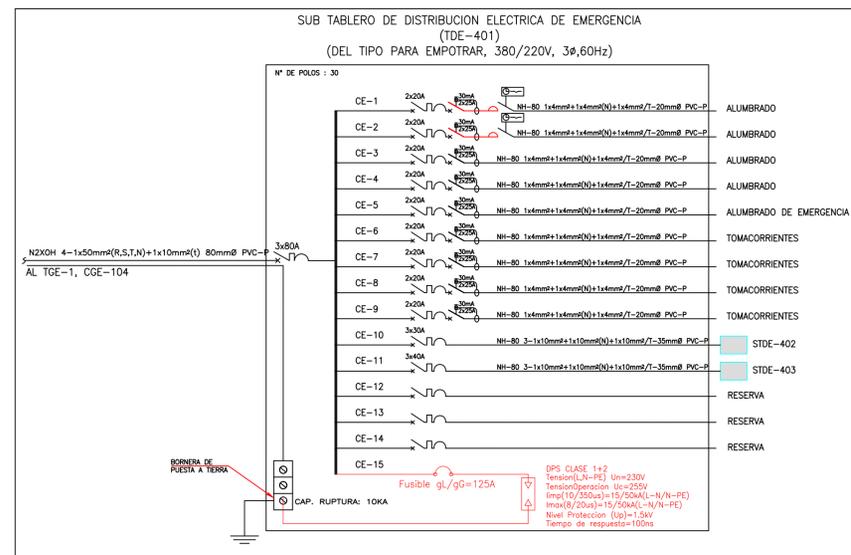
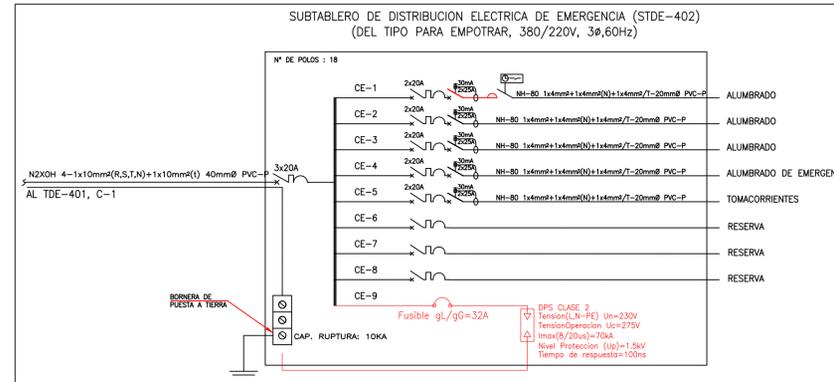
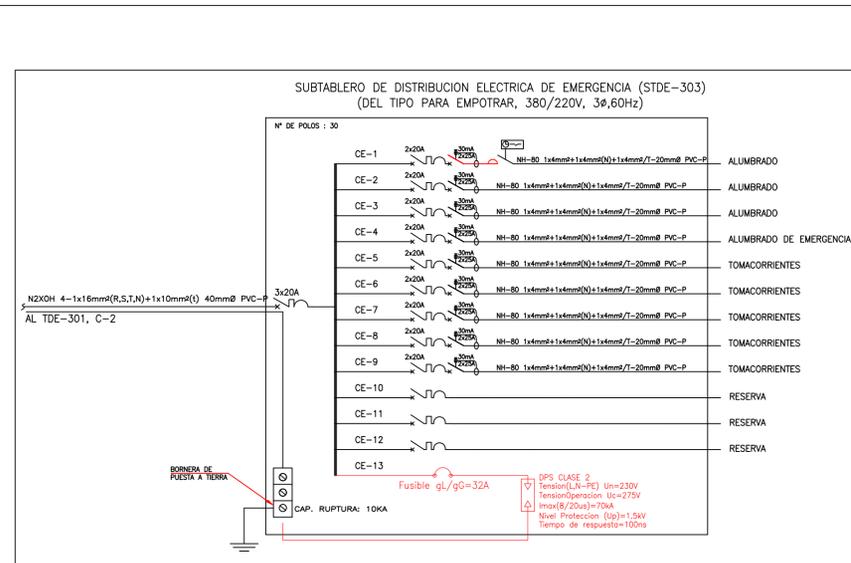
ESCUELA PROFESIONAL:
IE

DIAGRAMA UNIFILAR STDE-303, TDE-401, STDE-402, STDE-403



CUADRO DE CLAVES

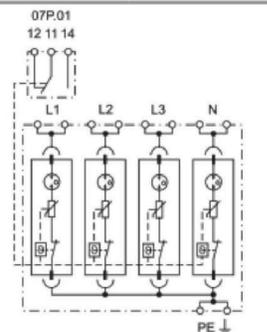
CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

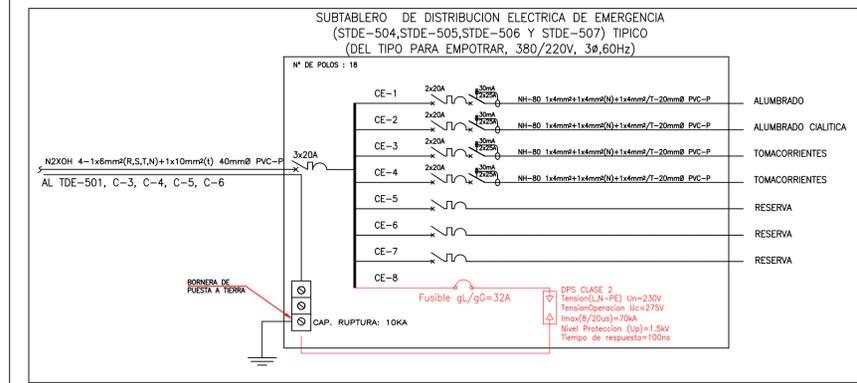
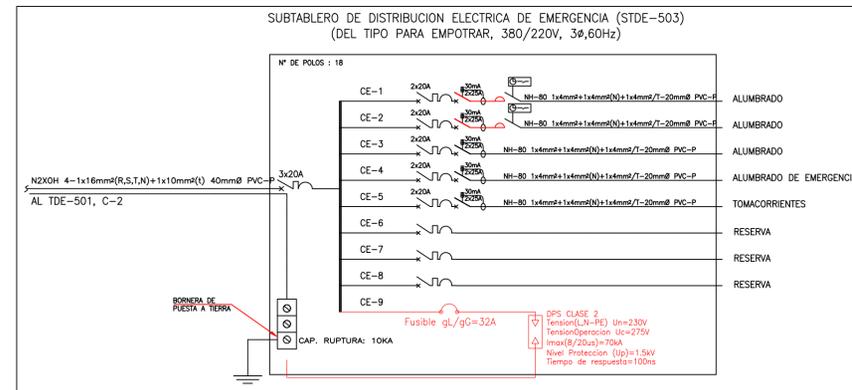
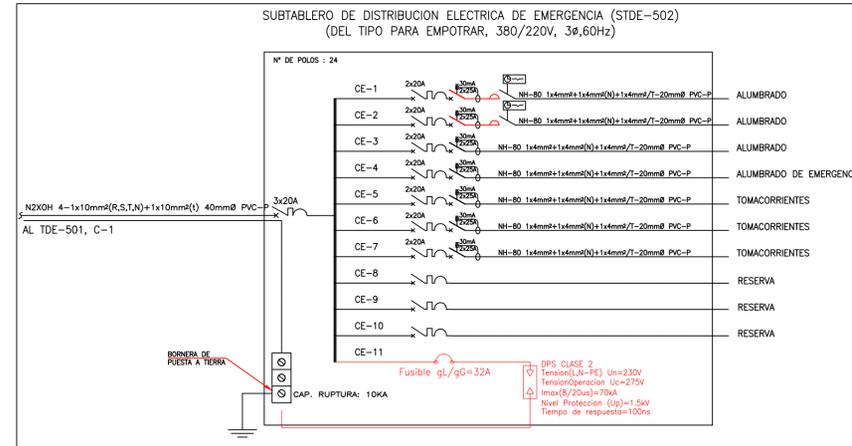
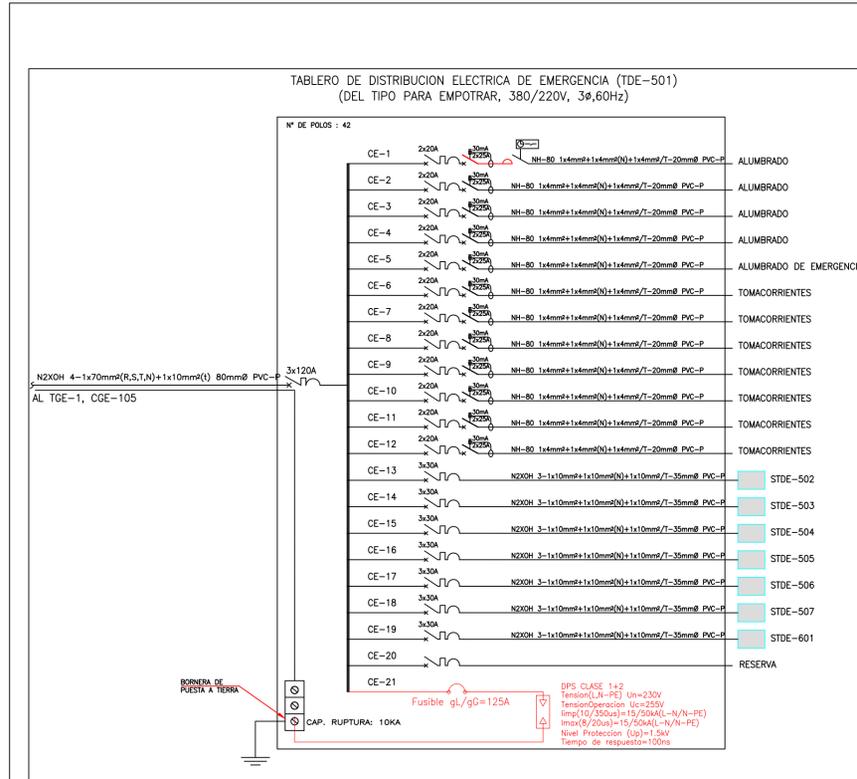
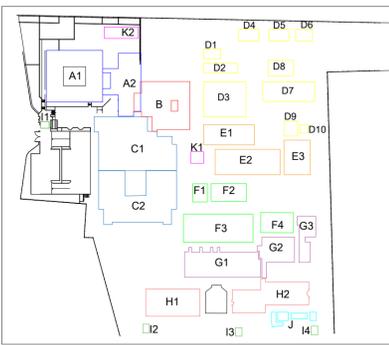
FECHA: **MAY-2024** FACULTAD: **FIEEIM**

DISTRITO: **ANDAHUAYLAS** ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA: **ANDAHUAYLAS**
DEPARTAMENTO: **APURIMAC**



DIAGRAMA UNIFILAR TDE-501, STDE-504, STDE-505, STDE-506, STDE-507, STDE-502, STDE-503



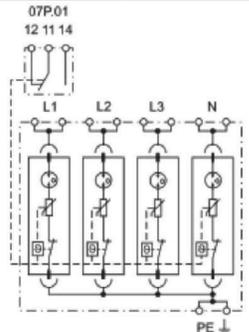
CUADRO DE CLAVES

CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (l) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (l) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (l) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (l) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (l) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (l) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (l) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (l) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (l) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (l) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (l) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (l) 150mmØ PVC-P

7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:

REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:

MAY-2024

FACULTAD:

FIEEIM

DISTRITO:

ANDAHUAYLAS

ESCUELA PROFESIONAL:

IE

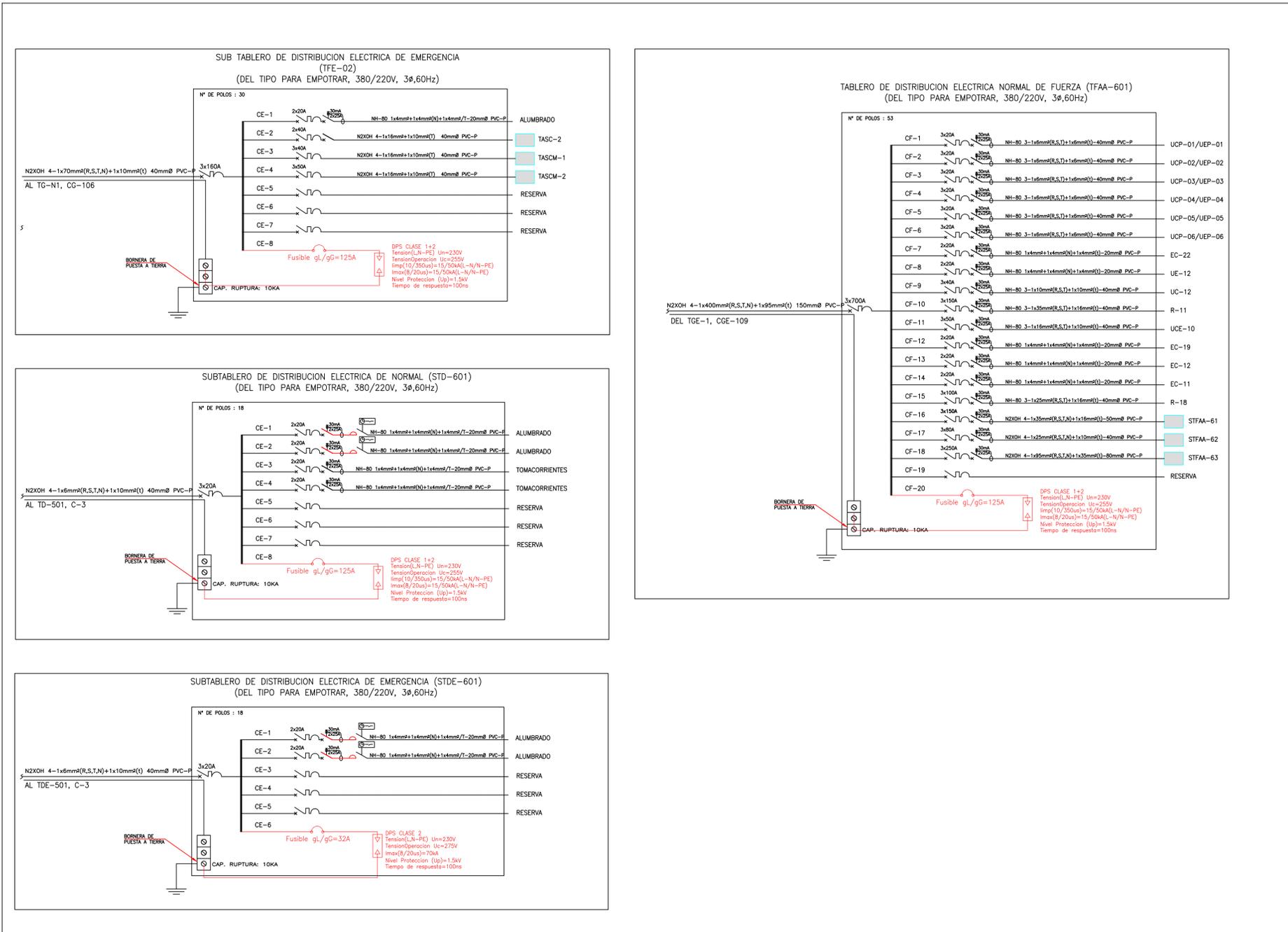
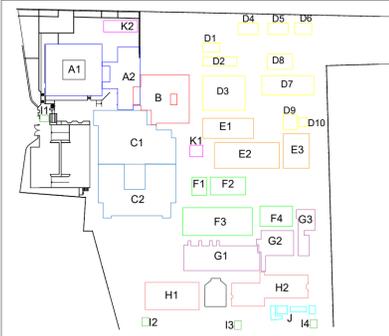
PROVINCIA:

ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:

APURIMAC

DIAGRAMA UNIFILAR TFE-02, STD-601, STDE-601, TFAA-601



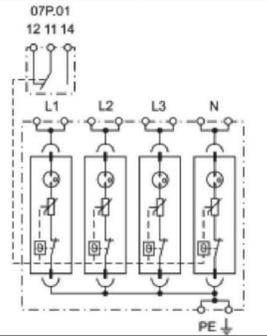
CUADRO DE CLAVES

CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x20mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P

7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

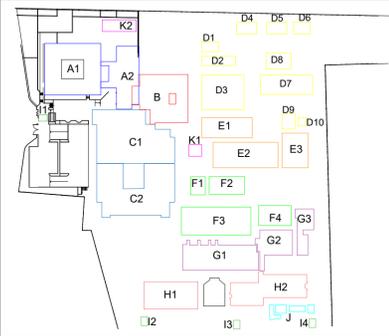
DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

ESCUELA PROFESIONAL:
IE

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

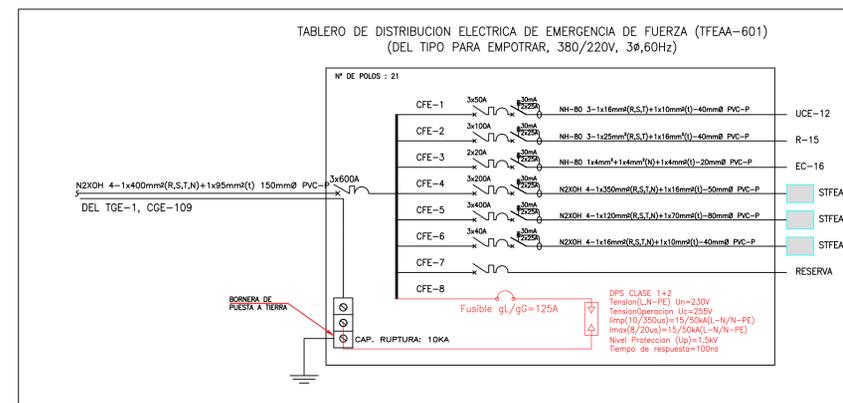
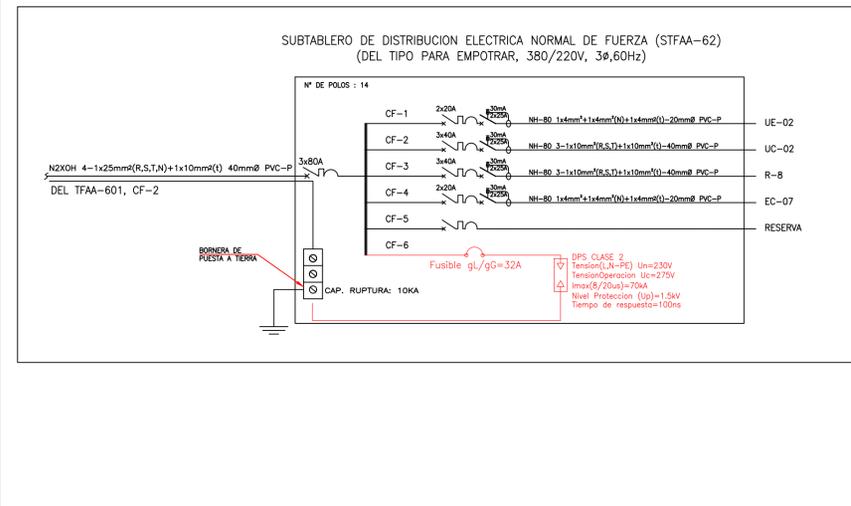
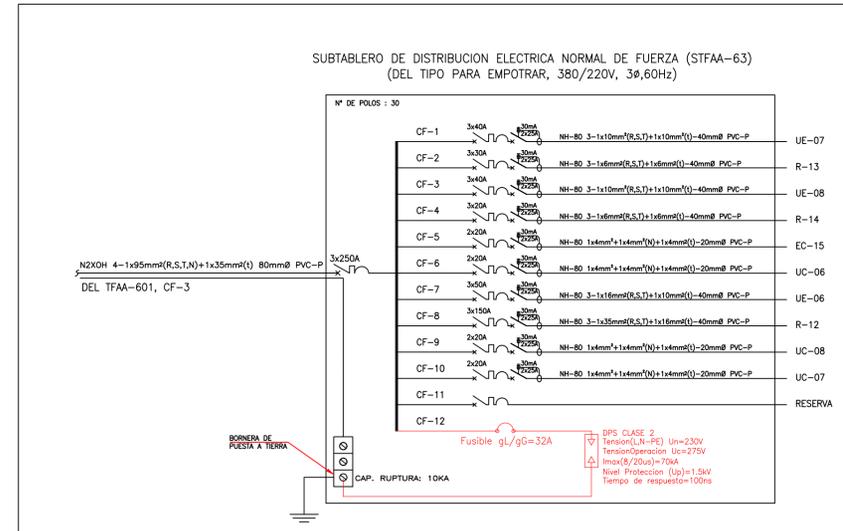
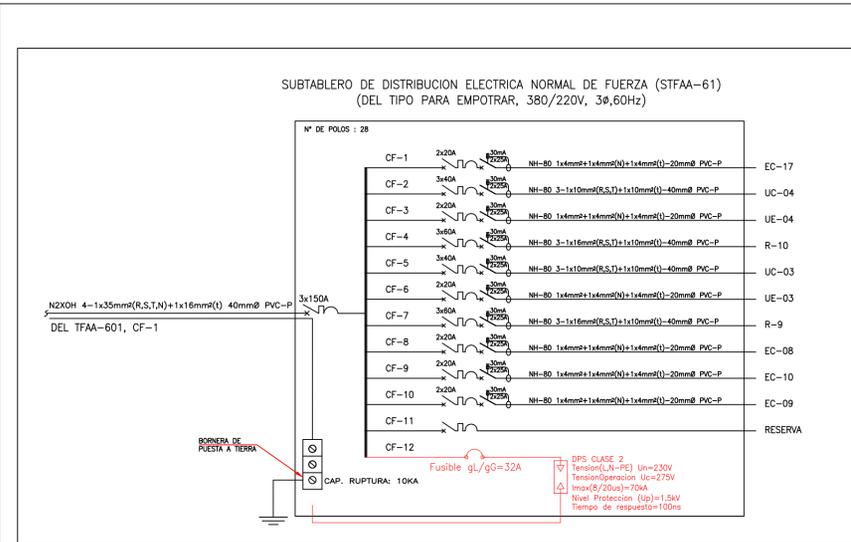
DEPARTAMENTO:
APURIMAC

DIAGRAMA UNIFILAR STFAA-61, STFAA-62, STFAA-63, TFEAA-601



CUADRO DE CLAVES

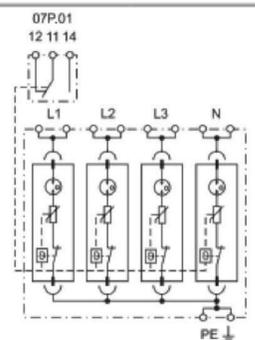
CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mm \emptyset PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mm \emptyset PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mm \emptyset PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mm \emptyset PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm \emptyset PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:

REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: FACULTAD:

MAY-2024

FIEEIM

DISTRITO: ESCUELA PROFESIONAL:

ANDAHUAYLAS

IE

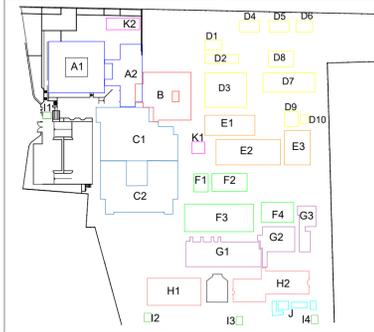
PROVINCIA:

ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:

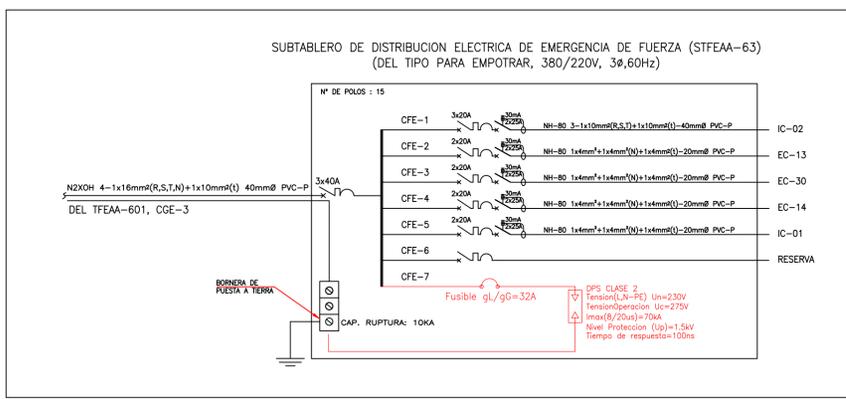
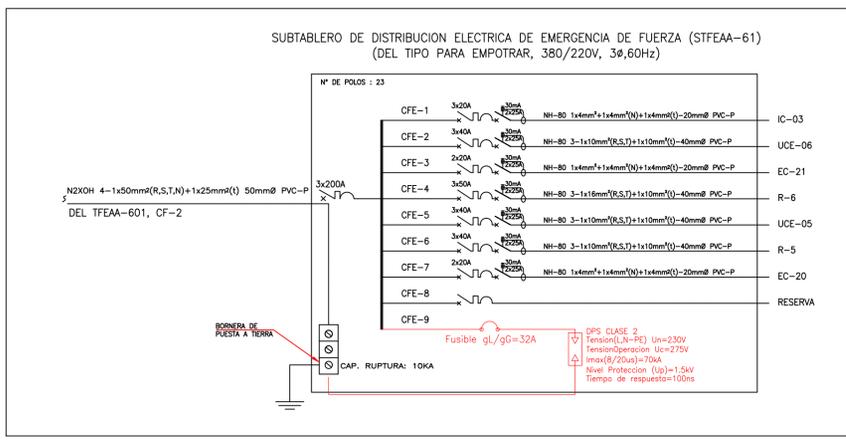
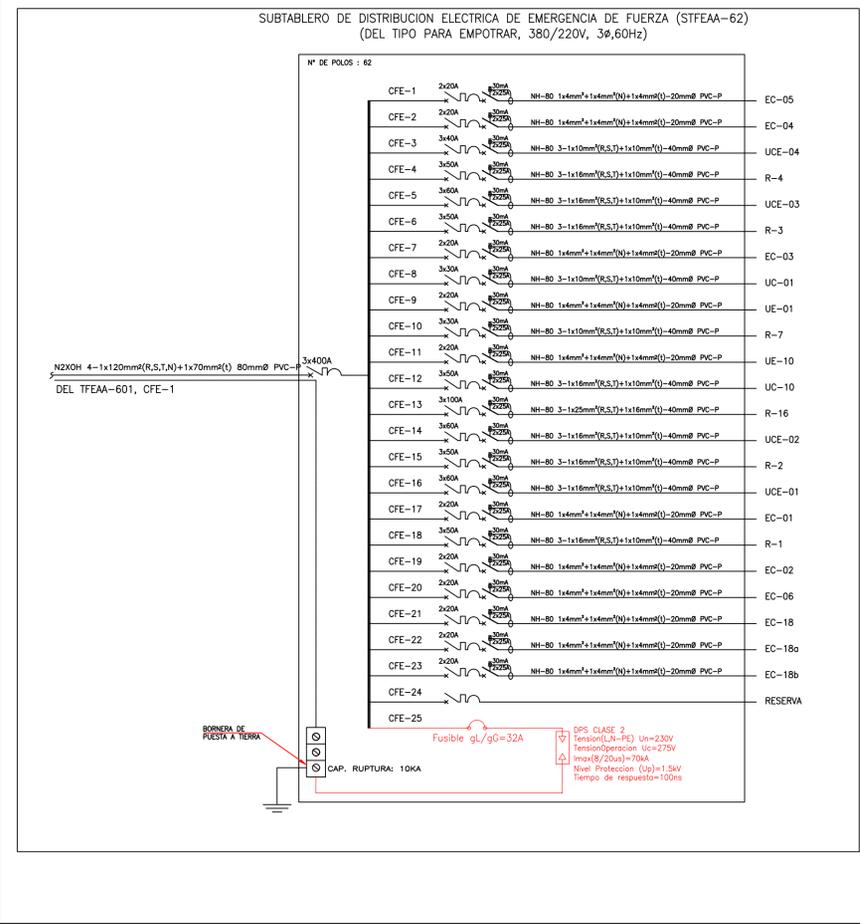
APURIMAC

DIAGRAMA UNIFILAR STFEAA-62, STFEAA-61, STFEAA-63



CUADRO DE CLAVES

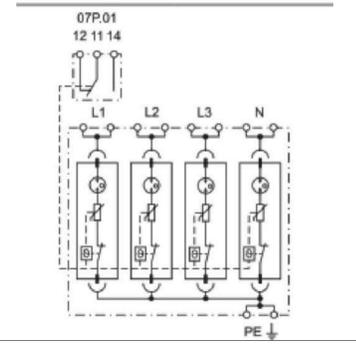
CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: **MAY-2024** FACULTAD: **FIEEIM**

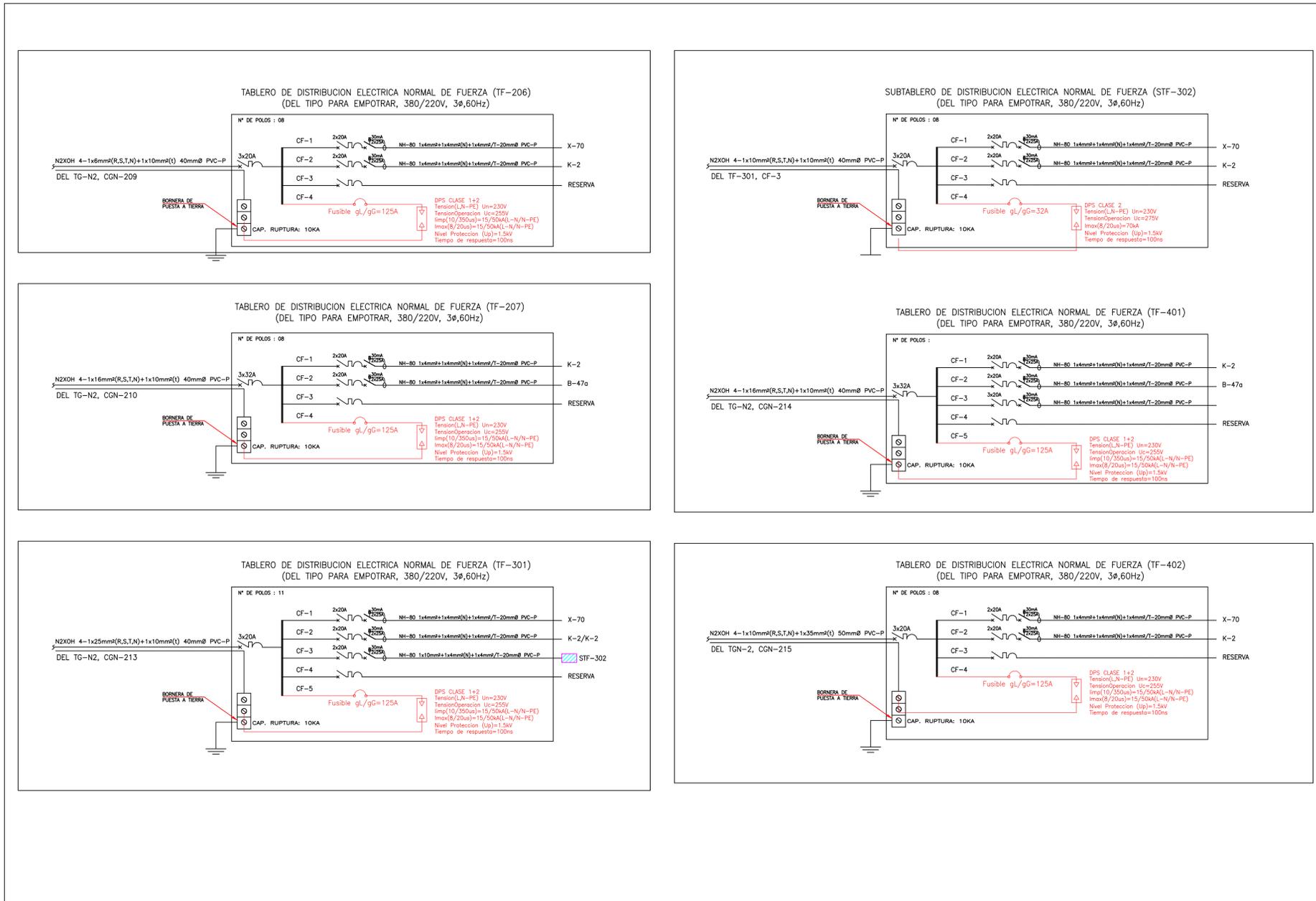
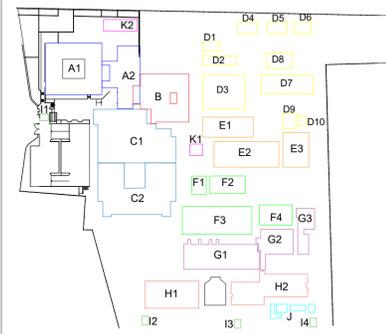
DISTRITO: **ANDAHUAYLAS** ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA: **ANDAHUAYLAS**

DEPARTAMENTO: **APURIMAC**

IE

DIAGRAMA UNIFILAR TF-206, TF-207, TF-301, STF-302, TF-401, TF-402



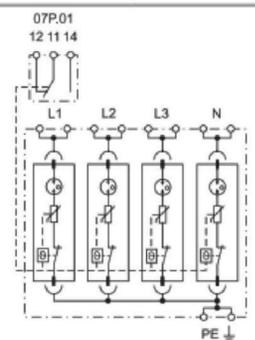
CUADRO DE CLAVES

CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P

7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

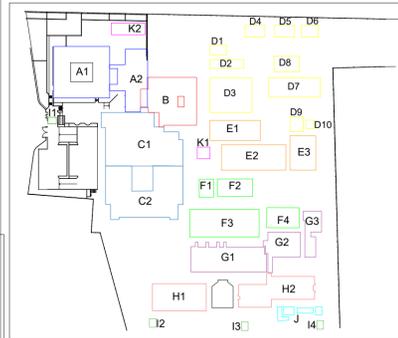
ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA: **MAY-2024** FACULTAD: **FIEEIM**

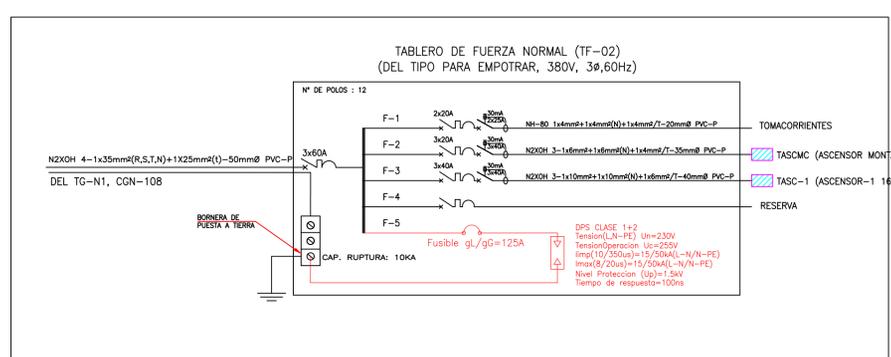
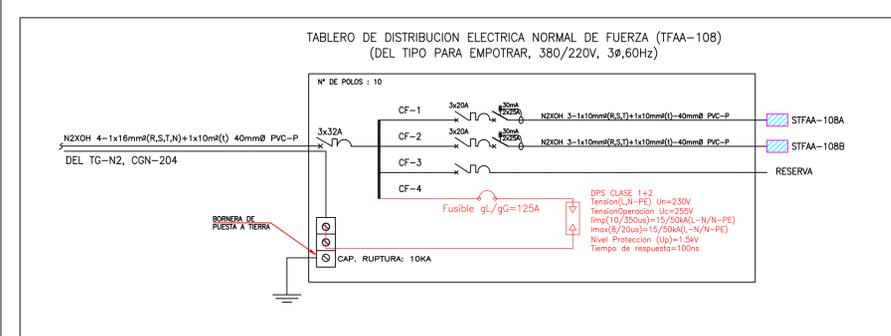
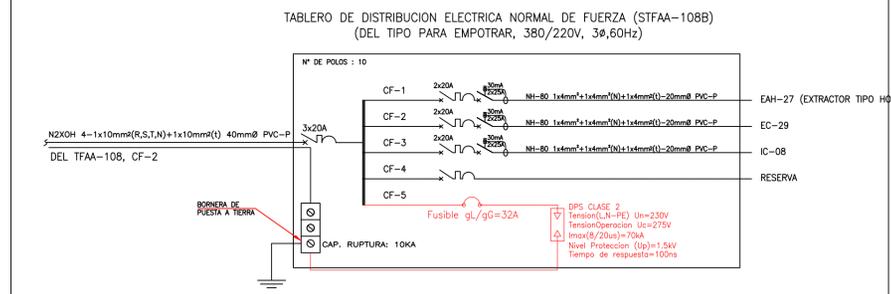
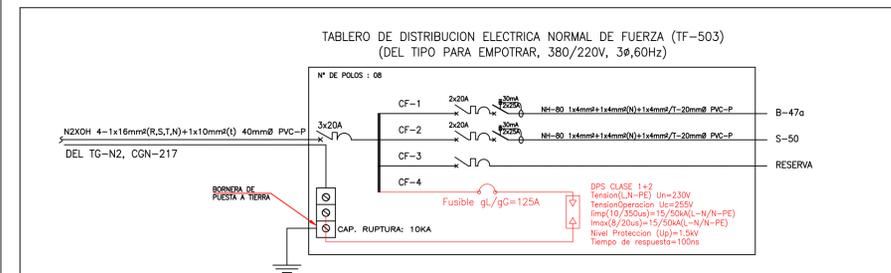
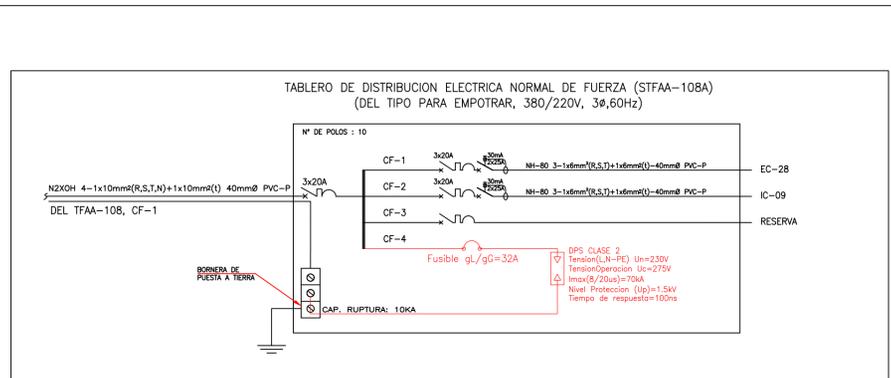
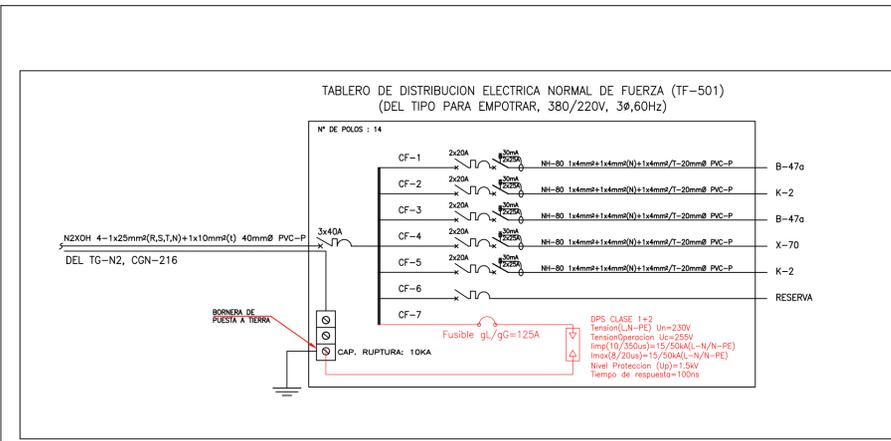
DISTRITO: **ANDAHUAYLAS** ESCUELA PROFESIONAL: **IE**
PROVINCIA: **ANDAHUAYLAS**
DEPARTAMENTO: **APURIMAC**

DIAGRAMA UNIFILAR TF-501, TF-503, TFAA-108, STFAA-108A, STFAA-108B, TF-02



CUADRO DE CLAVES

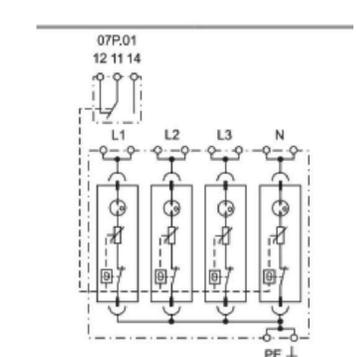
CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mmØ PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

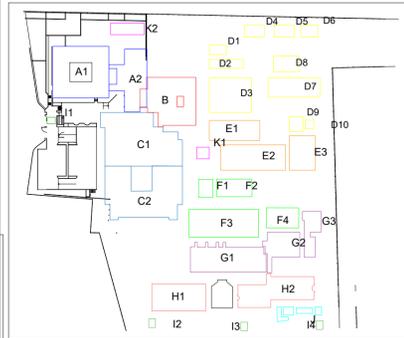
ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

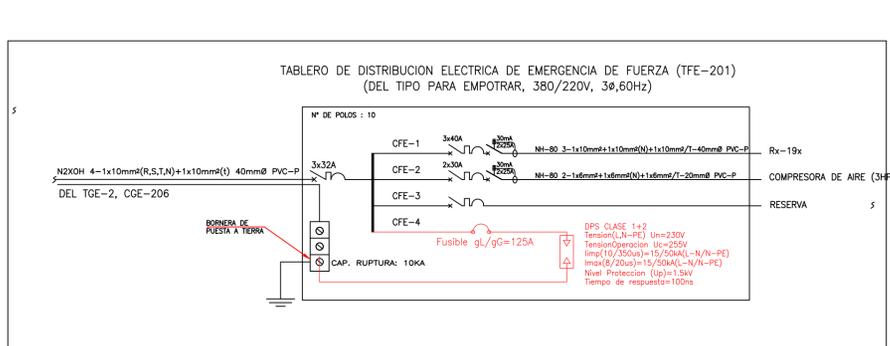
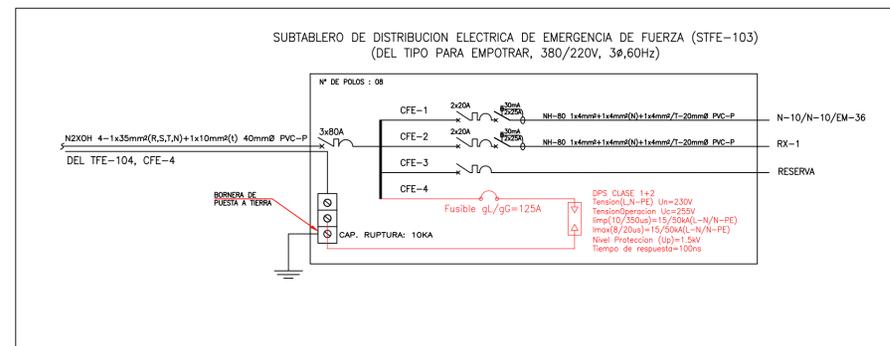
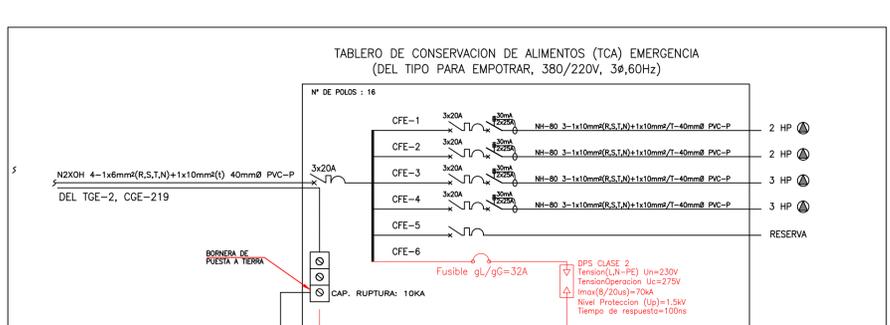
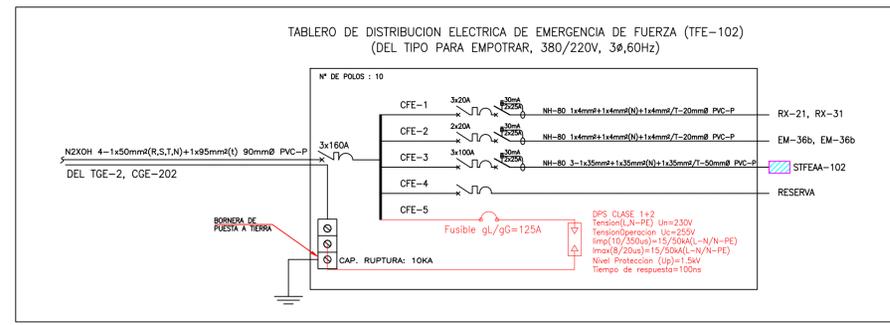
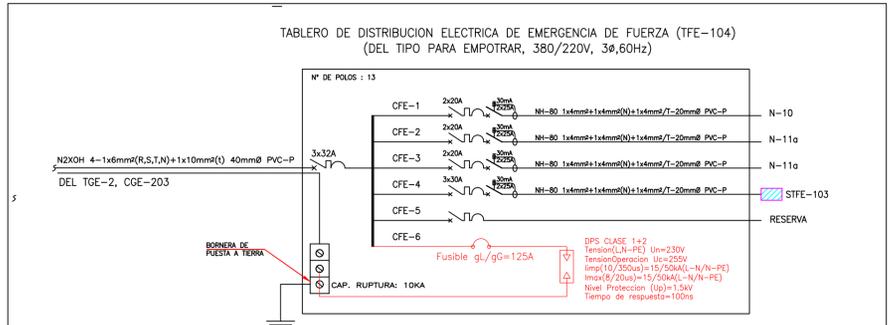
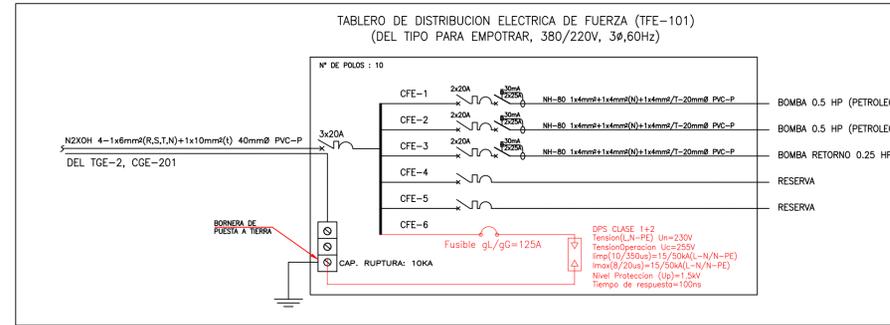
IE

DIAGRAMA UNIFILAR TFE-101, TFE-102, STFE-103, TFE-104, TCA, TFE-201



CUADRO DE CLAVES

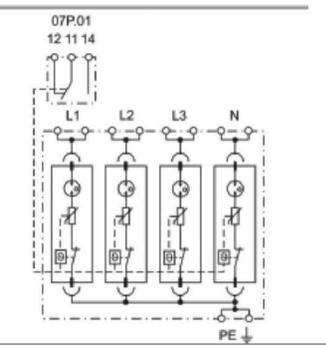
CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



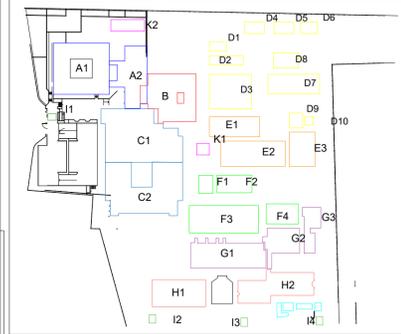
NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

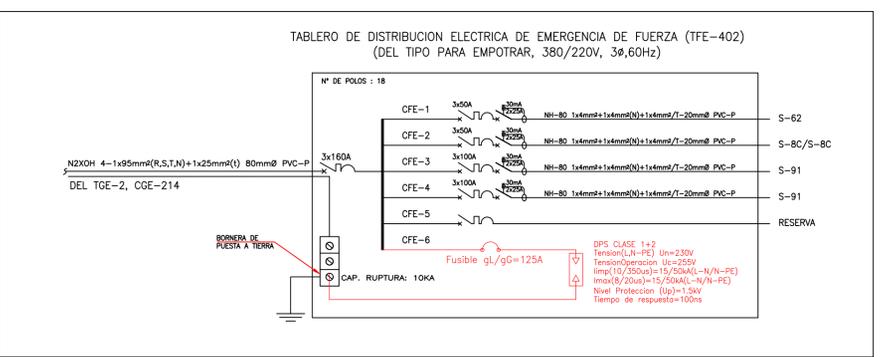
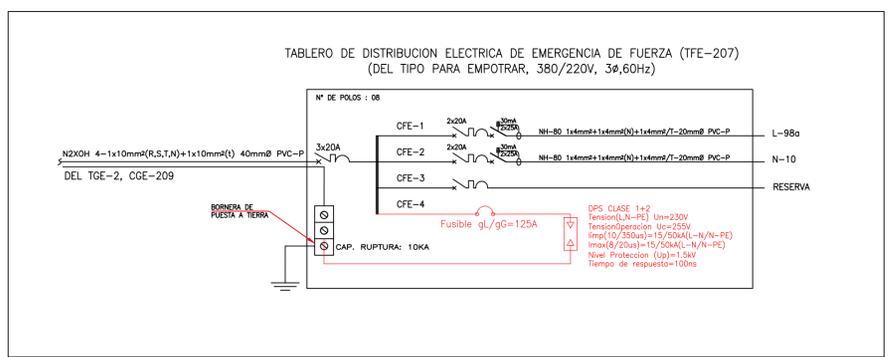
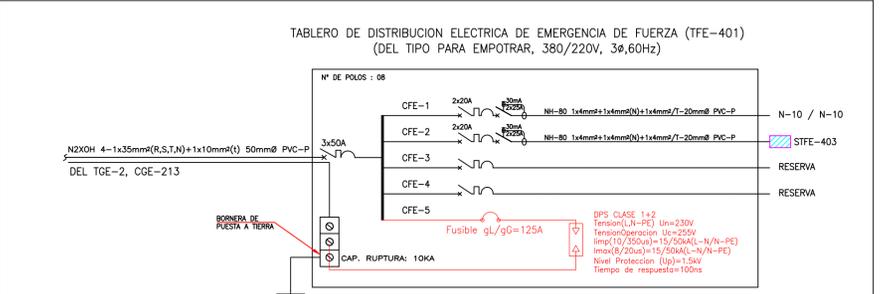
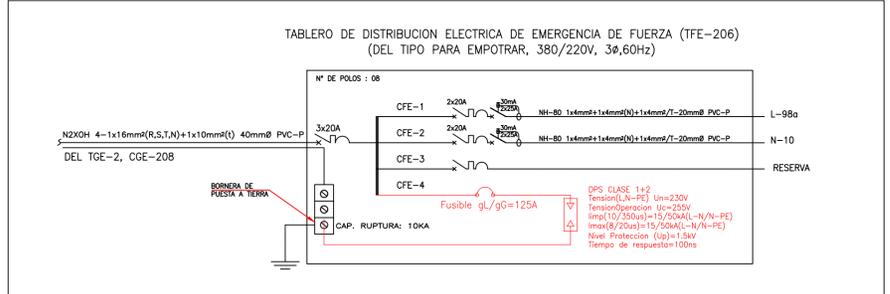
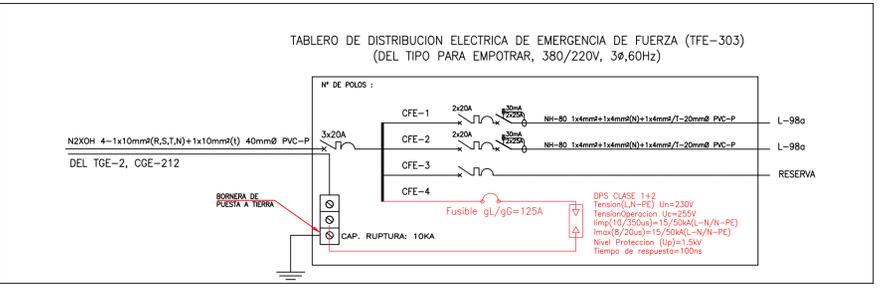
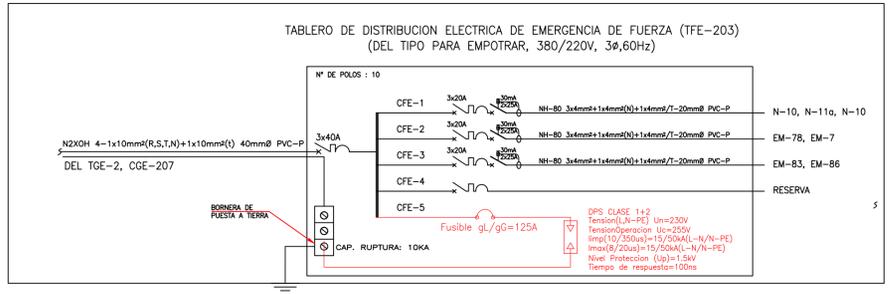
FECHA: MAY-2024	FACULTAD: FIEEIM
DISTRITO: ANDAHUAYLAS	ESCUELA PROFESIONAL: IE
PROVINCIA: ANDAHUAYLAS	
DEPARTAMENTO: APURIMAC	

DIAGRAMA UNIFILAR TFE-203, TFE-206, STFE-207, TFE-303, TFE-401, TFE-402



CUADRO DE CLAVES

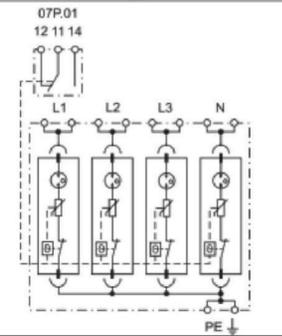
CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (I) 150mm ^Ø PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 80mm ^Ø PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (I) 80mm ^Ø PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (I) 80mm ^Ø PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 65mm ^Ø PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (I) 50mm ^Ø PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (I) 40mm ^Ø PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm ^Ø PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (I) 40mm ^Ø PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (I) 40mm ^Ø PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm ^Ø PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (I) 150mm ^Ø PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

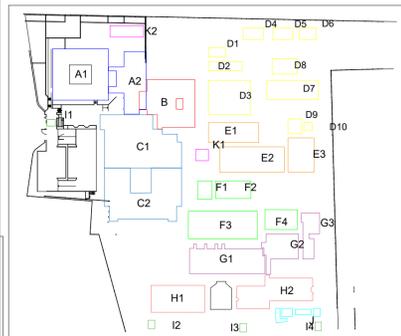
DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

ESCUELA PROFESIONAL:
IE

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

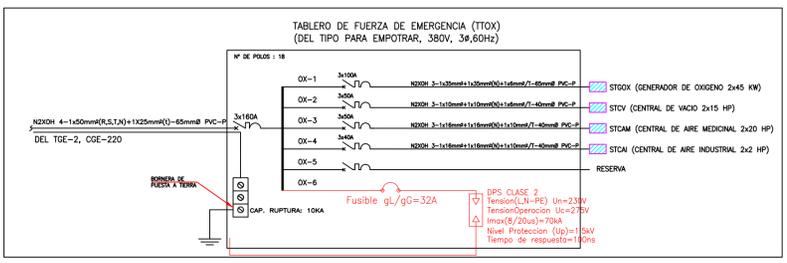
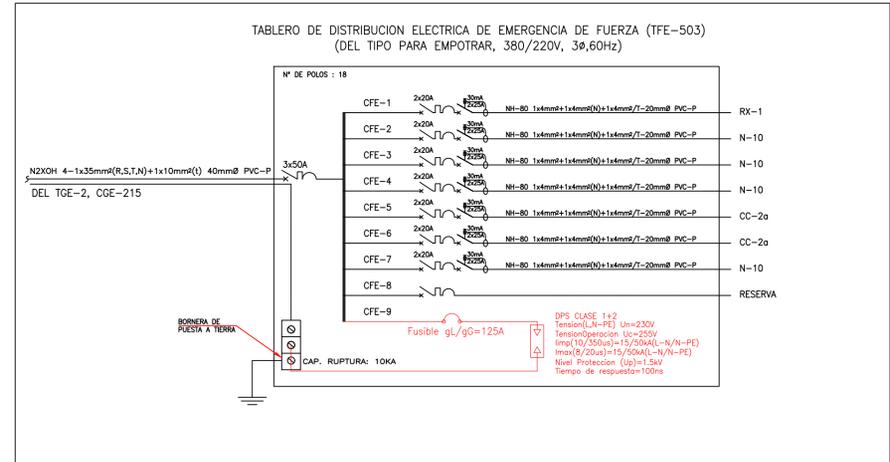
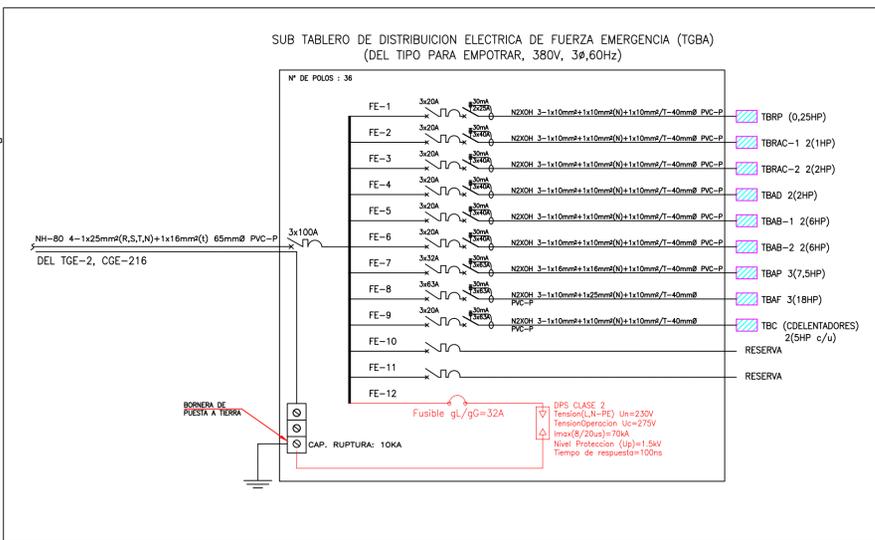
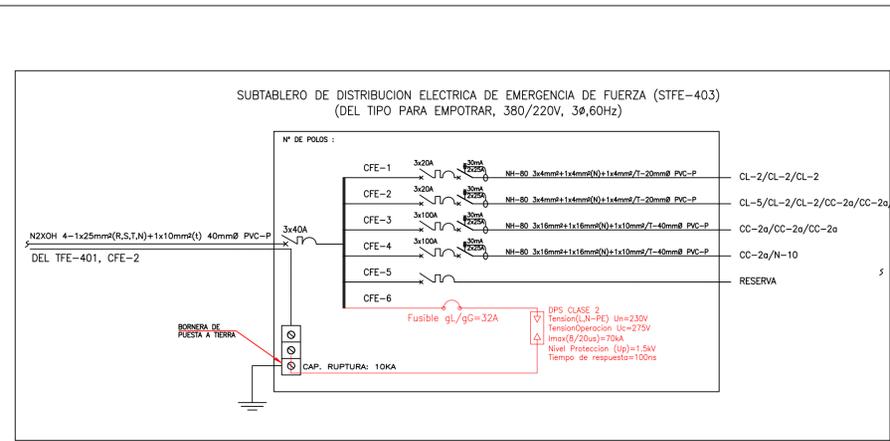
DEPARTAMENTO:
APURIMAC

DIAGRAMA UNIFILAR STFE-403, TFE-503, TGBA, TTOX

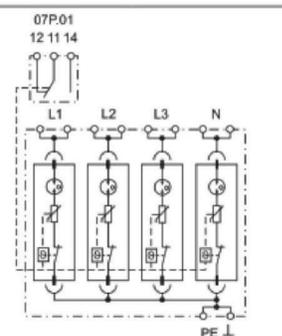


CUADRO DE CLAVES

CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
MAY-2024

FACULTAD:
FIEEIM

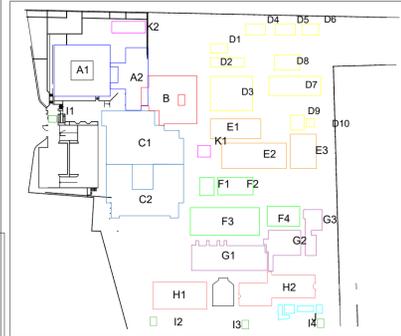
DISTRITO:
ANDAHUAYLAS

PROVINCIA:
ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
APURIMAC

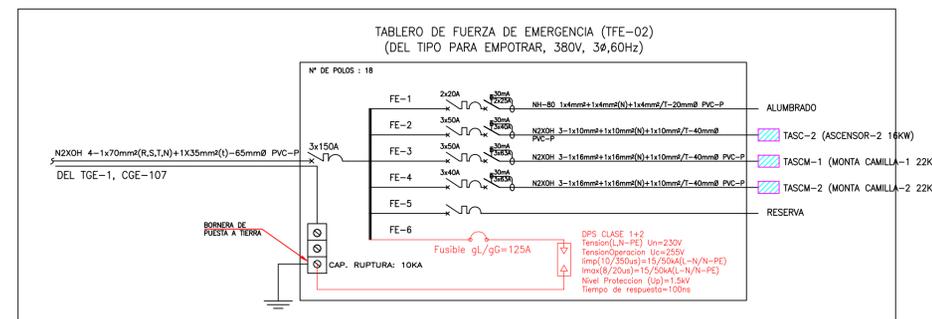
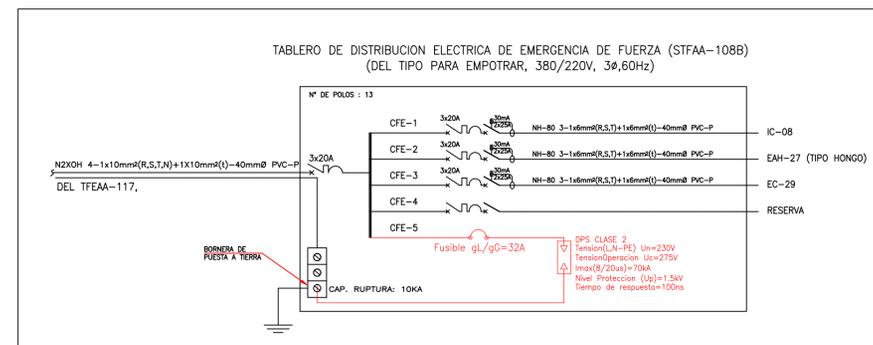
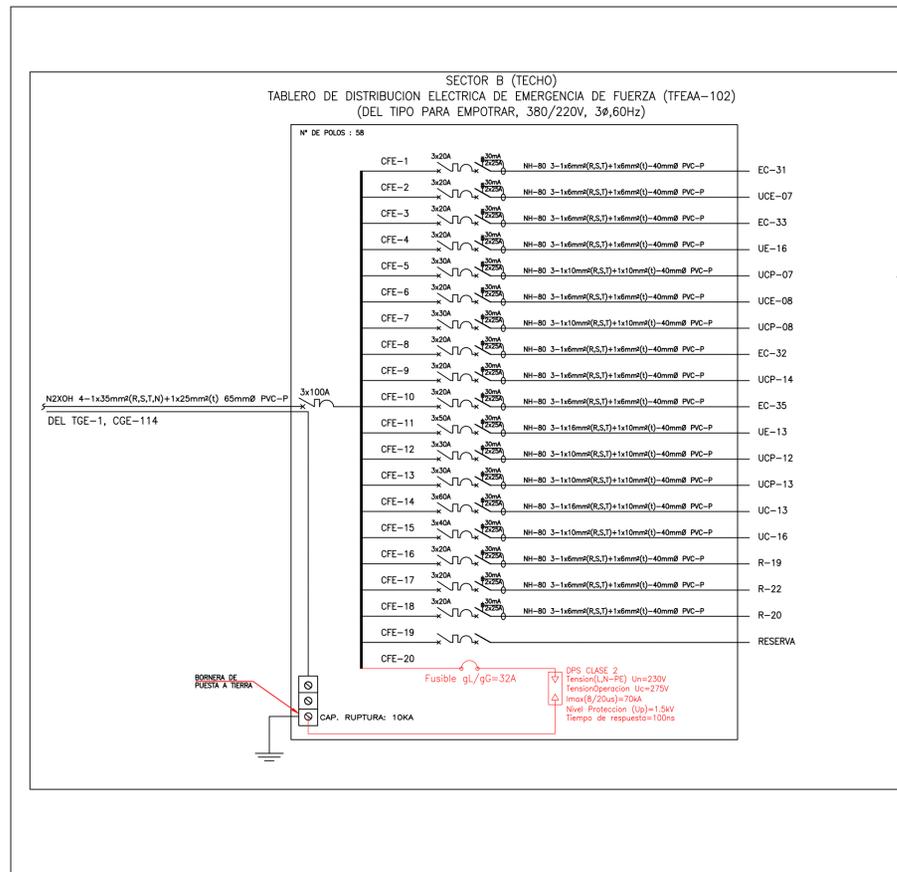
ESCUELA PROFESIONAL
IE

DIAGRAMA UNIFILAR TFEAA-102, STFAA-108B, TFE-02



CUADRO DE CLAVES

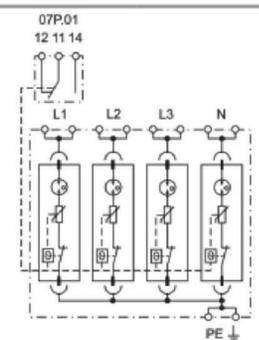
CLAVE	ALIMENTADOR
(A)	N2XOH 4-1x400mm ² (R,S,T,N)+1x95mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(B)	N2XOH 4-1x120mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(C)	N2XOH 4-1x95mm ² (R,S,T,N)+1x70mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(D)	N2XOH 4-1x70mm ² (R,S,T,N)+1x35mm ² (t) 80mmØ PVC-P
(E)	N2XOH 4-1x50mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 65mmØ PVC-P
(F)	N2XOH 4-1x35mm ² (R,S,T,N)+1x25mm ² (t) 50mmØ PVC-P
(G)	N2XOH 4-1x25mm ² (R,S,T,N)+1x16mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(H)	N2XOH 4-1x16mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(I)	N2XOH 4-1x10mm ² (R,S,T,N)+1x10mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(J)	N2XOH 4-1x6mm ² (R,S,T,N)+1x6mm ² (t) 40mmØ PVC-P
(K)	N2XOH 4-1x300mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P
(L)	N2XOH 4-1x500mm ² (R,S,T,N)+1x50mm ² (t) 150mmØ PVC-P



7P.05.8.260.1025



- SPD Tipo 1+2
- 4 x combinación de varistor y vía de chispas
- Señalización visual y con contacto remoto del estado del varistor/GDT
- Tecnología "Upside down mounting"
- Módulos reemplazables



NUEVO HOSPITAL ANDAHUAYLAS - APURIMAC

ESPECIALIDAD:
 PLANO DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - DIAGRAMA UNIFILAR CON PROTECCION INTERNA

ELABORADO POR:
 REYNALDO LUQUE CARBAJAL

FECHA:
 MAY-2024

FACULTAD:
 FIEEIM

DISTRITO:
 ANDAHUAYLAS

ESCUELA PROFESIONAL

PROVINCIA:
 ANDAHUAYLAS

DEPARTAMENTO:
 APURÍMAC

IE