



**PROTECCIÓN CONTRA RAYOS. SISTEMAS DE PROTECCIÓN INTERNA
PARA EDIFICACIONES DE USO FINAL**

JUAN FERNANDO MARTÍNEZ LÓPEZ
CÓDIGO UIS: 2006394

SANDRA PAOLA PULIDO PEÑUELA
CÓDIGO UIS: 2005449

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011



**PROTECCIÓN CONTRA RAYOS. SISTEMAS DE PROTECCIÓN INTERNA
PARA EDIFICACIONES DE USO FINAL**

JUAN FERNANDO MARTÍNEZ LÓPEZ
CÓDIGO UIS: 2006394

SANDRA PAOLA PULIDO PEÑUELA
CÓDIGO UIS: 2005449

**TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS**

Director:
JULIO CESAR CHACÓN VELASCO
Ingeniero Electricista, M.P.E.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011



Dedicatoria

A:

Dios,

*Quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para
terminar este trabajo.*

Fernando,

Miriam,

Karen Kimena,

*Quienes me brindaron su amor, su cariño, su estímulo y su
apoyo constante.*

Su cariño,

*comprensión y paciente espera para que pudiera terminar el
grado son evidencia de su gran amor.*

¡Gracias!

Juan Fernando Martínez López



Dedicatoria

A:
Esperanza,
Antonio,
Leidy Milena
Por la compañía en las horas de desvelo,
Por las palabras de consuelo,
Por la paciencia y la espera,
Y sobre todo por estar siempre presente s para compartir mis
dificultades y mis éxitos
¡Gracias!

Sandra Paola Pulido Peñuela



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. PROTECCIÓN CONTRA RAYOS UNA VISIÓN GENERAL.....	20
1.1. EL FENÓMENO DEL RAYO Y SU IMPACTO EN LA INSTALACIÓN.....	20
1.2. INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA.....	22
1.3. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA CEM.....	22
1.4. TENSIÓN DE CONTACTO.....	23
1.5. TENSIÓN DE PASO	24
1.6. NIVELES DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (NPR)	25
1.7. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN INTEGRAL CONTRA RAYOS (SIPRA).....	30
1.8. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO SPE	33
1.9. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNA SPI	37
2. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO SPI	41
2.1. LAS ZONAS DE PROTECCIÓN.....	41
2.2. EQUIPOTENCIALIZACIÓN.....	50
2.3 DISTANCIA DE SEPARACIÓN.....	65
3 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES DPS	67
3.1 SOBRETENSIÓN.....	67
3.2 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES DPS; DEFINICIÓN....	68
3.3 OPERACIÓN DE UN DPS.....	71
3.4 DISPOSITIVOS QUE NO SON CONSIDERADOS DPS	72
3.5 TECNOLOGÍAS USADAS EN DPS.....	73
3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS DPS.....	78
3.7 COORDINACIÓN DE DPS.....	82
3.8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SE REQUIEREN PARA LA SELECCIÓN DE UN DPS..	82
3.9 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE DPS	85
3.10 PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DE DPS.....	91
3.11 PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN COORDINADA DE DPS.....	99
3.12 SÍNTESIS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA	101
4 SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO PARA EL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES “ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN”	104
4.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA ESTRUCTURA	105



4.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN	114
4.3	ZONAS DE PROTECCIÓN	124
4.4	EQUIPOTENCIALIZACIÓN	130
4.5	SELECCIÓN DE DPS	135
4.6	PANORAMA DE RIESGO FUTURO	136
5.	CONCLUSIONES	141
6.	RECOMENDACIONES	142
	BIBLIOGRAFÍA	143
	ANEXOS	145

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 TIPOS DE IMPACTO DEL RAYO.....	21
FIGURA 2 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA.....	23
FIGURA 3 TENSIÓN DE PASO Y DE CONTACTO	25
FIGURA 4 COMPONENTES DEL SIPRA.....	31
FIGURA 5 SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA SPE	33
FIGURA 6 UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE.....	34
FIGURA 7 ANGULO DE PROTECCIÓN DEPENDIENDO DE LA ALTURA RELATIVA Y EL NIVEL PROTECCIÓN	35
FIGURA 8 UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DEL ÁNGULO DE PROTECCIÓN	35
FIGURA 9 COMPONENTES DEL SPI.....	37
FIGURA 10 ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS ZPR DEFINIDAS PARA UN SIPRA...43	
FIGURA 11 SUBZONAS DE PROTECCIÓN ZPR _{0A} Y ZPR _{0B}	45
FIGURA 12 ZONA DE PROTECCIÓN ZPR1	46
FIGURA 13 ZONAS DE PROTECCIÓN INTERNAS Y EXTERNAS	48
FIGURA 14 EJEMPLO DE APLICACIÓN ZONAS DE PROTECCIÓN	50
FIGURA 15 ¿QUE SE DEBE EQUIPOTENCIALIZAR?.....	52
FIGURA 16 BARRAJE DE UNIÓN EQUIPOTENCIAL BUE	59
FIGURA 17 EJEMPLO DE UNIÓN EQUIPOTENCIAL POR EXISTENCIA DE VARIAS ENTRADAS Y BUE	61
FIGURA 18 CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	61
FIGURA 19 CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL DEL ACERO DE LA EDIFICACIÓN AL SISTEMA DE PUESTA DE TIERRA Y AL SIPRA	63
FIGURA 20 CONFIGURACIÓN ESTRELLA E.....	64
FIGURA 21 CONFIGURACIÓN MALLA M.....	64
FIGURA 22 DISTANCIA DE SEPARACIÓN S.....	66
FIGURA 23 DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES DEL TIPO CONMUTACIÓN DE TENSIÓN.....	70
FIGURA 24 FUNCIONAMIENTO DE UN DPS VÍA DE CHISPAS.....	70
FIGURA 25 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES TIPO LIMITACIÓN DE TENSIÓN	71
FIGURA 26 FUNCIONAMIENTO DE UN DPS VARISTORES	71
FIGURA 27 OPERACIÓN GENERAL DE UN DPS	72
FIGURA 28 DPS VÍA CHISPAS	74
FIGURA 29 DPS TUBO DE DESCARGA DE GAS.....	75
FIGURA 30 DPS VARISTOR DE OXIDO METÁLICO MOV	76
FIGURA 31 DPS CON DIODOS SUPRESORES	77
FIGURA 32 DPS CLASE I, DESCARGADOR DE CORRIENTES DE RAYO PARA TENSIONES NOMINALES DE 400 Y 690 V	78
FIGURA 33 DPS CLASE II, DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES UNIPOLAR ENCHUFABLE	80
FIGURA 34 DPS CLASE III, DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES	81
FIGURA 35 UBICACIÓN DE LOS DPS DE ACUERDO A SU CLASIFICACIÓN.....	81
FIGURA 36 EJEMPLO DE UN SISTEMA TN-C.....	87
FIGURA 37 SISTEMA TN-C-S.....	87
FIGURA 38 SISTEMA TN-C-S DIAGRAMA CIRCUITAL	88
FIGURA 39 TENSIONES A TIERRA EN UN SISTEMA IT EN CONDICIONES NORMALES	88



FIGURA 40 TENSIONES A TIERRA EN UN SISTEMA IT DURANTE CONDICIONES DE FALLA.	89
FIGURA 41 CONEXIÓN SERIE O CONEXIÓN V.....	95
FIGURA 42 CONEXIÓN EN PARALELO DE UN DPS.....	96
FIGURA 43 COORDINACIÓN DE DOS DPS LIMITADORES DE TENSIÓN.....	100
FIGURA 44 COORDINACIÓN DE UN DPS ACTIVADO POR TENSIÓN Y UN DPS LIMITADOR DE TENSIÓN	101
FIGURA 45 NÚMERO DE EVENTOS PELIGROSOS. EVALUACIÓN DE RIESGO ACTUAL	110
FIGURA 46 EVALUACIÓN DE LAS PROBABILIDADES PX.....	111
FIGURA 47 EVALUACIÓN DE LAS PROBABILIDADES DE DAÑO EN LAS ACOMETIDAS	111
FIGURA 48 EVALUACIÓN DE PERDIDAS LX	112
FIGURA 49 COMPONENTES DE RIESGO	112
FIGURA 50 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	113
FIGURA 51 UBICACIÓN DE LAS PUNTAS DE CAPTACIÓN Y BAJANTES PARA EL EDIFICIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES "ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN"	131
FIGURA 52 EVALUACIÓN DE NÚMERO ANUAL DE EVENTOS PELIGROSOS PARA EL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES "ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN"	137
FIGURA 53 EVALUACIÓN DE LAS PROBABILIDADES	138
FIGURA 54 EVALUACIÓN DE LAS PROBABILIDADES PX PARA LAS ACOMETIDAS	138
FIGURA 55 EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDAS LX.....	139
FIGURA 56 EVALUACIÓN DE COMPONENTES DE RIESGO	139
FIGURA 57 RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO Y SUS COMPONENTES	140

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 NIVEL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.....	26
TABLA 2 NPR DE ACUERDO AL TIPO DE ESTRUCTURA Y LAS PÉRDIDAS.....	27
TABLA 3 VALORES MÁXIMOS DE PARÁMETROS DEL RAYO DE ACUERDO CON EL NPR.....	28
TABLA 4 PROBABILIDAD PARA LOS LÍMITES DE LOS PARÁMETROS DEL RAYO.....	29
TABLA 5 EFICIENCIA SEGÚN EL NPR.....	29
TABLA 6 CLASES DE SIPRA.....	31
TABLA 7 VALORES MÍNIMOS DE PARÁMETROS DEL RAYO RELATIVOS AL RADIO DE LA ESFERA RODANTE CORRESPONDIENTES A CADA NPR.....	34
TABLA 8 DIMENSIONES DEL ENMALLADO PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE PROTECCIÓN.....	36
TABLA 9 DISTANCIA DE SEPARACIÓN DE LOS BAJANTES DE ACUERDO AL NPR.....	36
TABLA 10 DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS CONDUCTORES QUE CONECTAN BARRAS EQUIPOTENCIALES CON EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	54
TABLA 11 DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS CONDUCTORES QUE CONECTAN LOS SISTEMAS INTERNOS CON LAS BARRAS EQUIPOTENCIALES.....	54
TABLA 12 CORRIENTE DE RAYO I DEFINIDA PARA CADA NPR.....	54
TABLA 13 VALORES CONVENCIONALES DE IMPEDANCIA DE PUESTA A TIERRA Z Y Z1 EN FUNCIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	56
TABLA 14 APROXIMACIONES PARA HALLAR LA CORRIENTE PARCIAL DE RAYO.....	56
TABLA 15 VALORES DEL COEFICIENTE K_C PARA AISLAMIENTO EXTERNO.....	57
TABLA 16 LONGITUD DEL CABLE QUE DEBE SER CONSIDERADA DE ACUERDO A LA DISPOSICIÓN DE LA PANTALLA.....	58
TABLA 17 DISTANCIA DE SEPARACIÓN PROMEDIO PARA LOS BAJANTES DE ACUERDO CON EL NIVEL DE PROTECCIÓN.....	62
TABLA 18 VALORES DEL COEFICIENTE K_I PARA AISLAMIENTO EXTERNO.....	65
TABLA 19 VALORES DEL COEFICIENTE K_M	66
TABLA 20 ONDAS TIPO PARA SOBRETENSIONES ATMOSFÉRICAS.....	68
TABLA 21 CORRIENTE DE IMPULSO DE RAYO DE ACUERDO AL NPR.....	79
TABLA 22 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE UN DPS.....	83
TABLA 23 LETRAS USADAS PARA IDENTIFICAR EL SISTEMA DE RED UTILIZADO.....	86
TABLA 24 TENSIÓN MÁXIMA DE SERVICIO.....	89
TABLA 25 PARÁMETROS A TENER EN CUENTA DE ACUERDO A LA NATURALEZA DE LA RED.....	90
TABLA 26 MATERIALES Y DIMENSIONES PARA LA CONEXIÓN DE DPS.....	91
TABLA 27 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA DE PROTECCIÓN CONTRA OSCILACIONES D_{PO}	92
TABLA 28 VALORES DE K_{S3}	93
TABLA 29 INSTALACIÓN DE DPS DEPENDIENDO DEL TIPO DE RED DE DISTRIBUCIÓN.....	97
TABLA 30 SÍNTESIS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA.....	101
TABLA 31 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL EDIFICIO.....	105
TABLA 32 CARACTERÍSTICAS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	107
TABLA 33 DESCRIPCIÓN DE LAS ACOMETIDAS.....	108
TABLA 34 RIESGOS TOLERABLES VS RIESGOS CALCULADOS.....	113
TABLA 35 DESCRIPCIÓN PLANTA SUBSÓTANO.....	115
TABLA 36 DESCRIPCIÓN PLANTA PRIMER PISO.....	117
TABLA 37 DESCRIPCIÓN PLANTA SEGUNDO PISO.....	119



TABLA 38 AZOTEA Y EXTERIORES DEL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES....	120
TABLA 39 TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN DEL EDIFICIO.....	122
TABLA 40 SUBESTACIÓN	123
TABLA 41 RIESGOS TOLERABLES VS RIESGOS CALCULADOS PARA EL PANORAMA FUTURO.....	137



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO (GUÍA BÁSICA) 145

ANEXO 2 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES (GUÍA BÁSICA)..... 160



RESUMEN

TÍTULO:

PROTECCION CONTRA RAYOS, SISTEMAS DE PROTECCION INTERNA PARA EDIFICACIONES DE USO FINAL.¹

AUTORES:

JUAN FERNANDO MARTÍNEZ LÓPEZ, SANDRA PAOLA PULIDO PEÑUELA²

PALABRAS CLAVE:

SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO, ZONAS DE PROTECCIÓN, EQUIPOTENCIALIZACIÓN, DISPOSITIVOS DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES, DPS, SPI.

DESCRIPCIÓN:

En las siguientes páginas se encontrará una visión general del SIPRA y de sus elementos; sin embargo, se concentrará particularmente en el Sistema de Protección Interno SPI que es el objeto principal de este estudio.

En la primera parte se muestra un panorama del Sistema de protección contra rayos SIPRA y de los conceptos que determinan las características del sistema de protección interno. El segundo capítulo se centra en la descripción del sistema de protección interno y de las partes que lo componen la equipotencialización, la distancia de seguridad y los dispositivos de protección contra sobretensiones, DPS. La tercera parte se basa en los dispositivos de protección de sobretensiones. Repasando desde sus características hasta la correcta selección e instalación del dispositivo. Por último, el cuarto capítulo es un ejemplo didáctico de los conocimientos abordados en el libro; y aplicados en el edificio Caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón”.

En el anexo 1 encontrará un ejemplo de la guía básica “Protección contra rayos, sistema de protección interno SPI” en la cual se muestra que la implementación del SPI inicia con la correcta equipotencialización de la instalación. Además, la documentación presenta una guía técnica básica para la aplicación de este concepto dando respuesta a las preguntas más frecuentes en el diseño de una red equipotencial y proporciona expresiones matemáticas necesarias que respaldan las decisiones que son tomadas.

Por otra parte, el anexo 2 expone la estructura de guía “Protección contra rayos, Dispositivos de protección contra sobretensiones DPS”, recorriendo desde el concepto básico de sobretensión, pasando por la teoría de clasificación, coordinación e instalación, hasta definir una metodología de selección.

¹ Proyecto de grado

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones. MPE. Julio Cesar Chacón Velasco.



ABSTRACT

TITLE:

LIGHTNING PROTECTION; INTERNAL PROTECTION SYSTEMS FOR FINAL USE BUILDINGS.³

AUTHORS:

JUAN FERNANDO MARTINEZ LOPEZ, SANDRA PAOLA PULIDO PEÑUELA⁴

KEY WORDS

INTERNAL PROTECTION SYSTEM, PROTECTION ZONES, EQUIPOTENTIAL, **SURGE PROTECTION DEVICE**, DPS, IPS.

DESCRIPTION:

In the next pages will be found a general view of the SIPRA and its elements; nevertheless, it will be found particularly in the internal protection system IPS which is the main object of this study.

In the first part it is shown an overview of the lightning protection system SIPRA and the concepts that determine the characteristics of the internal protection system. The second part is centered on the description of the internal protection system and its component parts: the equipotential, the safety distance and **surge protection device**, SPD. The third part is based on the overvoltage protection devices reviewing from their characteristics to the proper selection and installation of the device. Lastly, the fourth chapter is a didactic example of the knowledge covered in the book, and applied in the building materials characterization "Álvaro Beltrán Pinzón".

In annex 1 will be found an example of the Basic Guide "Lightning protection, internal protection system IPS" in which it is shown that the implementation of IPS begins with a proper equipotential installation. Moreover, the documentation provides a basic technical guide for the application of this concept in response of the most asked questions about the design of an equipotential net, and provides mathematical expressions needed to support decisions that are made. Furthermore, Annex 2 shows the guide structure "Lightning protection, surge protection devices SPD", crossing from the basic concept of overvoltage, through the theory of classification, coordination and installation, until defining a methodology of selection.

³ Graduation projet.

⁴ Faculty of Physic Machanic Engineers. Electric – Electronic and telecommunication engineer school. MPE. Chacon Velasco Julio Cesar.



INTRODUCCIÓN

La tierra es un planeta vivo que está en continuo cambio y desarrollo; para que exista este proceso la tierra ha incluido los rayos como factor evolutivo y muestra de las fuerzas naturales que intervienen en el origen y producción de la vida. Los rayos como energía hacen parte del ciclo vital del planeta y por lo tanto no deben ignorarse en un ambiente en continuo movimiento.

El ser humano como un habitante más del ecosistema debe adaptarse a las condiciones impuestas y la actividad cerámica hace parte de este entorno que no debe obviarse, entonces se deben asumir medidas y tomar decisiones para proteger la vida y el patrimonio a los efectos del fenómeno natural llamado “**Rayo**”

El rayo deja a las instalaciones de uso final y los sistemas eléctricos sujetos a fenómenos como sobretensiones, sobrecorrientes, interferencia electromagnética entre otros; que ocasionan lesiones en los seres vivos, en las estructuras y equipos.

Estas circunstancias han llevado al desarrollo de teorías de protección contra rayos sintetizadas en el diseño, construcción y mantenimiento del Sistema de Protección Integral contra Rayos “SIPRA”. En Colombia la norma NTC 4552-1-2-3 del 2008 es el marco de referencia para este tema. Esta serie de normas reemplaza la NTC 4552-2004, que establecía los principios básicos de protección de las personas, semovientes, instalaciones y equipos; además, ofrece un documento técnico completo respecto al diseño de SIPRA. La NTC 4552-1 expone las características básicas del fenómeno del rayo y su impacto sobre la estructura; la NTC 4552-2 propone una metodología para la evaluación del riesgo en las instalaciones y la NTC 4552-3 presenta los criterios de diseño, instalación y mantenimiento de un SIPRA.

La implementación de un SIPRA tiene como objeto principal proteger la vida de las personas y el buen funcionamiento de las instalaciones y equipos contra los daños producidos por impacto directo e indirecto del rayo.

En las siguientes páginas se encontrará una visión general del SIPRA y de sus elementos; sin embargo, se concentrará particularmente en el Sistema de Protección Interno SPI que es el objeto principal de este estudio.

En la primera parte se muestra un panorama del Sistema de protección contra rayos SIPRA y de los conceptos que determinan las características del sistema de protección interno. El segundo capítulo se centra en la descripción del sistema de protección interno y de las partes que lo componen la equipotencialización, la



distancia de seguridad y los dispositivos de protección contra sobretensiones, DPS.

En la tercera parte se basa en los dispositivos de protección de sobretensiones. Repasando desde sus características hasta la correcta selección e instalación del dispositivo. Por último, el cuarto capítulo es un ejemplo didáctico de los conocimientos abordados en el libro; y aplicados en el edificio Caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón”.



1. PROTECCIÓN CONTRA RAYOS UNA VISIÓN GENERAL

1.1. EL FENÓMENO DEL RAYO Y SU IMPACTO EN LA INSTALACIÓN

El rayo es un fenómeno eléctrico que podría definirse como “Un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, en el interior de una nube o de la nube hacia ionosfera”.⁵

Sin embargo, su efecto sobre las instalaciones eléctricas no se limita a los daños producidos por impacto directo tales como incendio, pérdida de vidas, pérdida de equipos y daño en los conductores por corrientes de rayo entre otros. El rayo en los sistemas internos produce además alteraciones por los campos magnéticos que induce en la estructura.

La norma Protección contra rayos NTC 4552-1 establece que existen cuatro tipos de impactos que originan daños a las instalaciones internas y que se listan a continuación e ilustran en la figura 1:

- Impacto directo a la estructura
- Impacto cercano a la estructura
- Impacto en la acometidas de servicio y datos
- Impacto de cercano a la acometida de servicio y datos

Cuando el impacto es directo el sistema interno debe soportar primordialmente los efectos de la corriente de rayo o de la corriente parcial de rayo las cuales circulan por la estructura a través de la red equipotencial.⁶

Cuando el impacto de un rayo es cercano a la estructura o a las acometidas de los sistemas internos; estos deben soportar principalmente los campos magnéticos inducidos que originan sobretensiones transitorias causantes de daños de equipos y pérdida de información.

⁵ CASAS OSPINA, Favio. Tierras soporte de la seguridad eléctrica. Bogotá: ICONTEC, 2008.

⁶ La existencia de varios sistemas para interconectar y la probabilidad de que exista más de un barraje equipotencial plantea la necesidad de interconectar todos estos componentes para formar un solo camino equipotencial; el todo que estas interconexiones forman se conoce como **Red Equipotencial**. MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, Madrid: Dehn + Sohne, 2007

Ahora bien: ¿qué hacer frente a un fenómeno que no se puede controlar, evitar e ignorar? La respuesta más lógica es proteger; sin embargo, esta protección debe ser integral, debe incluir todos los factores de riesgo y debe proteger a los usuarios y las instalaciones de todo efecto producto de un impacto directo o cercano de una descarga atmosférica.



Figura 1 Tipos de impacto del rayo
Fuente: (Conferencia RETIE memorias, 2009)

Para garantizar esta protección se debe diseñar el Sistema de Protección Integral contra Rayos “SIPRA”. Sin embargo, antes de revisar el concepto de SIPRA es necesario precisar conceptos tales como:

- Interferencia electromagnética
- Compatibilidad electromagnética
- Tensión de contacto
- Tensión de paso
- Nivel de protección contra rayos

Sobre los cuales se basan las teorías del diseño y construcción del SIPRA.



1.2. INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

La vida cotidiana se ha visto cambiada radicalmente por los sistemas eléctricos y la electrónica; en todos los rubros los sistemas que involucran equipos o dispositivos tanto eléctricos como electrónicos llegaron para quedarse. La vida de las personas está expuesta a los daños que pueden generarse ante una falla, por ejemplo, las sobrecorrientes inducidas durante una tormenta eléctrica y que viajen a través de las líneas telefónicas pueden ocasionar daños a los usuarios. Por otra parte la información se convirtió en una herramienta esencial en las organizaciones y por lo tanto es necesario protegerla.

Estos cambios en el tipo de cargas de una instalación han vuelto las edificaciones de uso final estructuras delicadas, es decir, se han reducido los niveles de las sobretensiones permitidas, y originado sistemas sensibles; que pueden inducir sobretensiones y corrientes que no solo ponen en peligro la vida de los usuarios sino también los equipos y la información.

Los rayos pueden originar perturbaciones que se asocian a la interferencia electromagnética; por lo tanto aparecen estrategias de protección para las instalaciones y se define el término de compatibilidad electromagnética.

Por lo tanto cualquier perturbación electromagnética que se manifiesta en la degradación de la operación, el mal funcionamiento o la falla de un dispositivo, equipo o sistema eléctrico, electrónico o de telecomunicaciones, se define como interferencia electromagnética.

1.3. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA CEM

La compatibilidad electromagnética (CEM) se define como la capacidad de un dispositivo, equipo o de un sistema eléctrico, electrónico o de comunicación para operar satisfactoriamente dentro de un ambiente electromagnético; sin inducir fallas electromagnéticas en los demás sistemas y sin degradarse o fallar.⁷

Este concepto es la base para definir las zonas de riesgo de una instalación porque su identificación depende la inmunidad electromagnética de los equipos y de la garantía de que estos no se convertirán en fuentes de interferencia electromagnética.

La cuantificación de la CEM permite garantizar los límites de la inmunidad electromagnética de un equipo; la cual se define como la capacidad de los

⁷ TORRES SÁNCHEZ, Horacio. Protección contra rayos. Bogotá: ICONTEC, 2008

equipos, dispositivos o sistemas de operar satisfactoriamente sin ser interferidos por otros y actualmente es un requisito de calidad exigido en todo el mundo⁸. Por ejemplo, en un DPS⁹ el nivel de inmunidad del equipo caracteriza la zona de implementación del DPS y su uso.

El diseño de un sistema de protección interno contra rayos busca garantizar la CEM de la instalación por medio de la equipotencialización y el uso de DPS.

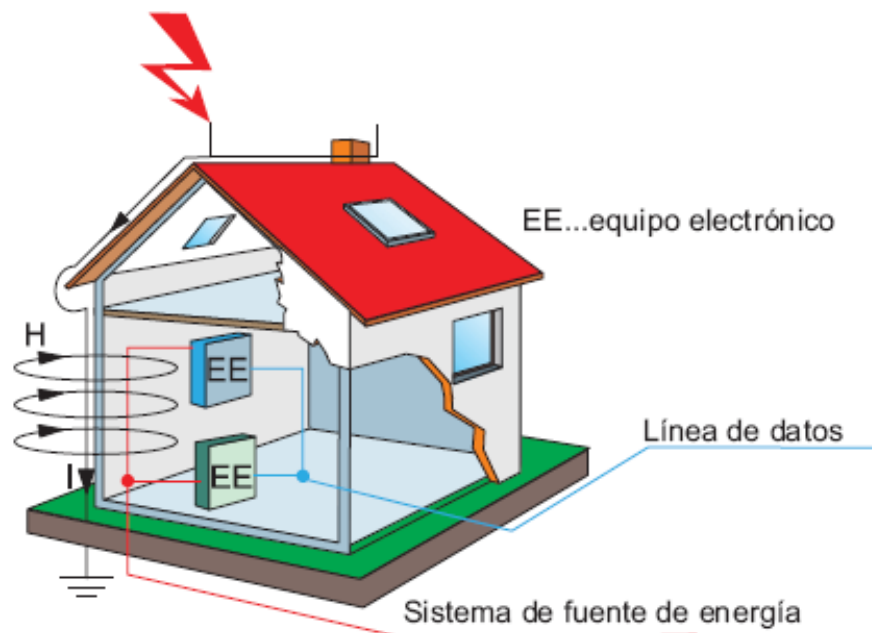


Figura 2 Compatibilidad Electromagnética
Fuente: (Miniguía de sobretensión, 2007)

1.4. TENSIÓN DE CONTACTO

Según la norma NTC 4552-1 2008 la tensión de contacto se define como la diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo.¹⁰

⁸ TORRES SÁNCHEZ, Horacio. Protección contra rayos. Bogotá: ICONTEC, 2008

⁹ DPS: dispositivo de protección contra sobretensiones; DPS es un dispositivo que intenta limitar las sobretensiones transitorias y desvían las sobrecorrientes; contienen al menos un componente no lineal

¹⁰ Norma NTC 4552-1 pág.6, ICONTEC, 2008



De acuerdo con la definición presentada, se puede decir, que este fenómeno tiene como parámetros relevantes la distancia entre la estructura energizada o el aislamiento de la estructura energizada y la protección que posee la estructura según los parámetros de protección utilizados.

Además, se debe tener en cuenta nuevamente el concepto fundamental de la protección contra rayos tanto internos como externos, y es equipotencialización de todos los sistemas que se encuentran dentro de la estructura y que hacen parte de la protección de la misma.

Esta consideración es relevante porque cuando se presenta una descarga atmosférica en una estructura u objeto y cerca de esta se encuentra una persona, la reducción en la descarga será disminuida por la protección realizada y el riesgo hacia el individuo será mitigado ya que él estará al potencial presentado por la estructura en el momento del impacto.

El fenómeno de la tensión de contacto puede presentarse de dos formas e implica tener prevención para cada una de ellas, existe la *tensión de contacto directo*, la cual depende del contacto que hay entre la persona y los componentes metálicos que la estructura contiene dentro y fuera de ella como escaleras metálicas, tubos metálicos, las placas metálicas entre otras, cuando estas están bajo condiciones de descarga atmosférica u otro tipo de descarga, y su prevención por ende será el aislamiento y protección adecuada frente a estos elementos, es decir, la protección contra rayos utilizada y la equipotencialización de cada parte metálica dentro y fuera de la estructura.

La siguiente es la *tensión de contacto indirecto*, la cual aparece de forma similar, ya que si existe una descarga y las protecciones contra esta descarga no operan, esto hará que los elementos protegidos experimenten sobretensiones haciendo que el riesgo hacia las personas se eleve; un ejemplo sería que la puesta a tierra de la estructura fuera desconectada, entonces el sistema de protección externa fallará haciendo que la estructura quede expuesta a tensiones inducidas, en los que por lo general no se tengan cambios en tensión.

1.5. TENSIÓN DE PASO

Según la norma NTC 4552-1 2008 la tensión de paso se define como la diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso (aproximadamente un metro).¹¹

¹¹ Ibid pág.6



De acuerdo con la definición, se puede decir, que este fenómeno tiene como parámetro relevante la diferencia de potencial y la distancia entre la zona donde se presenta la descarga atmosférica con la persona o animal cerca de la zona de la descarga. Esto quiere decir, que entre mayor sea la distancia de separación de las extremidades inferiores tanto de la persona como del animal o animales, la diferencia de potencial será aún mayor.

En la figura 3 se muestra el gradiente de potencial de la onda de rayo y su influencia en las tensiones de paso y contacto inducidas en la estructura y su área circundante.

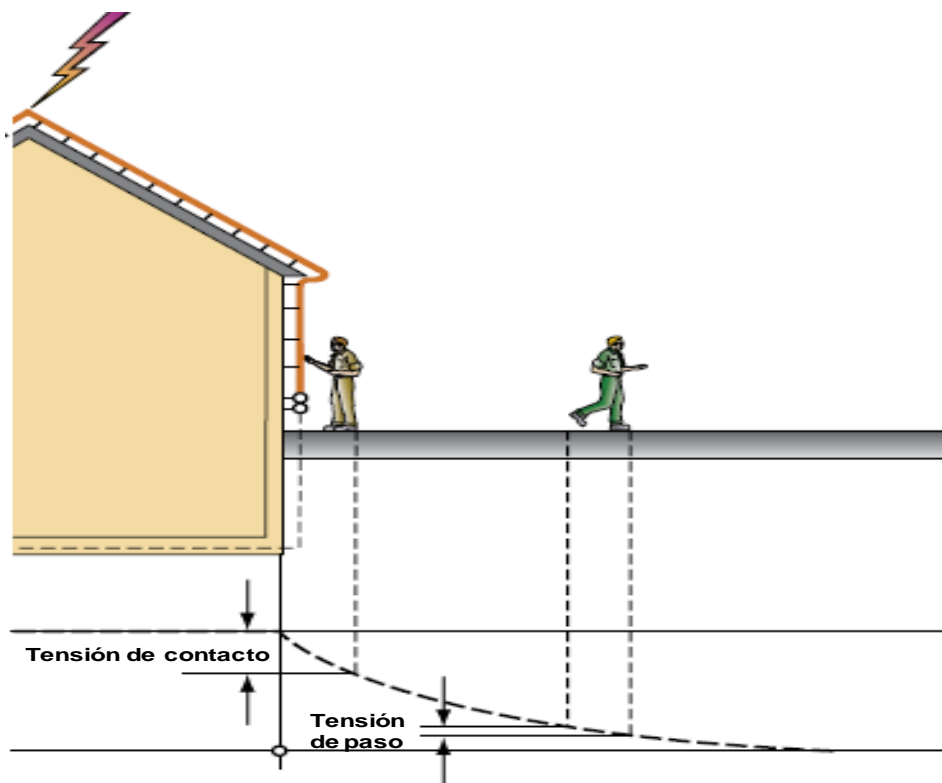


Figura 3 Tensión de paso y de contacto
Fuente: (Handbook Eritech, pág. 16)

1.6. NIVELES DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO (NPR)

Hay diversos motivos para que en la actualidad la protección contra rayos y sobretensiones haya aumentado su necesidad de instalación en las diversas estructuras como edificios, casas, hospitales e industrias. A sabiendas de que es indispensable proporcionarlas para cumplir requisitos con las aseguradoras,



además de disminuir el riesgo eléctrico de los ocupantes de cada una de estas instalaciones.

Esto hace que las instalaciones ubicadas en cada estructura cuenten con la normatividad apropiada requerida en cada una de las zonas demográficas del país, pero ante esto siempre es necesario realizar un análisis de riesgo que vaya de la mano con los datos probabilísticos y basados en el nivel cerámico de las zonas, en función de la probabilidad de impacto durante el tiempo de servicio de la instalación y la destrucción que resulte a partir de la caída del rayo.

Para contrarrestar estos eventos que se originan en cada descarga atmosférica la NTC 4552-1 2004 presenta 4 niveles de protección contra rayo (NPR) de acuerdo a la tabla 1:

Tabla 1 Nivel de Protección contra Rayos

Nivel de protección contra rayos NPR	Características	Corriente pico [kA]
I	Nivel cerámico elevado Gran concentración de personas Riesgo elevado de pérdidas humanas No admite fallas en los servicios esenciales	200
II	Nivel cerámico medio Riesgo elevado pérdidas humanas Admite fallas en los servicios esenciales	150
III o IV	Nivel cerámico bajo o tolerable Riesgo medio o bajo de pérdidas humanas Admite fallas en los servicios esenciales	100

Fuente: (ICONTEC, norma NTC 4552-1 , 2008)

Una forma sencilla de reconocer los NPR, es dependiendo de qué tan elevado es el riesgo al cual están expuestos los seres vivos y los equipos que hacen parte de la estructura o que se encuentran dentro de ella, para esto se deben tener en cuenta los tipos de pérdida que se pueden presentar al no existir una protección que las mitigue. Al definir las pérdidas se pueden determinar las protecciones requeridas.

Los tipos de pérdida que se pueden presentar y que son más comunes en la evaluación de riesgo y según su importancia son:



- Pérdidas humanas¹²

Estas pérdidas pueden ser medidas a partir de la aglomeración de personas que se encuentren dentro de la estructura y más cuando dichas personas son en su mayoría niños, por eso siempre este tipo de pérdidas son importantes al momento de diseñar o de elegir un nivel de protección adecuado para la estructura.

- Pérdidas de servicios esenciales¹³

Estas pérdidas aunque toda estructura generalmente las contiene, son consideradas prioridad dependiendo de la actividad que se realiza dentro de la estructura.

- Pérdidas culturales¹⁴

Estas pérdidas están relacionadas con la estructura misma y la importancia a nivel social que esta representa y lo invaluable que puede llegar hacer.

- Pérdidas económicas¹⁵

Estas pérdidas generalmente están presentes en cada estructura pero al igual que las pérdidas esenciales están relacionadas con la actividad que se desarrolla dentro de la estructura, además de los equipos que se emplean dentro de la misma.

En la tabla 2 se muestra un ejemplo de la asignación del NPR para cinco tipos de instalaciones de acuerdo a los tipos de pérdidas que presentan cada estructura; el nivel de prioridad y la protección adecuada según las pérdidas:

Tabla 2 NPR de acuerdo al tipo de estructura y las pérdidas

ESTRUCTURAS	PÉRDIDAS	NIVEL DE PRIORIDAD	NPR
Hospital, clínica de reposo, escuela	<ul style="list-style-type: none"> • Humanas • Servicios esenciales • Culturales 	<p>Alto</p> <p>Alto</p> <p>Bajo</p>	I

¹² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. :il (NTC 4552-1). TORRES SÁNCHEZ, Horacio. Protección contra rayos. Bogotá: ICONTEC, 2008

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.



	<ul style="list-style-type: none"> Económicas 	Alto	
Casa	<ul style="list-style-type: none"> Humanas Servicios esenciales Culturales Económicas 	Alto Medio Bajo Bajo	II
Teatro, hotel, almacén grande, área deportiva y prisión	<ul style="list-style-type: none"> Humanas Servicios esenciales Culturales Económicas 	Alto Medio Bajo Medio	II
Banco, compañía de seguros, centros comerciales etc.	<ul style="list-style-type: none"> Humanas Servicios esenciales Culturales Económicas 	Alto Medio Bajo Alto	III o IV
Museos y sitios arqueológicos iglesias	<ul style="list-style-type: none"> Humanas Servicios esenciales Culturales Económicas 	Alto Bajo Alto Alto	III o IV

Ejemplo de la asignación del NPR basado en la NTC 4552-1-2008

En resumen la norma define el **NPR** “como un número relacionado con un conjunto de los parámetros de la corriente de rayo, pertinentes a la probabilidad que asocia los valores de diseño máximo y mínimos, son valores que no serán excedidos cuando naturalmente ocurra una descarga”¹⁶.

En la tabla 3 se muestran los valores máximos de los parámetros de corriente de rayo para diversos niveles de protección contra rayo (NPR).

Tabla 3 Valores máximos de parámetros del rayo de acuerdo con el NPR

Primera descarga corta			NPR			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente pico	I	kA	200	150	100	
Carga corta	Q_{corta}	C	100	75	50	
Energía específica	W/R	kJ/O	10000	5625	2500	
Descarga corta subsecuente			NPR			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV

¹⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. 4p.:il (NTC 4552-1).



Corriente pico	I	kA	54	40,5	27
Carga corta	di/dt	kA μ s	120	90	60
Energía específica	T ₁ /T ₂	μ s/ μ s	0,4/50		
Descarga larga			NPR		
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III IV
Carga larga	Q _{larga}	C	100	75	50
Parámetro de tiempo	T _{largo}	S	0,5		
Rayo			NPR		
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III IV
Carga	Q _{rayo}	C	300	225	150

Fuente: (ICONTEC, norma NTC 4552-1 , 2008)

Los datos presentados en la tabla 3 ayudan a configurar las diferentes características que están implícitas en el diseño de los sistemas de protección contra rayos.

Se debe tener en cuenta que una de las razones fundamentales para la escogencia de los parámetros de las protecciones, es la corriente que se encuentra dentro de los rangos definidos por los niveles de protección, además de que esta también se debe tener en cuenta para evaluar la eficiencia del diseño seleccionado.

Tabla 4 Probabilidad para los límites de los parámetros del rayo

Probabilidad que los parámetros sean	NPR			
	I	II	III	IV
Menores que el máximo definido en la tabla 5	0,99	0,98	0,97	0,97
Mayores que el máximo definido en la tabla 6	0,99	0,97	0,91	0,84

Fuente: (ICONTEC, norma NTC 4552-1 , 2008)

La tabla 5 muestra los rangos de eficiencia que se deben tener en cuenta en cada uno de los niveles de protección contra rayos.

Tabla 5 Eficiencia según el NPR

Niveles de protección	Eficiencia (E) de un SIPRA
I + medidas complementarias	E > 0,98
I	0,95 < E < 0,98
II	0,90 < E < 0,95
III	0,80 < E < 0,90
IV	0 < E < 0,80

Fuente: (Sitio web: LPD lightning protection devices, 2008)



Al definir el nivel de protección de una edificación de uso final; se está decidiendo a su vez la clase de SIPRA que se va a implementar. Por lo tanto definir el nivel de protección es el primer paso en el diseño de un SIPRA. El NPR se establece a partir del nivel cerámico y de la clase estructura a proteger; después se evalúa el riesgo al cual está sometida la estructura. La NTC 4552-2 establece una metodología para evaluar el riesgo de la instalación de uso final¹⁷, este método es laborioso y busca otorgar una protección acorde a los intereses del propietario de la instalación y bajo la filosofía de protección del RETIE.

Aún así, se deja claro que el NPR es propio de cada instalación y depende de muchos factores que el diseñador debe considerar detenidamente, por ejemplo la ubicación geográfica y las características del entorno. También, depende de los requisitos de la instalación, a modo de ejemplo la continuidad del servicio. No es lo mismo encontrar el nivel de protección de un edificio bancario a una instalación hospitalaria cuyos requisitos y riesgos son diferentes.

Cuando se define el NPR y por consiguiente el SIPRA, también se establecen los valores básicos que se toman en cuenta en el diseño del Sistema de Protección Interno; es decir, si se desea disminuir el riesgo de una edificación de uso final se implementa un sistema de protección integral y es función del sistema de protección interno que el SIPRA escogido cumpla con los valores mínimos establecidos.

1.7. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN INTEGRAL CONTRA RAYOS (SIPRA)

En las anteriores páginas se explico la necesidad de proteger las instalaciones del fenómeno del rayo; también se anotó que cada instalación tiene un nivel de protección diferente y por lo tanto el sistema de protección a implementar es único. La NTC 4552-1 -2 -3 establece que dicha protección está fundamentada en el diseño y construcción del Sistema de Protección Contra Rayos SIPRA.

Un SIPRA se clasifica de acuerdo al nivel de protección como se muestra en la tabla 6:

¹⁷ Ver Villa N y Guarín A.E (2010). Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Bucaramanga, Santander, Colombia.

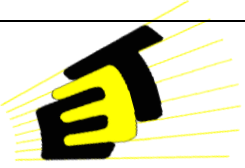


Tabla 6 Clases de SIPRA

Nivel de Protección	Clase de SIPRA
Nivel I	SIPRA I
Nivel II	SIPRA II
Nivel III	SIPRA III
Nivel IV	SIPRA IV

Fuente: (ICONTEC, norma NTC 4552-1 , 2008)

La norma NTC 4552-2008 define al **SIPRA** como el sistema integral usado para reducir los daños físicos que pueden ser causados por el rayo a un ser vivo o una estructura. Se compone de sistemas externos, internos y medidas de seguridad y protección personal contra el rayo.

Un esquema del Sistema Integral de Protección contra Rayos se puede ver en la figura 4 y consta de las siguientes partes:



Figura 4 Componentes del SIPRA

Fuente: (Libro: Protección contra rayos, Torres Sanchez, Horacio, ICONTEC, 2008)

- **Sistema de Protección Externa SPE:** el sistema de protección externa que tiene como objeto garantizar la captación del rayo, la derivación del rayo hacia la tierra y la disipación de su energía en la tierra.



- **Sistema de Protección Interna SPI:** “parte de un SIPRA que consiste en una conexión equipotencial y acorde con la distancia de separación dentro de la estructura protegida “¹⁸
- **Las Medidas de Protección Personal contra Rayos:** la vida de los seres vivos es el principal objetivo del SIPRA por lo tanto se debe enseñar a las personas a actuar en una situación de riesgo y a implementar las medidas básicas de protección personal frente al fenómeno del rayo. Esta instrucción se puede condensar en una cartilla de protección personal o por un programa completo de Salud Ocupacional de riesgo eléctrico.
- **Alarma de Protección¹⁹:** en las instalaciones cuyo nivel de riesgo es elevado y es necesario implementar los más extremos métodos de protección se implementa una alarma que tiene como objeto anunciar las tormentas y la posibilidad producción de rayos.

El SIPRA como su nombre lo dice es un sistema integral que debe estar coordinado; no se puede partir de la presunción de que algún componente del SIPRA puede existir sin el otro, todos los elementos funcionan de forma armónica y su diseño influye en la construcción general de la instalación desde los aspectos arquitectónicos hasta los técnicos. De tal forma es importante que las decisiones adoptadas por los diseñadores, arquitectos, constructores, propietarios y usuarios de la instalación se coordinen para que no afecten el funcionamiento del SIPRA.

Los costos de la instalación se ven afectados por la implementación del SIPRA pero un correcto diseño y coordinación permitirán que este factor sea minimizado por de los beneficios. Existen alternativas de construcción que deben ser analizadas y solo el estudio de la protección contra rayos como un tema cotidiano y no desligado del proceso normal de diseño y funcional de una instalación mostrará las alternativas económicamente viables para cada instalación.

El SIPRA es un sistema dinámico que puede reajustarse y sufre el deterioro intrínseco del tiempo; por lo tanto el nivel de riesgo de las instalaciones se incrementa si las medidas de protección son descuidadas. En otras palabras como todo sistema el SIPRA necesita mantenimiento.

¹⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. 6p.:il (NTC 4552-1).

¹⁹ TORRES SÁNCHEZ, Horacio. Protección contra rayos. Bogotá: ICONTEC, 2008

1.8. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO SPE

La norma NTC 4552-1 define el Sistema de Protección Externo SPE como parte de un SIPRA que consiste en un sistema de puntas de captación un sistema de conductor bajante y un sistema de puesta a tierra.



Figura 5 Sistema de protección externa SPE
Fuente: (Seminario Taller Los Cinco Pilares de Protección Contra Rayos, Electropol, Bucaramanga, 2010)

Las Puntas de Captación tienen como su nombre lo dice la función de captar la corriente de rayo. Para su ubicación y para definir sus características la norma propone tres métodos:

- **La esfera rodante:** Este método es un sistema analítico desarrollado por Gilman y Whitehead bajo el nombre del método electrogeométrico.²⁰

El método consiste desplazar una esfera de radio determinado por el NPR de la instalación (ver tabla 7), por la periferia de la estructura, de tal forma que se identifican los puntos en los cuales ella hace contacto con la estructura, indicando la posición de las puntas captadoras. En la figura 6 se observa la aplicación del método de la esfera rodante.

²⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. 8p.:il (NTC 4552-3)



Tabla 7 Valores mínimos de parámetros del rayo relativos al radio de la esfera rodante correspondientes a cada NPR

Criterio de interceptación	NPR					
	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente de pico mínimo	I	kA	17	21	26	30
Radio esfera rodante	R	m	35	40	50	55

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008)

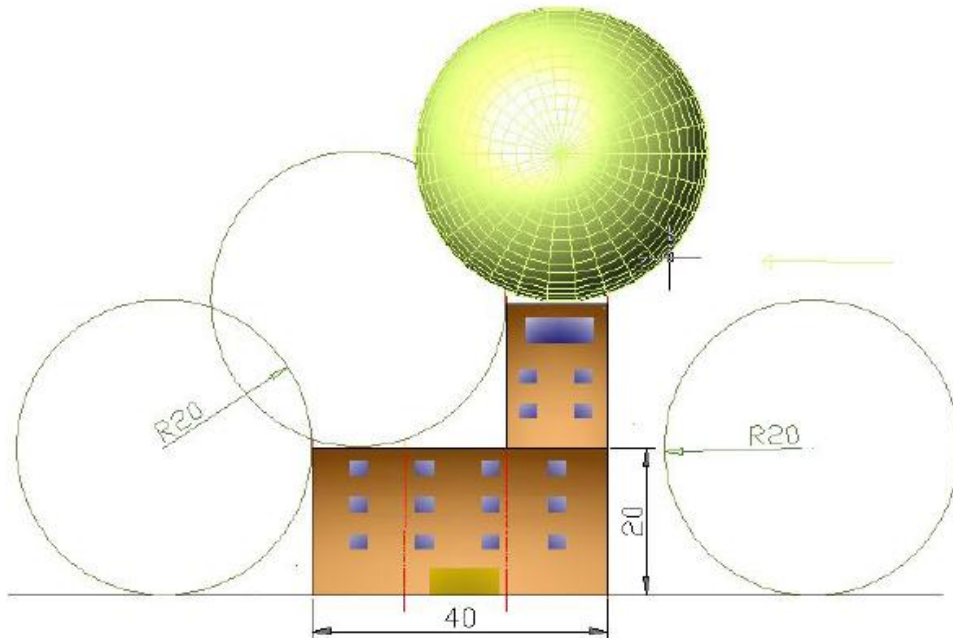


Figura 6 Utilización del método de la esfera rodante

Fuente RUGELES MANTILLA, Cayetano. Protección contra rayos. En: CONFERENCIA RETIE (2009: Bucaramanga). Memorias de la Conferencia RETIE. Bucaramanga: RIG, 2009.

- **El ángulo de protección:** el ángulo de protección de las puntas captadoras es determinado por el NPR de la instalación y por la altura de la punta captadora; en este método se genera un cono de protección.

Para determinar el ángulo de protección de acuerdo al NPR se utiliza la figura 7, en ella se muestra que el ángulo de protección depende de la altura relativa de la parte más prominente del edificio con respecto a la superficie a proteger y la curva del nivel de protección asociado a la edificación, además, en la figura 8 se observa un ejemplo de la ubicación de las puntas de captación según el método del ángulo de protección.

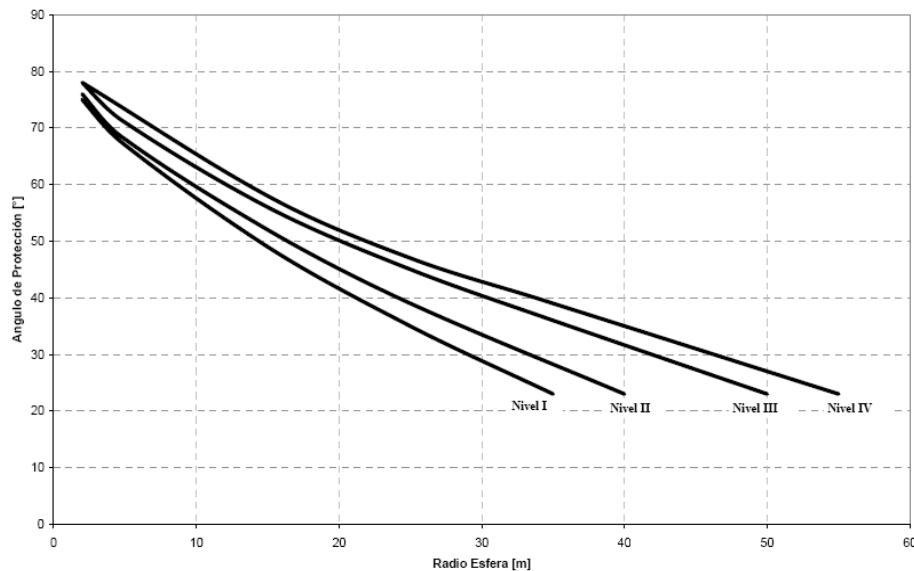


Figura 7 Angulo de protección dependiendo de la altura relativa y el nivel protección
Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008)

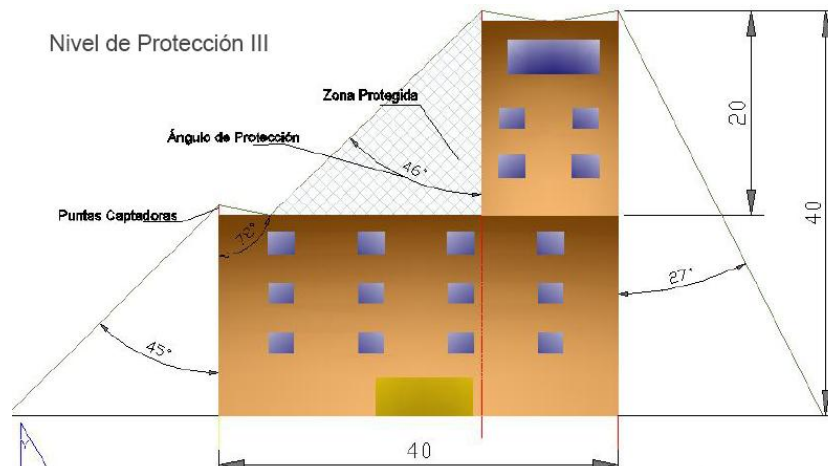


Figura 8 Utilización del método del ángulo de protección
Fuente CONFERENCIA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PROTECCIÓN EXTERNA (2008: Bogotá). Memorias de la Conferencia Descargas Atmosféricas Protección Externa. Bogotá: GREyP, 2008

Método de las mallas captadoras: son mallas que se instalan en superficies planas y que se basan en el principio de Jaula de Faraday para generar un volumen de protección. Su área está determinada por el NPR de la instalación. en la tabla 8 se encuentra la dimensión de la malla de acuerdo al NPR.



Tabla 8 Dimensiones del enmallado para los diferentes niveles de protección

Nivel de protección NPR	Malla (m)
Nivel I	5x5
Nivel II	10x10
Nivel III	15x15
Nivel IV	20x20

Fuente: (Libro: Protección contra rayos, 2008, pág. 181)

Ahora bien la corriente de rayo es captada y es momento de conducirla a tierra; esta es la función del **Sistema de bajantes** del SPE. Los bajantes pueden ser de dos tipos:

- **Bajantes naturales:** los bajantes naturales son partes metálicas de la estructura que cumplen con las normas técnicas y pueden ser usados como derivadores de la corriente de rayo.
- **Bajantes artificiales:** es un elemento diseñado para conducir intencionalmente la corriente de rayo desde el sistema de captación hasta el sistema de puesta a tierra.

Los bajantes se ubican simétricamente alrededor de la estructura distanciados entre sí de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 9 Distancia de separación de los bajantes de acuerdo al NPR

Nivel de Protección	Distancia en metros
Nivel I	10
Nivel II	10
Nivel II	15
Nivel IV	20

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008)

Después de conducir la corriente del rayo a tierra es necesario disiparla por lo tanto se debe construir un **Sistema de puesta a tierra**; según la norma NTC 4552-2 se define el sistema de puesta a tierra como parte de un SIPRA que conduce y dispersa intencionalmente la corriente de rayo a tierra. El sistema de puesta a tierra puede ser de dos tipos:



- **Sistema de puesta a tierra tipo A²¹:** incluye electrodos verticales u horizontales instalados en el exterior de la estructura y conectados a cada bajante.
- **Sistema de puesta a tierra tipo B²².** incluye un anillo perimetral exterior a la estructura a proteger en contacto con la tierra en el 80% de su longitud ó un electrodo de cimentación.

El diseño del sistema de puesta tierra depende del nivel de seguridad es decir del NPR, de la tensión de paso y del número de personas que circulan alrededor de la estructura.

1.9. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNA SPI

El rayo puede generar interferencias electromagnéticas al interior de las instalaciones ya sea por inducción o por conducción; por lo tanto se debe diseñar un sistema que permita eliminar o mitigar estos efectos.

La norma de protección contra rayos NTC 4452-2 define el Sistema de Protección Interno SPI como parte de un SIPRA que consiste en una conexión equipotencial de rayo y acorde con la distancia de separación dentro de la estructura protegida.

Los principales problemas que enfrentan los sistemas internos son las sobrecorrientes, sobretensiones y el acople magnético producidos por las perturbaciones electromagnéticas generadas por el rayo. Para evitar los daños internos se deben revisar los siguientes componentes del SPI, en la figura 9 se muestra un esquema general de un SPI:



Figura 9 Componentes del SPI
 Fuente: Norma Protección contra rayos NTC 4552-1-2008

²¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. 16p.:il Anexo E (NTC 4552-3).

²² Ibid.



Las distancias de separación: según la norma NTC 4552-3 la **distancia de separación** es la distancia entre dos partes conductoras en la cual no puede existir una chispa peligrosa: por lo tanto, cuando se hace la construcción del sistema de protección externo la ubicación de los bajantes y la instalación captadora; respecto a los demás elementos de la instalación tales como tuberías es de vital importancia. Es necesario evitar la posibilidad de chispas o arcos eléctricos debido a campos inducidos; por lo tanto, se debe proveer las distancias de seguridad apropiadas que eviten tensiones de paso o contacto dañinas a los seres vivos y a los equipos.

La equipotencialización: si el objetivo es generar un sistema que permita que la corriente del rayo fluya en el menor tiempo posible a tierra y que no exista la posibilidad de que dicha corriente encuentre otros caminos o induzca otros fenómenos en las instalación, se está buscando que todos los sistemas ofrezcan el mismo camino, es decir no existan diferencias de potencial dentro de la estructura.

A simple vista este proceso parece sencillo y simple; sin embargo, cuando se habla de equipotencializar la instalación no solo se refiere al sistema eléctrico, también se incluyen las redes de datos y de comunicaciones, las instalaciones de servicios públicos que posean partes metálicas y las partes metálicas propias de la estructura. Además, de las acometidas de potencia, televisión, telefónicas entre otras. Bajo esta nueva perspectiva equipotencializar alcanza una dimensión más amplia y compleja para cual la norma a propuesto estrategias de solución que se descurtirán detalladamente más adelante.

Acorde con el concepto de equipotencialización es necesario tener presente las siguientes definiciones²³.

- **Barraje equipotencial:** barra metálica en la cual las instalaciones metálicas, partes conductoras externas, líneas eléctricas, y de telecomunicaciones y otros cables pueden ser equipotencializados.
- **Conexión equipotencial de rayo:** conexiones al SIPRA de piezas metálicas separadas por conexiones conductoras directas o por dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), empleadas para reducir las diferencias de potencial causadas por corrientes de rayo.
- **Conductor equipotencial:** conductor que conecta partes conductoras al SIPRA

²³ Las definiciones fueron tomadas de la norma NTC 4552-3 ICONTEC, 2008



- **Partes externas conductoras:** extensiones de partes metálicas que ingresan o salen de la estructura a proteger, que pueden llevar corrientes parciales de rayo.
- **Red equipotencial:** una red equipotencial consiste en un conjunto de interconexiones entre conductores que tomadas como un todo forman una red común de baja impedancia para el flujo de corrientes; interconectando sistemas que no están conectados entre sí, tales como los sistemas eléctricos, los sistemas de datos, el sistema de protección contra rayos y la estructura metálica de la instalación.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones: la norma NTC 4552-3 define DPS como un dispositivo que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias y dispersa las sobrecorrientes transitorias. Contiene por lo menos un componente no lineal.

Ahora bien lo interesante de este concepto es su amplitud; es necesario aterrizarlo y estudiar a fondo que es un DPS, para que se usa, en donde se usa, la forma correcta de emplearlo entre otras interrogantes que están contenidas en una definición tan corta.

Los DPS son un tema interesante por su gran variedad y su impacto en la protección de los sistemas internos. Un DPS tiene muchas posibilidades porque al equipotencializar no se está protegiendo la instalación pero al instalar un DPS se está realizando un enlace equipotencial además de proteger el sistema entre otras cosas.

En general se necesitan las siguientes definiciones para esbozar un panorama general de DPS²⁴:

- **Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo conmutación de tensión** es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta de un transitorio de tensión
- **Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo de limitación de tensión** es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que se reduce gradualmente con el incremento de la corriente y la tensión transitoria.

²⁴ Las definiciones se extrajeron de la NTC 4552-3 ICONTEC, 2008



- **Sistema de protección contra sobretensiones** sistema coordinado de DPS seleccionados e instalados correctamente para reducir las fallas de sistemas eléctricos, electrónicos y telecomunicaciones.
- **Máxima tensión de operación continua** máxima tensión c.a. o c.c. que puede ser aplicada continuamente a un DPS en cualquier modo de protección. Es igual a la máxima tensión nominal del dispositivo.
- **Tensión residual** es el valor de la tensión que aparece entre los terminales de un DPS debido al paso de una corriente de descarga.
- **Nivel de protección en tensión** es el valor máximo de tensión que aparece en las terminales de un DPS cuando opera a sus condiciones nominales.



2. EL SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO SPI

Los fenómenos electromagnéticos del rayo no se aprecian solamente por el impacto directo en las estructuras; también están presentes cuando el rayo incide sobre una estructura cercana. Por otro lado pueden entrar a la instalación por las redes de datos, las acometidas y las instalaciones de los demás servicios domésticos.

Por otra parte, los efectos del rayo son disipados solo en un 50% por el sistema de protección externo; es decir, el 50% de los efectos electromagnéticos entran a las instalaciones y pueden ocasionar sobretensiones, sobrecorrientes y acoplamientos magnéticos, por lo que se deben proteger las instalaciones de estos fenómenos. Bajo esta perspectiva es necesario implementar un sistema de protección interno; que proteja a las personas y a los equipos.

Para proteger las instalaciones es necesario seguir los siguientes pasos básicos:

- Definir zonas de protección
- Equipotencializar
- Apantallar efectivamente de los conductores
- Implementar la instalación de DPS.

2.1. LAS ZONAS DE PROTECCIÓN

La necesidad de proteger los sistemas eléctricos, dispositivos electrónicos, y las personas dentro de las instalaciones eléctricas, llevan a realizar una serie de análisis para estas instalaciones dependiendo del tipo de instalación. El estudio a realizar debe modificarse con el fin de atender todos los factores de riesgo y la demanda de los equipos instalados.

El tipo de instalación obedece al uso de la misma o a los equipos que se encuentran en ella. Por ejemplo, están las instalaciones residenciales, hospitalarias e industriales por nombrar algunas. Además, se debe tener información sobre los impulsos electromagnéticos, las corrientes máximas y mínimas entre otros factores del rayo, que son los responsables de los diferentes daños producidos dentro de las instalaciones.

A partir de estos conceptos, se han formulado una serie de parámetros y modelos que ayudan al entendimiento del fenómeno del rayo y de las consecuencias de un impacto directo o cercano a la estructura. De esta forma ha sido posible generar alternativas de protección o atenuación de los efectos del rayo.



En una instalación de uso final podrían presentarse fallas como sobretensiones, campos magnéticos inducidos y perturbaciones electromagnéticas que propician riesgos para las personas, estructuras y equipos.

De acuerdo con estos tipos de fallas se han realizado estudios que han aportado una serie de datos estadísticos permitiendo dividir la estructura en zonas; dependiendo de las descargas de los rayos y de los efectos causados en la instalación.

Definir estas zonas de protección contra rayos (ZPR) sirve como herramienta para emplear significativamente la protección más adecuada, la norma NTC 4552-1 presenta los tipos de ZPR, que se listan a continuación:

- **ZPR 0_A**: Expuesto a impactos directos del rayo. La corriente y el campo magnético del rayo son amortiguados.
- **ZPR 0_B**: protegido contra impactos directos de rayo. La corriente parcial o inducida del rayo y el campo magnético no son amortiguados.
- **ZPR 1**: protegido contra impactos directos del rayo. La corriente parcial o inducida del rayo y el campo magnético son amortiguados.
- **ZPR 2...n**: Como la ZPR 1 pero el campo magnético es más amortiguado.

Tomando en cuenta lo citado en las notas de la norma NTC 4552 se dice que en cuanto más alto es el número de la zona individual, más bajos son los valores de los parámetros electromagnéticos del ambiente. Y además para muchos sistemas eléctricos y electrónicos y otros dispositivos, la información sobre el nivel disruptivo puede ser suministrada por el fabricante²⁵.

De acuerdo a lo anterior, si una estructura tiene una punta captadora tipo Franklin; que es el primer equipo de protección frente a la descarga del rayo, recibiendo así la corriente máxima sin atenuación, el campo electromagnético máximo y los impulsos electromagnéticos máximos, se identificara esta zona como la ZPR0.

Ahora si se observa un DPS puesto dentro de la estructura, solo recibiría un porcentaje menor de la corriente máxima presentada en la punta tipo Franklín tanto el campo electromagnético y los impulsos electromagnéticos estarían atenuados en un porcentaje considerable, que es la identificación de la ZPR1.

²⁵ NTC 4552-1, pág. 19, 2008



Esta comparación muestra que entre más divisiones de zonas se encuentren los equipos a proteger estarán mejor resguardados contra las descargas de rayo y sus componentes, debido a que en la ZPR0 la descarga del rayo es directa y en la ZPR1 la descarga es indirecta, haciendo la diferencia de los parámetros electromagnéticos entre zonas.

También como regla general para la protección, el objeto protegido estará en una ZPR cuyas características electromagnéticas sean compatibles con la capacidad del objeto para soportar el esfuerzo causa del daño a reducir (daños físicos, fallas de los sistemas eléctricos y electrónicos debidas a sobretensiones).

Por ejemplo, los niveles disruptivos de los equipos deben ser verificados por el usuario para asegurar su capacidad frente a dichos niveles, teniendo en cuenta las certificaciones que permiten conocer si el dispositivo a usar cumple con los requisitos establecidos por las normas de fabricación, además, de estar en óptimas condiciones para ser instalados de acuerdo al tipo de instalación que se requiera.

En la figura 10 se muestra como están ubicadas las zonas de protección.

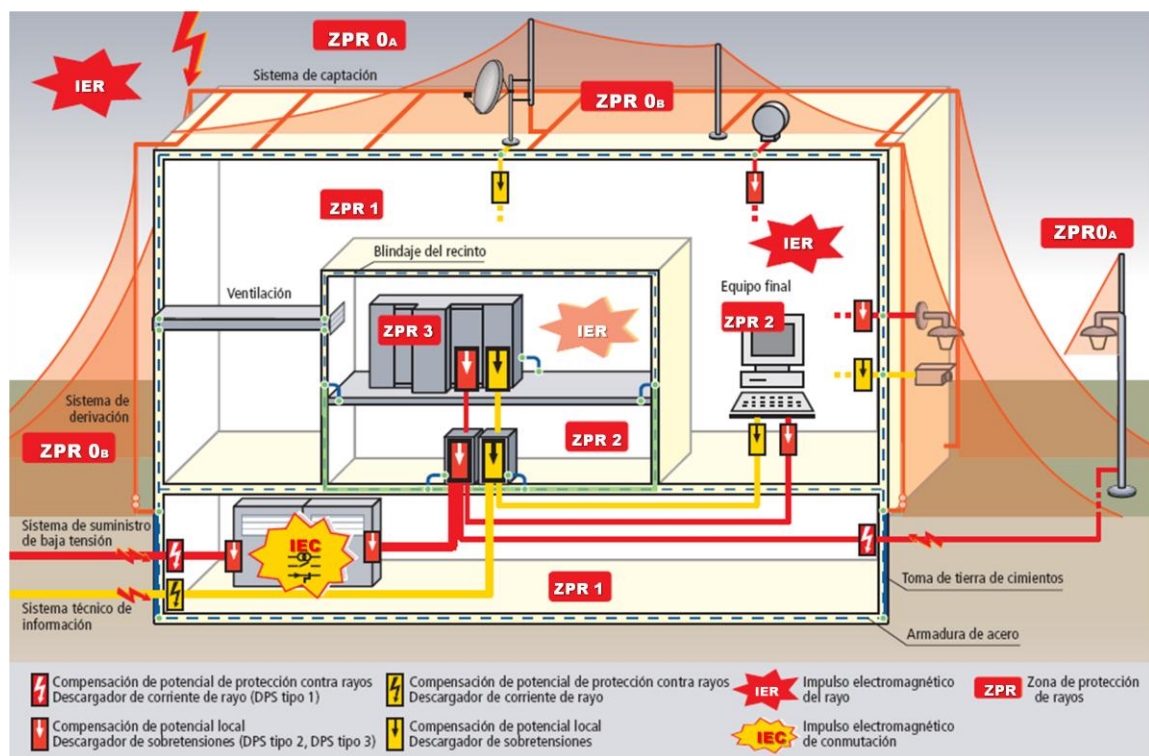


Figura 10 Zonas de Protección contra Rayos ZPR definidas para un SIPRA
Fuente: (Dehn, Manual protección de equipos eléctricos y electrónicos contra LEMP, 2009)



ZONAS EXTERNAS²⁶

ZPR0: Zona donde no existe atenuación del impulso electromagnético (IEMR) y donde los sistemas internos pueden conducir corrientes totales o parciales de rayo. Se divide en dos:

- **Zona de protección ZPR0_A:** Esta expuesta a impactos directos de rayo y debe soportar la corriente total del rayo. Los campos electromagnéticos son muy intensos y no atenuados. Aquí es donde se experimentan los eventos de alta energía, por ejemplo, 50 kA, 10/350 μ s/conductor.
- **Zona de protección ZPR0_B:** Zona protegida contra impactos directos pero existen IEMR sin atenuar y los sistemas internos pueden conducir corrientes parciales de rayo. Los campos electromagnéticos son intensos, no atenuados, por ejemplo, para pruebas con ondas de tensión 10 kV, 1,2/50 μ s y para pruebas con ondas de corriente 5 kA, 8/20 μ s.

Ahora bien conociendo la incidencia que el rayo presenta dentro de cada una de estas subzonas, es recomendable instalar en la primera una protección que disminuya en una buena proporción las características de impacto primario del rayo como lo son la corriente máxima y los campos electromagnéticos de mayor intensidad, seleccionando los bajantes naturales (tubo de desagüe, escaleras de emergencia y objetos metálicos que podrían conducir la descarga del rayo), además de bajantes artificiales o captadores que se requieran instalar y que sean necesarios para la protección, cada uno de estas bajantes o captadores necesariamente tendrían que estar a un mismo potencial y ser parte de el sistema de puesta a tierra que la estructura necesita después de haber hecho el análisis de los niveles de protección, para que en la siguiente zona las componentes del rayo presenten una proporción menor que la inicial.

Las ZPR0_A y ZPR0_B son subzonas que se pueden identificar de forma muy sencilla porque su campo visual se refiere a toda la parte exterior del edificio, reconociendo que está expuesta a los impactos directos del rayo, este hecho las ubica en un punto de importancia elevado porque su nivel de riesgo frente a otras zonas es mayor.

En la grafica 11 se observa la ubicación de la ZPR0_A y la ZPR0_B:

²⁶ Protección contra rayos, Horacio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 373

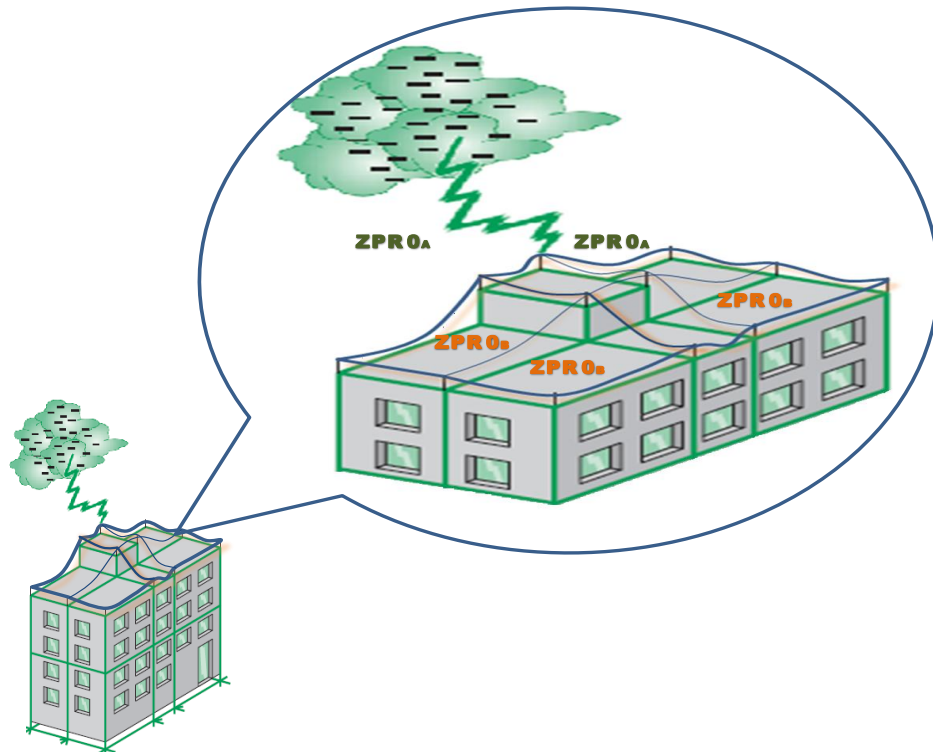


Figura 11 Subzonas de protección ZPR0_A y ZPR0_B
Fuente: (Autores)



ZONAS INTERNAS (PROTEGIDOS CONTRA IMPACTOS DIRECTOS DE RAYO)²⁷

- **Zona de protección ZPR1:** Zona donde la corriente de rayo está limitada por división de corriente y protegida mediante DPS en las fronteras. Los IMER pueden estar atenuados mediante apantallamiento.

La visualización de esta zona también es sencilla porque está ubicada dentro de la estructura y depende de los equipos a proteger, además, porque los equipos cuentan con sus parámetros característicos los cuales ayudan en el diseño del sistema de protección interno. La información dada por el fabricante en sus fichas técnicas, muestra una idea de cuanta corriente y cuáles son los puntos de ruptura y perturbación a los cuales pueden ser sometidos, por estas razones es necesario que el campo electromagnético que se presente en esta zona este amortiguado o disminuido casi en su totalidad. En la figura 12 se identifica la ZPR1:

²⁷ Protección contra rayos, Horacio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 373

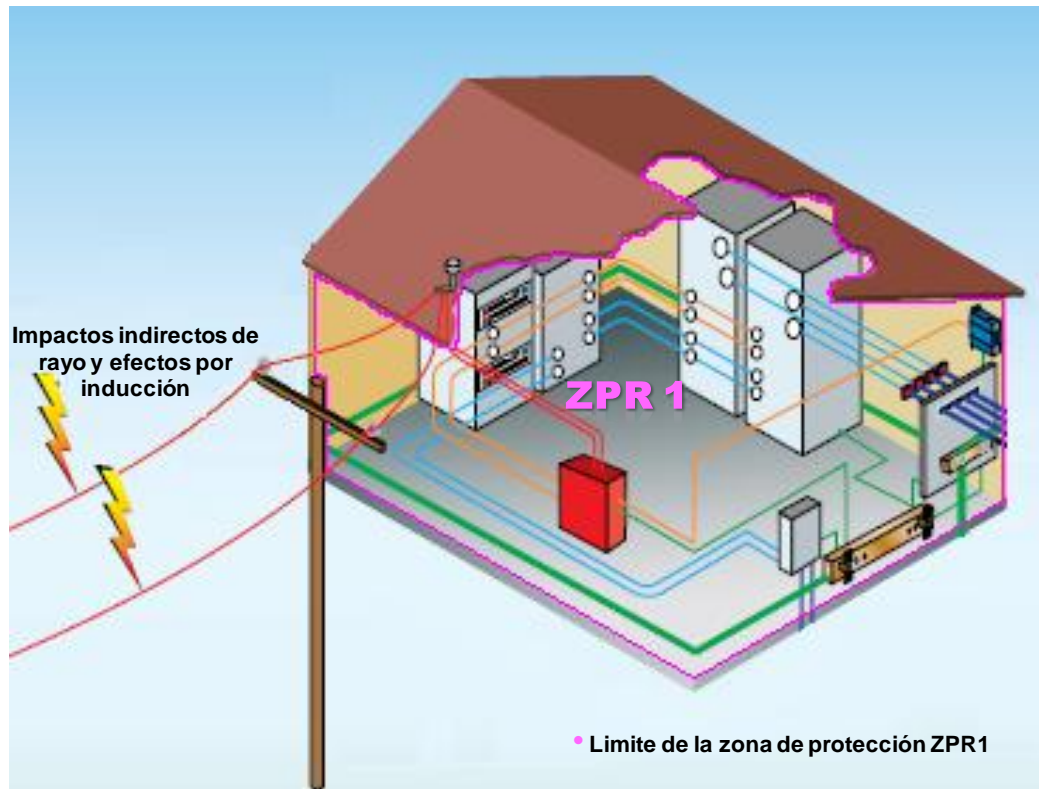


Figura 12 Zona de protección ZPR1
Fuente: (Handbook Eritech, 2009, pág. 86)

- **Zona de protección ZPR2...n:** Zona donde la corriente de rayo puede estar adicionalmente limitada por la división de corriente y por instalación adicional de DPS. Se pueden usar apantallamientos adicionales para atenuar aún más los IMER.

La identificación de una ZPR2, ZPR3... ZPRn depende del equipo eléctrico que se quiere instalar dentro de la estructura, las protecciones eléctricas en general pretenden alcanzar un solo objetivo cuando son instaladas, siempre se busca disminuir el riesgo tanto en las personas como en los equipos, y en esta zona la atenuación de los factores de rayo debe ser nula o buscar ese objetivo.

Una buena forma de explicar la diferencia de amortiguamiento de los campos electromagnéticos entre la zona ZPR1 y la zona ZPR2 es ver que tan complejo es el equipo seleccionado para instalar y los parámetros de diseño, para así conocer cuáles son las proporciones que se deben tener en cuenta frente a las componentes del rayo que hacen que los campos



electromagnéticos aumenten o disminuyan y con esto saber qué clase de DPS se instalarán en la frontera de las zonas.

Las zonas de transición se caracterizan por ser los límites entre las zonas mencionadas anteriormente, para la visualización de estas zonas se debe tener en cuenta los elementos de protección contra rayos que se instalan entre zonas, como se podría presentar entre la ZPR_{0A} y la ZPR1 la cual mostraría el descargador de corriente de rayo como la punta tipo Franklin, entre la ZPR_{0B} y la ZPR1 en la cual estarían presentes los DPS y entre la ZPR1 y ZPR2, ZPR3... ZPRn en la cual también estarían presentes los DPS ya que entre estas zonas los equipos más complejos necesitarían DPS con diferentes especificaciones adecuados para esta clase de protección.

Para asegurar la protección de las distintas zonas, es conveniente utilizar diferentes DPS en cada una de ellas:

- *Zona de transición ZPR_{0A} hacia ZPR1:* el DPS a utilizar es el descargador de corriente de rayo.
- *Zona de transición ZPR_{0B} hacia ZPR1:* el DPS a utilizar es el descargador de sobretensiones.
- *Zona de transición ZPR1 a ZPR2 y zonas superiores:* el DPS a utilizar es un descargador de sobretensiones.

Protegidos bajo este concepto, se pueden evitar fallas y averías en los equipos e instalaciones eléctricas y electrónicas, incluso en el supuesto de impactos de rayo directos o cercanos.

En la figura 13 se observan la clasificación de las zonas de protección en internas y externas y las fronteras o zonas de transición entre cada una.

Adicional a las ZPR, se deben considerar las siguientes medidas básicas de protección interna:

- Los apantallamientos atenúan el campo magnético dentro de un ZPR, por impactos directos o cercanos de rayo a la estructura y reduce las sobretensiones transitorias internas.



- El blindaje de redes internas eléctricas o de comunicación usando cables apantallados o ductos para cables, esto minimiza la sobretensiones inducidas.
- Los conductores internos deben estar adecuadamente cableados con el fin de evitar lazos inductivos que puedan generar sobretensiones perjudiciales para los sistemas internos, adicionalmente se pueden utilizar cables apantallados o dispuestos dentro de conductores metálicos para reducir efectos inductivos.



Figura 13 Zonas de protección internas y externas
Fuente: (Conferencia GREDyP memorias, 2008, pág. 35)



- El apantallamiento de redes externas que entran a la estructura reduce las sobretensiones que son conducidas al interior de la estructura.²⁸

Para considerar las zonas que se describieron anteriormente se deben tener en cuenta las condiciones electromagnéticas que están presentes en cada zona de protección, cada uno de los bajantes o superficies naturales que están presentes en dichas zonas.

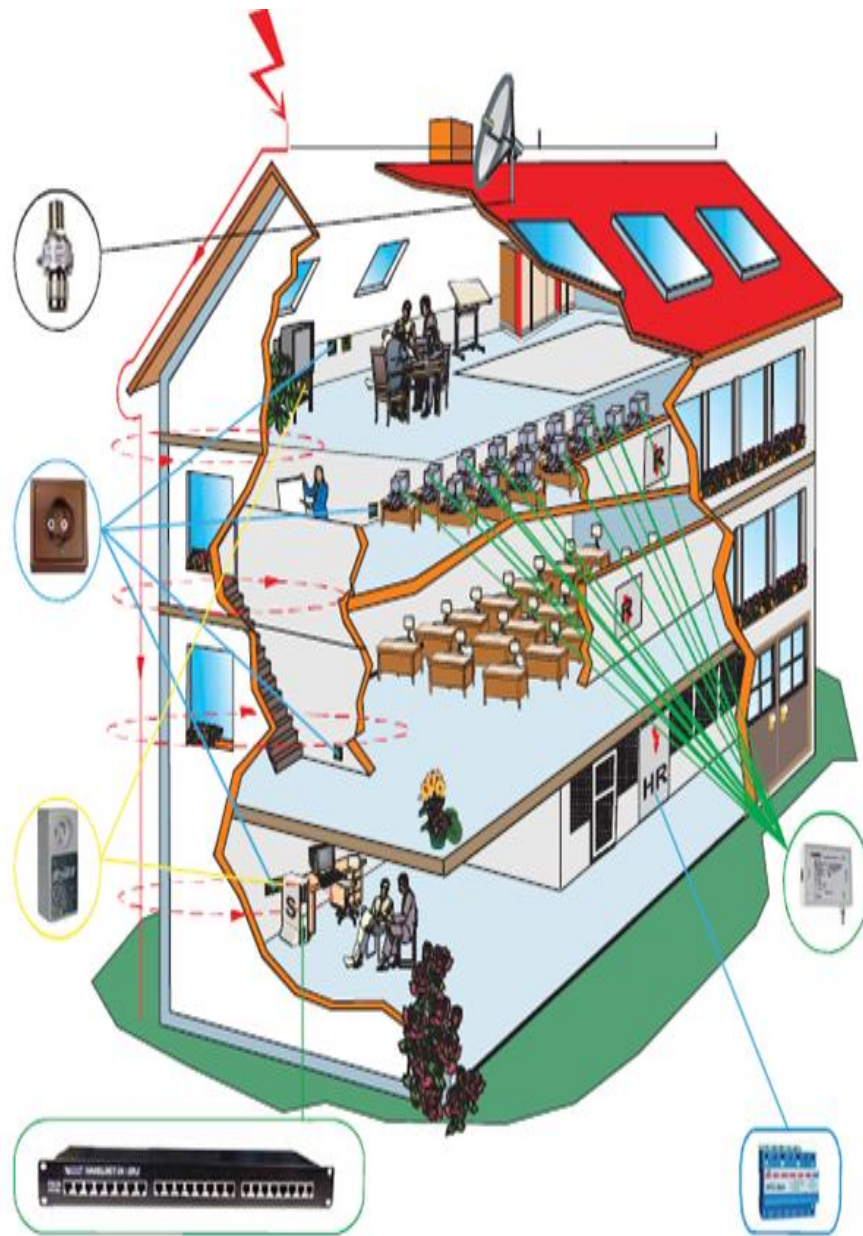
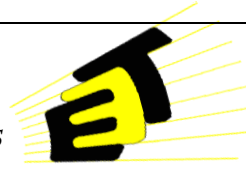
Lo que se busca con este tipo de selección de zonas es permitir un diseño óptimo del SIPRA acorde a la estructura a proteger. Al observar la selección de las ZPR se encuentra que dicha clasificación se centra en el concepto que depende de la caída del rayo y está ligado al mismo, se hace referencia a los impulsos electromagnéticos generados por los rayos (IEMR).

Por ejemplo, si se tiene un edificio al cual se le va a diseñar la protección; el primer paso sería dividirlo en las zonas. Según esta división el edificio estaría protegido de acuerdo a los parámetros de cada zona y a los riesgos que asume; es decir, se adecuaría el edificio según su necesidad de riesgo y esta herramienta permitirá concentrar cierto cuidado en las zonas más expuestas. Además, permitiría tener en cuenta la interconexión con las diferentes zonas, sus transiciones y las protecciones naturales que pueden ser aprovechables en el levantamiento o diseño de la protección deseada.

En la figura 14 se ilustra un ejemplo del concepto de zonas de protección:

- En la zona ZPR0, impacto directo de rayos, se observa el sistema de protección externo y la antena que forma parte de los bajantes naturales, además de la protección de la chimenea.
- En la zona ZPR1, impacto indirecto de rayos e inducción electromagnética, se protegen los sistemas eléctricos principales y las acometidas eléctricas y de datos.
- En la zona ZPR2, impacto indirecto del rayo, se protegen las áreas de comunicación y computo que las sensibles de acuerdo a la figura.
- En la zona ZPR3, impacto indirecto del rayo, protección fina; en la figura 14 se observa que las protecciones están lo más cerca posible del elemento a proteger; en este caso los computadores y el servidor.

²⁸Ibid, pág. 374



HR– Tablero de distribución principal
R---- Tablero de distribución secundario
S---- Computador servidor
C---- Sistema de seguridad
TU– Central telefónica
TR– fuente de energía

- Zona de protección ZPR0
- Zona de protección ZPR1
- Zona de protección ZPR2
- Zona de protección ZPR3

Los DPS identificados en la figura representa la transición entre zonas

Figura 14 Ejemplo de aplicación zonas de protección
Fuente: (Miniguía de sobretensión, pág. 21)

2.2. EQUIPOTENCIALIZACIÓN

Equipotencializar es etimológicamente igualar a un mismo potencial. Desde el punto de vista eléctrico, esta definición contiene la esencia misma de la equipotencialización, sin embargo, entran conceptos como continuidad eléctrica,



sistema de puesta a tierra e inducción electromagnética que deben revisarse detenidamente para llevar a cabo una correcta equipotencialización. Todos los sistemas de la instalación por ejemplo comunicaciones, instalaciones a.c, instalaciones de acueducto, instalaciones de calefacción, el sistema de protección contra rayos entre otros deben interconectarse.

✎ ¿Qué se debe equipotencializar?

El primer paso para equipotencializar es garantizar la continuidad eléctrica. Si se interconectan todos los sistemas de la instalación se garantiza una red equipotencial. Según la norma NTC 4552-3 se debe interconectar el sistema de protección contra rayos con:

- Todas las partes metálicas de las estructura
- Sistemas internos
- Partes conductoras externas

- **Partes metálicas de la estructura:**

Se consideran partes metálicas de la estructura las tuberías, las escaleras, las varillas metálicas, los rieles de los ascensores, los techos metálicos, pisos metálicos, bandejas portacables entre otros.

- **Sistemas Internos**

Se encuentran entre los sistemas internos, las redes de comunicaciones, las redes a.c. de baja tensión, el sistema de puesta a tierra, el sistema externo de protección contra rayos entre otros.

- **Partes conductoras externas**

Los sistemas externos a la estructura comprenden las acometidas de los servicios domésticos y las acometidas de datos, que deben interconectarse con el fin de proveer vías de evacuación para disturbios por bajas frecuencias.

La figura 15 muestra un ejemplo de equipotencialización; se observa la equipotencialización de las acometidas, las tuberías, los equipos de comunicación y datos, los tableros, el acero de la estructura entre otros.

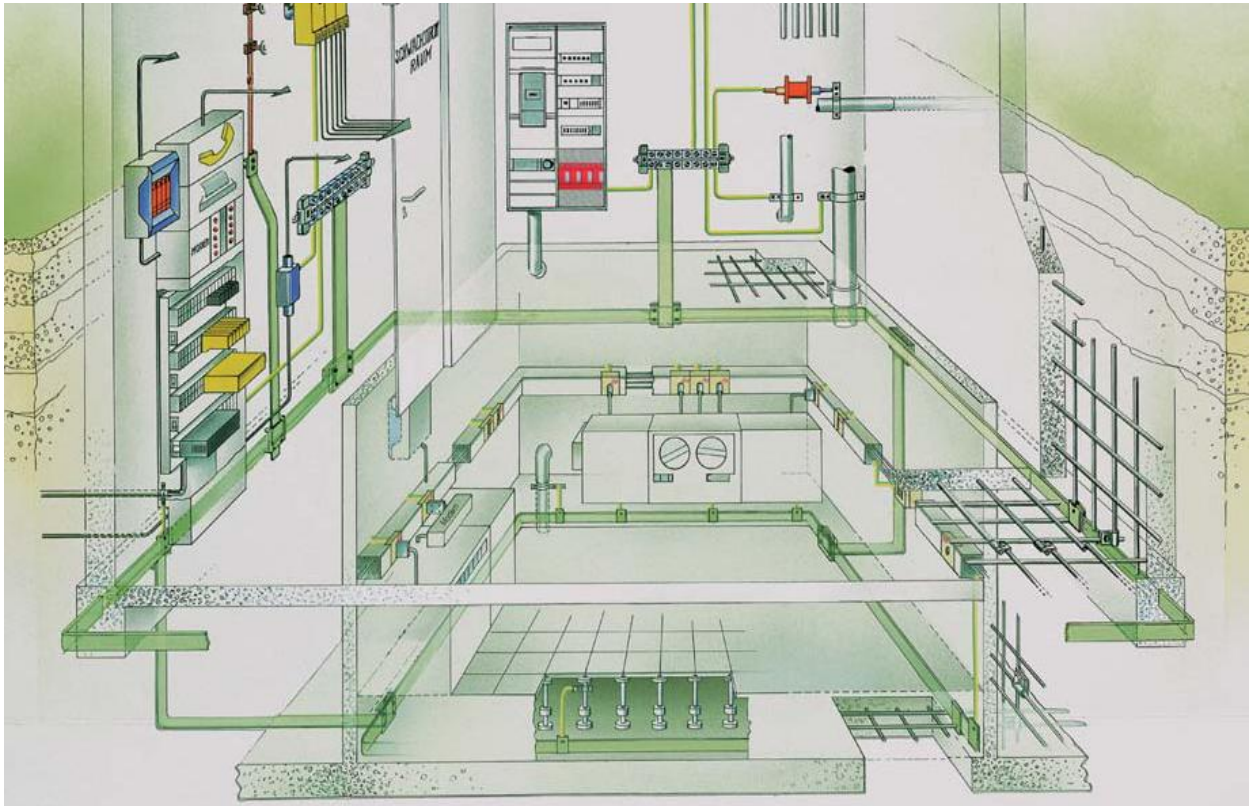


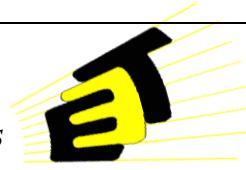
Figura 15 ¿Que se debe equipotencializar?

Fuente: (Dehn, Manual protección de equipos eléctricos y electrónicos contra LEMP, 2009)

⚡ ¿Qué se debe tener en cuenta para realizar la equipotencialización?

Para llevar a cabo la equipotencialización de una estructura se deben interconectar todos los elementos anteriormente mencionados; por lo tanto, es necesario tener en cuenta que el objetivo es minimizar la impedancia del sistema; es decir, lograr la ruta de menor resistencia; para alcanzarlo se observan los siguientes aspectos:

- La distancia de interconexión
- La formación de lazos
- El número de conexiones
- El tipo de conexión



- **La distancia de interconexión**

Es necesario evitar largas distancias (superiores a 10 m) que aumenten los efectos inductivos de los campos electromagnéticos que ocasionen arcos; por lo tanto en grandes instalaciones (mayores a 20 m de longitud) se deben crear barrajes equipotenciales intermedios que logren minimizar la distancia. Por otra parte los conductores equipotenciales deben instalarse de tal forma que las curvas sean reducidas.

- **La formación de lazos**

Con el fin de evitar la inducción de fenómenos electromagnéticos y de las corrientes de rayo es necesario evitar la formación de lazos en la estructura; por lo tanto las distancias deben ser reducidas y la interconexión se debe realizar en forma de malla.

- **El número de conexiones**

Cuando el número de conexiones es elevado las probabilidades de arco y de fuga aumentan; por lo tanto el número de conexiones entre los sistemas a interconectar debe ser el menor posible. Estas reducciones se logran por medio de anillos conductores instalados fuera o dentro de la estructura que a su vez deben ser interconectados a intervalos no superiores a 10 m.

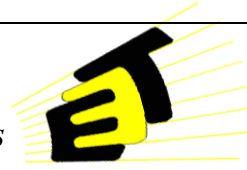
✎ ¿Cómo se interconectan los sistemas?

La interconexión de los sistemas con los barrajes equipotenciales se realiza por medio de conductores equipotenciales o DPS.

- **Los conductores equipotenciales**

Los conductores equipotenciales se utilizan para interconectar sistemas en los que no existe continuidad eléctrica natural. Por ejemplo, las escaleras metálicas de emergencia y el sistema de protección contra rayos de la estructura.

Estos conductores equipotenciales deben soportar las corrientes parciales del rayo; es decir, aquellas corrientes que se dispersan por las partes externas de la estructura o por las acometidas de servicios.



Existen secciones mínimas para interconectar los barrajes equipotenciales y el sistema de puesta a tierra y las secciones mínimas para los conductores que conectan los sistemas internos con los barrajes de unión equipotencial que se encontrarán en las tablas 10 y 11.

Tabla 10 Dimensiones mínimas de los conductores que conectan barras equipotenciales con el sistema de puesta a tierra

CLASES DE SIPRA	MATERIAL	SECCION TRANSVERSAL MINIMA mm ²
I al IV	Cobre	14
	Aluminio	22
	Acero	50

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008, pág. 24)

Tabla 11 Dimensiones mínimas de los conductores que conectan los sistemas internos con las barras equipotenciales

CLASES DE SIPRA	MATERIAL	SECCION TRANSVERSAL MINIMA mm ²
I al IV	Cobre	5
	Aluminio	8
	Acero	16

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008, pág. 24)

Sin embargo, para escoger el conductor equipotencial se debe conocer el valor de la corriente parcial del rayo I_f . Esta corriente está definida como el producto del factor K_e , que representa cuanto de la corriente de rayo se dispersa por las conexiones externa y la acometida; y la corriente I que es la corriente de rayo.

$$I_f = K_e * I$$

La corriente de rayo I está definida por el nivel de protección de la estructura y por lo tanto el tipo de SIPRA que se va a implementar; como se resume en la tabla 12:

Tabla 12 Corriente de rayo I definida para cada NPR

Primera descarga corta			NPR			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente Pico	I	kA	200	150	100	

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008)

Por otra parte el factor K_e debe calcularse para cada instalación porque depende de la impedancia de puesta a tierra, ya sea para instalaciones



subterráneas o aéreas, de la impedancia de las conexiones y del número de acometidas.

Como existen instalaciones aéreas y subterráneas que se deben interconectar, el factor K_e debe calcularse de acuerdo a esta característica de forma diferente.

✎ Para sistemas subterráneos

$$K_e = \frac{Z}{Z_1 + Z \left(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2} \right)}$$

✎ Para sistemas aéreos

$$K_e = \frac{Z}{Z_1 + Z \left(n_2 + n_1 \frac{Z_1}{Z_2} \right)}$$

En donde

Z_1 : es la impedancia del sistema subterráneo

Z_2 : es la impedancia del sistema aéreo

n_1 : es el número de partes externas o acometidas subterráneas

n_2 : es el número de partes externas o acometidas aéreas

Z : es valor de la impedancia del sistema de protección contra rayos

Si se desconocen los valores de las impedancias se pueden asumir los de la siguiente tabla de acuerdo a la clase de SIPRA



Tabla 13 Valores convencionales de impedancia de puesta a tierra Z y Z1 en función de la resistividad del suelo

ρ Ωm	Z ₁ Ω	Impedancia de puesta a tierra convencional en relación con el tipo de de SIPRA		
		Z Ω		
		I	II	III-IV
≤100	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60

NOTA los valores reportados en esta tabla están referidos a la impedancia de puesta a tierra convencional de un conductor enterrado bajo condiciones de impulso (10/350 μs)

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008)

✎ Aproximaciones para calcular la corriente parcial de rayo

Para calcular la corriente parcial de rayo sin conocer todos los elementos de las anteriores formulas; se pueden usar las siguientes aproximaciones de acuerdo la naturaleza de la instalación.

Tabla 14 Aproximaciones para hallar la corriente parcial de rayo

APROXIMACIÓN	FORMULA
Si se desconoce el valor de la resistividad	$K_e = \frac{0,5}{n_1 + n_2}$
Si los conductores no están apantallados o en tubería metálica	$K_e = \frac{K_c}{n}$
Si las líneas están apantalladas y no equipotencializadas al entrar a la instalación	$K_e = \frac{K_c + R_s}{nR_s + R_c} \text{ }^{29}$ R _s = es la resistencia del apantallamiento R _c : es la resistencia del conductor interno

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008, pág. 29) **Anexo A**

²⁹ El factor K_c depende del número de bajantes; referirse a la tabla 15 pág., 42.



- **Los DPS**

Cuando no es posible la conexión del conductor equipotencial la equipotencialización se realiza por medio de DPS. Por ejemplo, todos los conductores de las líneas de telecomunicaciones activas se deben equipotencializar por DPS a si como los conductores internos no están apantallados.

La norma NTC 4552-3 recomienda el uso de los DPS del tipo conmutación de tensión; este DPS tiene una alta impedancia cuando no existe la falla pero cuando ocurre cambia rápidamente su valor a uno muy bajo.

En general los medios de interconexión deben cumplir con tres requisitos básicos

- 1 Soportar las corrientes de rayo
- 2 La corriente de impulso de rayo, I_{IMP} , que soportan las conexiones debe ser mayor al producto entre el factor K_c y la corriente de rayo a lo largo del sistema de protección externo, ($I_{IMP} > K_c \cdot I$), K_c es un factor que depende del número de bajantes del sistema externo como se ve en la tabla 15.

Tabla 15 Valores del coeficiente K_c para aislamiento externo

Número de bajantes N	K_c
1	1
2	1 ... 0,5
4 o más	1 ... 1/n

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008, pág. 26)

- 3 El nivel de protección debe ser menor que el nivel de aislamiento al impulso.

✎ **¿Se debe equipotencializar por medio de conductores equipotenciales si los cables son apantallados o en tubería metálica?**

Si el área de la sección transversal del conductor es mayor que el área mínima de apantallamiento no se requerirán conductores equipotenciales o DPS para realizar la unión equipotencial.

El área mínima S_{min} ; se calcula de la siguiente manera:



$$S_{min} = \frac{I_f \rho_c L_c + 10^6}{U_c}$$

En donde:

I_f es la corriente de rayo que fluye por la pantalla

ρ_c es la resistividad de la pantalla

L_c es la longitud del cable

U_c es la resistencia al impulso de tensión del equipo en kV

Tabla 16 Longitud del cable que debe ser considerada de acuerdo a la disposición de la pantalla

Disposición de la pantalla	L_c
En contacto con un suelo de resistividad	$L_c \leq 8\sqrt{\rho}$
Aislada del suelo o en el aire	Distancia L_c entre la estructura y los puntos más cercanos de conexión a tierra a la pantalla

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008)

➤ **¿En donde se realiza la equipotencialización?**

Las uniones equipotenciales deben realizarse a nivel de piso, si existe un sistema de protección aislado. De lo contrario la unión equipotencial se hace en el sótano o donde el sistema así lo requiera.

Por ejemplo, en un edificio de más de 23 m de altura se recomienda un anillo equipotencial intermedio para asegurar la continuidad eléctrica. El segundo anillo estará a un nivel de 20 m y los demás cada 20 m por encima de este.

En las acometidas de datos o servicios la unión equipotencial se realiza a la entrada de la estructura; si no es posible en el tramo más corto.

➤ **¿Qué es un barraje equipotencial (BUE)?**

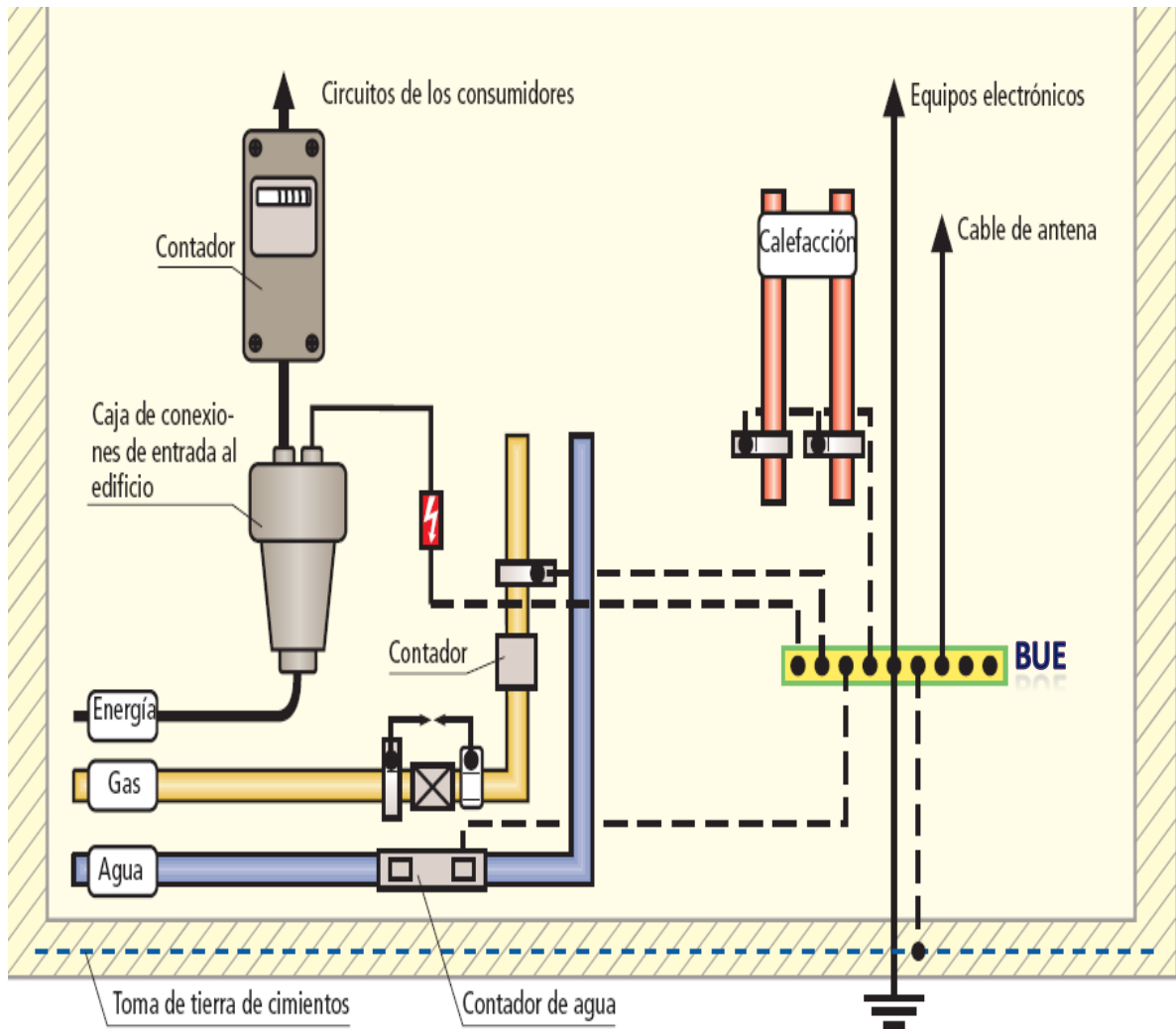


Figura 16 Barraje de unión equipotencial BUE

Fuente: (Dehn, Manual protección de equipos eléctricos y electrónicos contra LEMP, 2009)

Un barraje equipotencial es el punto de unión donde los sistemas de comunicaciones, servicios domésticos, protección contra rayos, partes conductoras externas entre otros pueden ser equipotencializados; a su vez el barraje equipotencial es el punto de unión con el sistema de puesta a tierra de la instalación.

Un barraje equipotencial es como su nombre lo indica una barra metálica que se localiza en un muro interior dentro de una caja de distribución lo más cerca del sistema de puesta a tierra, de tal forma que se puedan interconectar sólidamente



por conductores cortos. Los BUE deben soportar las corrientes parciales del rayo y pueden ser más de uno.

La figura 16 es un ejemplo de un barraje equipotencial típico; donde se observa la equipotencialización de los servicios esenciales y de las demás instalaciones eléctricas y de comunicaciones

El barraje equipotencial debe estar unido al sistema de protección contra rayos y a las partes de la estructura, que pueden ser usadas como parte natural del SPE. Por ejemplo, si el acero reforzado en concreto es usado como parte del sistema de protección externa como bajante natural, este debe ser conectado al barraje equipotencial.

Se pueden conectar varios BUE si es necesario siempre y cuando estos sean interconectados. Por ejemplo, si las entradas de datos y de servicios están alejadas físicamente se podrán usar BUE diferentes para cada una e interconectarlos por medio de un anillo equipotencial. Además, cuando existen acometidas aéreas los BUE se conectan al anillo equipotencial interior o directamente a los bajantes.

En la figura 17 se observa en línea a trazos el anillo equipotencial que se necesita porque existen diferentes barrajes equipotenciales o porque la puesta a tierra de los equipos precisan de un BUE especial.

✎ ¿Los barrajes equipotenciales y la puesta a tierra?

El número de barrajes equipotenciales también depende del tipo de sistema de puesta a tierra que tenga la estructura; es decir, si el sistema de puesta a tierra es tipo A el cual consiste en electrodos ubicados fuera de la instalación conectados directamente a cada uno de los bajantes del SPE, deben existir barrajes equipotenciales en cada uno de los bajantes y se deben interconectar por medio de un anillo equipotencial.

Sin embargo, si el sistema de puesta a tierra es tipo B que consiste en un anillo de puesta a tierra que rodea la estructura y está unido a los bajantes y los electrodos; entonces, puede existir un solo barraje equipotencial conectado a anillo de puesta tierra. Estas configuraciones se encuentran en la figura 18

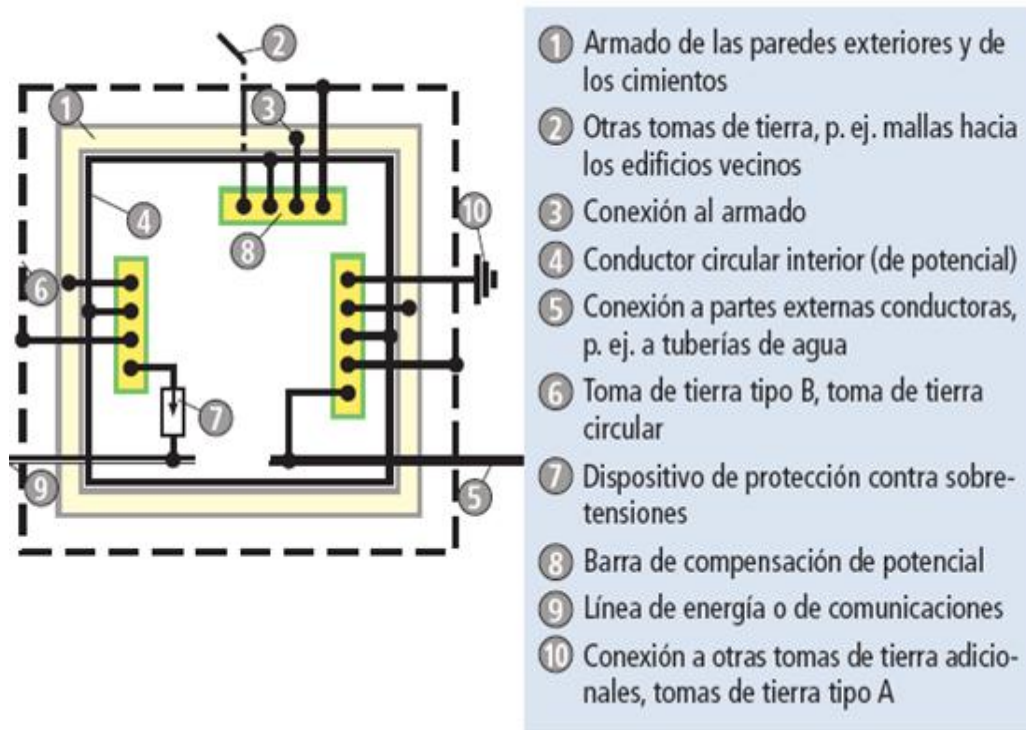


Figura 17 Ejemplo de unión equipotencial por existencia de varias entradas y BUE
Fuente: (Dehn, Manual protección de equipos eléctricos y electrónicos contra LEMP, 2009, pág. 168)

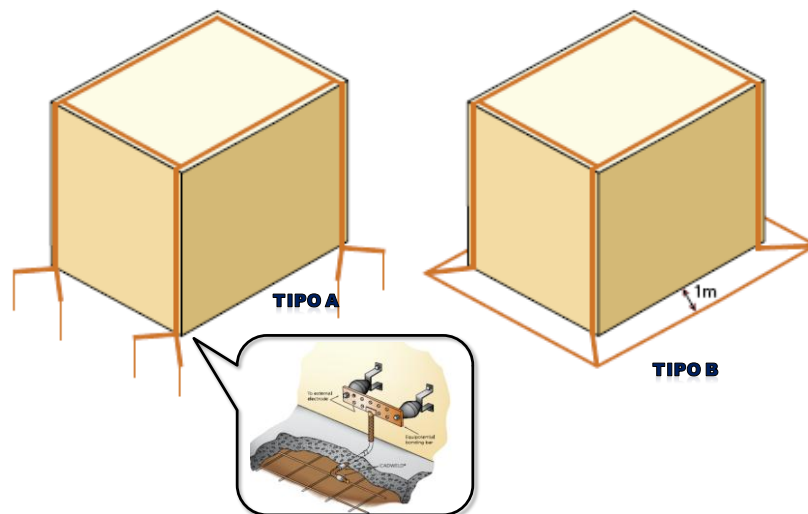


Figura 18 Configuraciones del sistema de puesta a tierra
Fuente: (Handbook Eritech, 2009, pág. 57)



✦ ¿Cada cuanto se interconecta el anillo equipotencial al acero de refuerzo de la estructura?

Como ya se había mencionado los barrajes equipotenciales deben conectarse entre sí por un anillo equipotencial y por lo tanto si existe acero de refuerzo en la estructura que está siendo usado como bajante natural, es necesario que estos tengan una unión equipotencial. Dicha unión debe realizarse de acuerdo al SIPRA implementado igual a la ubicación de los bajantes para SPE.

Para lo anterior se usa la siguiente tabla

Tabla 17 Distancia de separación promedio para los bajantes de acuerdo con el nivel de protección

Tipo de nivel de protección	Distancia típica promedio [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008)

En la figura 19 se muestra la forma de equipotencializar la armadura de una edificación y conectarla al anillo equipotencial y el sistema de tierra

✦ ¿Qué es una red equipotencial RE?

La existencia de varios sistemas para interconectar y la probabilidad de que exista más de un barraje equipotencial plantea la necesidad de interconectar todos estos componentes para formar un solo camino equipotencial; la configuración que estas interconexiones conforman se conoce como **Red Equipotencial**.

Las redes equipotenciales pueden ser configuradas de acuerdo a las necesidades de cada instalación; aún así, la norma IEC 62305-4³⁰ recomienda dos configuraciones básicas para una RE:

- Configuración estrella E
- Configuración enmallada M

³⁰ La Norma IEC 62305-4 es la norma internacional en la cual se basa la NTC 4552-1-2-3 para la protección contra rayos en edificaciones de uso final.

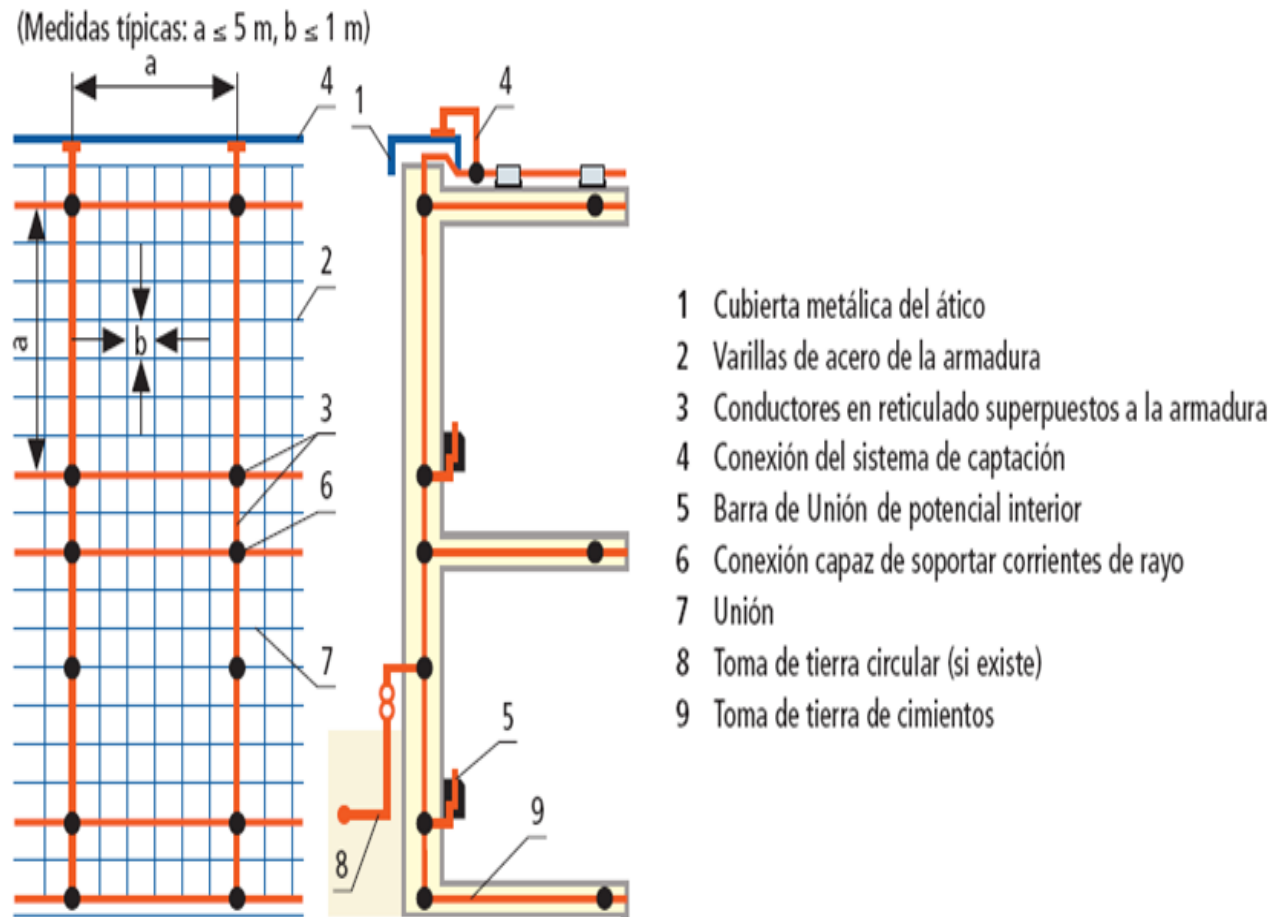


Figura 19 Conexión equipotencial del acero de la edificación al sistema de puesta de tierra y al SIPRA
 Fuente: (Dehn, Manual protección de equipos eléctricos y electrónicos contra LEMP, 2009)

1 La configuración estrella E

Esta configuración consiste en interconectar todos los sistemas a un único barraje equipotencial mediante conductores debidamente aislados del sistema de puesta a tierra; todas las líneas deben correr paralelas para evitar lazos de inducción. Esta configuración exige áreas reducidas y un solo punto de entrada para todas las acometidas.³¹

³¹ Protección contra rayos, Horacio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 293

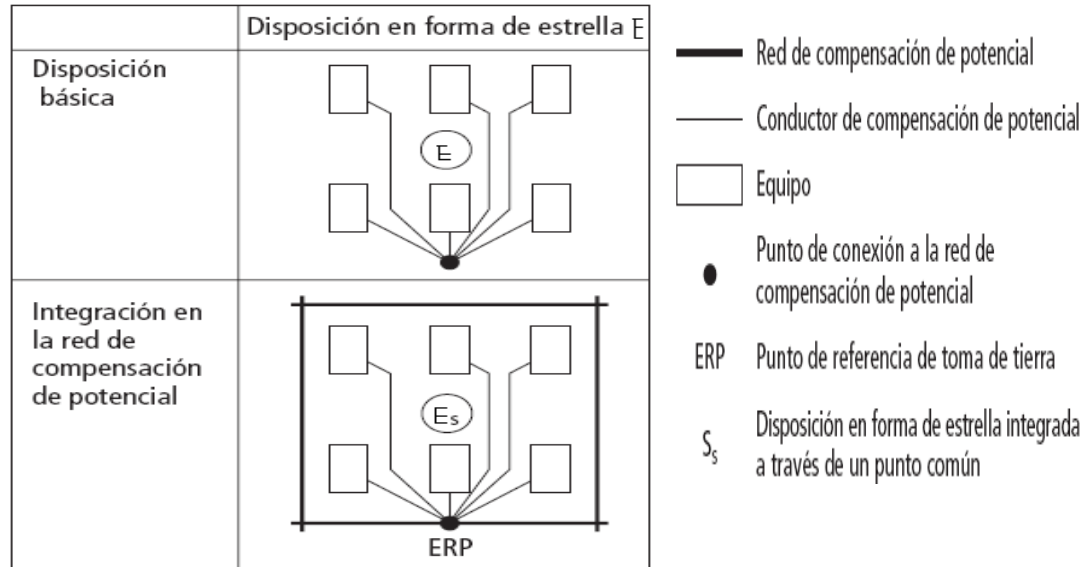


Figura 20 Configuración estrella E

Fuente: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC, 2008

2 La configuración enmallada M

Esta configuración permite el uso de dos o más barrajes equipotenciales interconectados entre si por un anillo equipotencial; también se usa para interconectar equipos o sistemas; las conexiones se integran al sistema de puesta a tierra en varios puntos. Esta configuración es ideal para grandes áreas y cuando existen diferentes entradas para las acometidas.

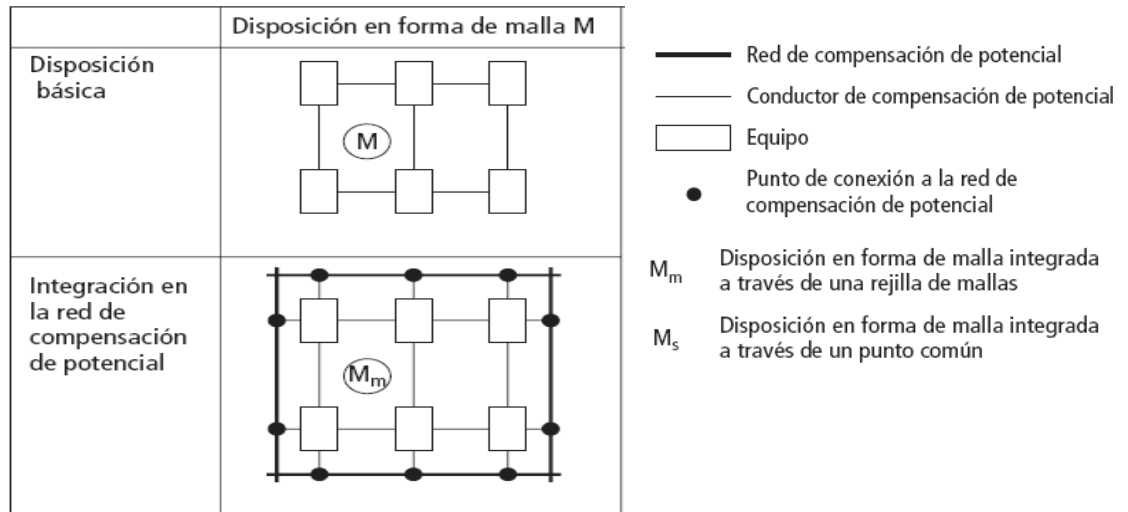


Figura 21 Configuración malla M

Fuente: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC, 2008



También se pueden utilizar combinaciones de estas dos configuraciones; combinarlas es útil cuando se tienen zonas que deben estar aisladas de SPT para mayor protección y minimización del riesgo. Por ejemplo, una zona de comunicaciones dentro de una empresa.³²

2.3 DISTANCIA DE SEPARACIÓN

Al realizar el diseño del sistema de protección externo y coordinarlo con las instalaciones internas aparece el concepto de distancia de separación; la distancia de separación es aquella a la cual la posibilidad de arco eléctrico entre el sistema de derivación del rayo y los sistemas internos como tuberías de agua o energía; sea nula.

Si la distancia de separación no es la necesaria, se necesita implementar una red equipotencial y dispositivos de protección contra sobretensiones dentro de la instalación.

La distancia de separación se calcula según la NTC 4552-3 de la siguiente forma:

$$S > k_i \frac{k_c}{k_m} l \quad (m)$$

En donde:

k_i depende del nivel de protección del sistema

Tabla 18 Valores del coeficiente k_i para aislamiento externo

Clase de SIPRA	k_i
I	0,08
II	0,06
III- IV	0,04

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008, pág. 26)

k_c depende del flujo de corriente por los conductores bajantes y sus valores se pueden ver en la tabla 15.

³² Protección contra rayos, Horacio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 294.



k_m depende del aislamiento de las partes

Tabla 19 Valores del coeficiente k_m

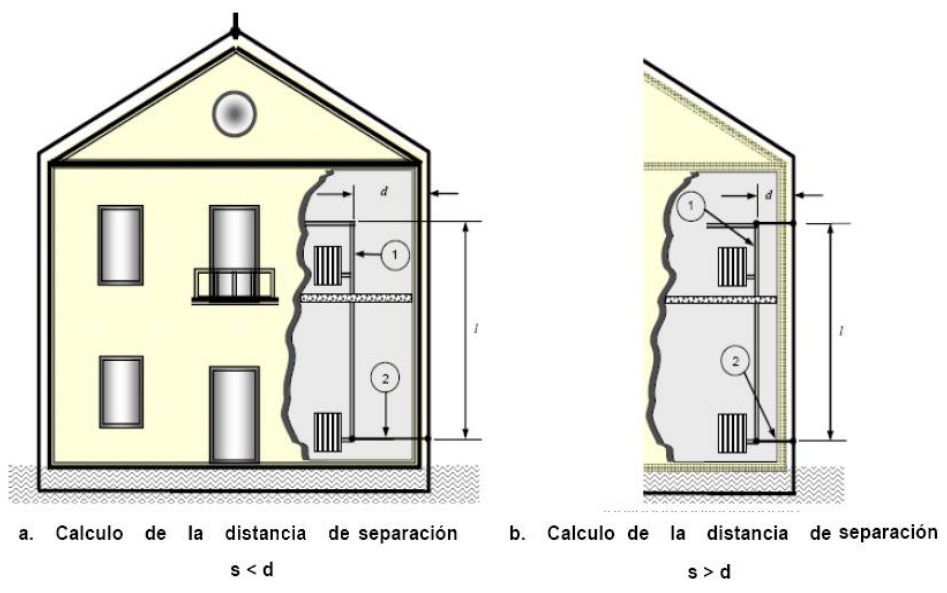
Material	k_m
Aire	1
Concreto	0,5

Nota: cuando hay más de un material aislante en serie se recomienda el uso del k_m más bajo.
 Nota: el uso de otros materiales aislantes esta bajo consideración

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008, pág. 27)

l es la longitud en metros a lo largo del elemento captador o el conductor bajante, medido desde el punto de distancia de separación bajo consideración o unión equipotencial más cercana.

En la figura 22 se observa la forma correcta de medir la longitud l y la distancia d , que corresponde a la distancia real de separación entre el bajante y la tubería. Si la distancia de separación s no puede ser mantenida a lo largo de la trayectoria del bajante se deben realizar varias uniones equipotenciales; la unión se realiza en el punto más lejano del punto de referencia. .



- 1) tubería metálica
- 2) Unión equipotencial
- d Distancia entre la bajante y la instalación metálica dentro del edificio
- l Longitud para la evaluación de la distancia de separación s

Figura 22 Distancia de separación s
Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-3, 2008, pág. 123)



3 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES DPS

3.1 SOBRETENSIÓN

Una sobretensión es cualquier tensión; cuyo valor pico excede el valor pico de la tensión nominal de red. Su origen puede ser causado por:

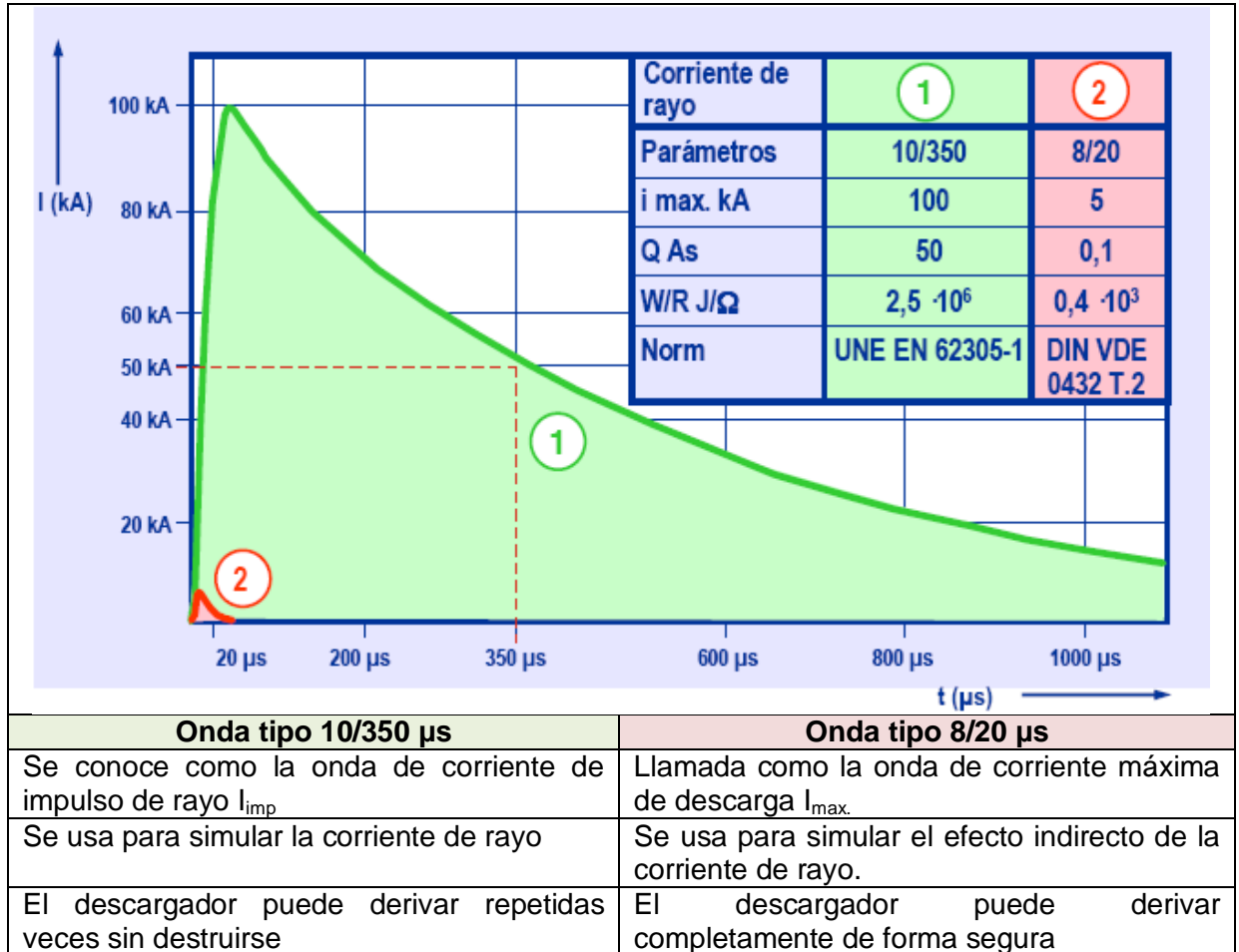
- Las descargas atmosféricas
- El funcionamiento o maniobra
- Transitorios de frecuencia industrial
- Descargas electrostáticas.

Las sobretensiones debidas a las descargas atmosféricas afectan a los sistemas eléctricos y electrónicos; son ondas de alta frecuencia que originan sobretensiones inducidas, sobretensiones conducidas y aumento en el potencial de tierra debido a la circulación de la corriente de rayo a través de la tierra.

Las ondas de sobretensiones están caracterizadas por el tiempo de frente de la onda (μs) y por el gradiente de subida ($\text{kV}/\mu\text{s}$). Se han estandarizado dos ondas tipo para sobretensiones por descargas atmosféricas que permiten realizar las pruebas de los equipos. En la tabla 20 se muestran las dos ondas tipo y sus características:



Tabla 20 Ondas tipo para sobretensiones atmosféricas



3.2 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES DPS; DEFINICIÓN.

Las pérdidas tanto humanas como materiales en las estructuras industriales, comerciales y residenciales que se han venido presentando por las descargas de rayo en los últimos tiempos, además de los fenómenos que estas descargas traen consigo como las sobretensiones y efectos electromagnéticos, han hecho que el ser humano diseñe dispositivos de protección para mitigar estos efectos.

A medida que la tecnología que se usa dentro y fuera de las estructuras mejora, los dispositivos de protección contra sobretensiones evolucionan o son actualizados de acuerdo a los equipos que se requieren proteger, dando prioridad a la sensibilidad de los elementos; y a los efectos que tienen sobre los usuarios,



por ejemplo, los equipos de transmisión de datos que se utilizan en las comunicaciones, y equipos utilizados en oficinas como los dispositivos de computo, además de las máquinas de fuerza como ascensores o motores que se utilizan en la industria y en otro tipo de actividades.

Los DPS son dispositivos que buscan disminuir los fenómenos del rayo en su totalidad, mitigando los efectos electromagnéticos y limitando las sobretensiones. Estos dispositivos contienen al menos un componente no lineal, y su función primordial es proteger los equipos e instalaciones contra las sobretensiones y ayudan a establecer un equipotencialización en las conexiones.

Según la norma NTC 4552-1 el dispositivo de protección contra sobretensiones es un dispositivo que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias, y dispersa las sobrecorrientes transitorias.

Los DPS deben tener en cuenta un parámetro que se considera fundamental en su diseño y selección; el concepto de transitorio, según la norma NTC 4552-2 transitorio es un cambio en las condiciones de energía de un sistema entre dos estados estables, de corta duración comparado con la escala de tiempo de interés, que se manifiesta como sobretensión o sobrecorriente.

El transitorio es uno de los efectos que más incide en el daño presentado en los equipos, como lo son el transitorio de origen externo y el transitorio de origen interno.

- Origen externo

Están relacionados con las descargas atmosféricas y dependen implícitamente de las descargas por kilometro cuadrado año que están ligadas al nivel ceráunico de la zona geográfica donde se instalan.

- Origen interno

Están relacionados con las sobretensiones de maniobra y conmutación.

Estos parámetros hacen que se presenten ciertos tipos de DPS estandarizados bajo los diferentes efectos que causan el origen del transitorio con la descarga atmosférica, de acuerdo con esto la norma NTC 4552-1 define dos tipos de DPS:

- ***Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias del tipo de conmutación.***

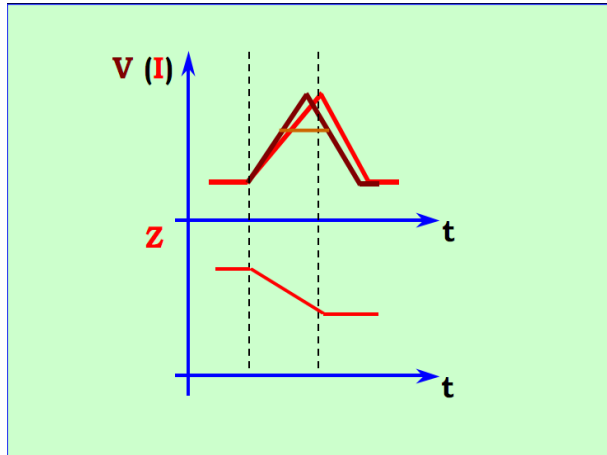
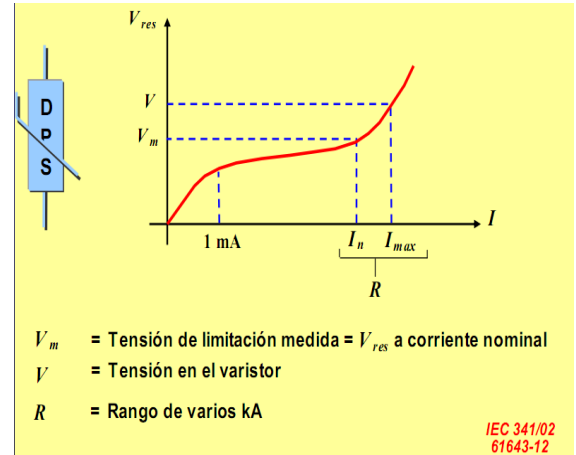


Figura 25 Dispositivos de protección contra sobretensiones tipo limitación de tensión



V_m = Tensión de limitación medida = V_{res} a corriente nominal
 V = Tensión en el varistor
 R = Rango de varios kA

IEC 341/02
 61643-12

Figura 26 Funcionamiento de un DPS varistores

Fuente: CONFERENCIA RAYOS VIVIR PARA ADMIRARLOS (2007: Lima). Casas Ospina, Favio. Memorias de la Conferencia Rayos Vivir para Admirarlos. Lima: Segelectrica, 2007

3.3 OPERACIÓN DE UN DPS

En la actualidad los DPS son utilizados en un gran número de procesos los cuales dependen de las actividades que se desarrollen, ya sean en grandes industrias o solo en locaciones residenciales, esto ha hecho que los DPS varíen sus componentes de diseño y desarrollo tecnológico, cambiando así su forma de operarlo.

La operación de un DPS también está relacionada con el nivel de protección al cual va a ser sometido y su diferente zona de protección, ya que, estos parámetros hacen que la escogencia del DPS sea más rigurosa y compleja, porque cada uno de ellos tendría en cuenta que equipos y dispositivos se van a proteger, la intensidad de descargas atmosféricas a la cual van a ser expuestos y la capacidad frente a los efectos primarios y secundarios del rayo.

Al tener presente estos puntos de consideración es posible encontrar ciertas similitudes de operación, claro está, de una forma muy general y fácil de observar, la operación podría basarse en el comportamiento de un DPS mientras este se encuentra en uso y como responden sus componentes frente a un sistema de protección cuando todo es operado normalmente o en condiciones de riesgo.

Teniendo en cuenta esto se podría afirmar que la forma en que opera un DPS está relacionado con tres parámetros en general, que se deben tener en cuenta cuando se diseña y se utiliza un sistema de protección contra rayos:



- Un DPS actúa como un interruptor controlado por tensión.
- En estado normal el DPS es transparente a la instalación.
- Si la tensión es mayor que la máxima nominal, el DPS se comporta como una baja impedancia hacia tierra.³³

Ahora conociendo estos tres parámetros, es fácil ver que este dispositivo es independiente de la instalación a proteger y del sistema de puesta a tierra que se utilice en la estructura la cual se protege. En la figura 27 se observa la operación general de un DPS:

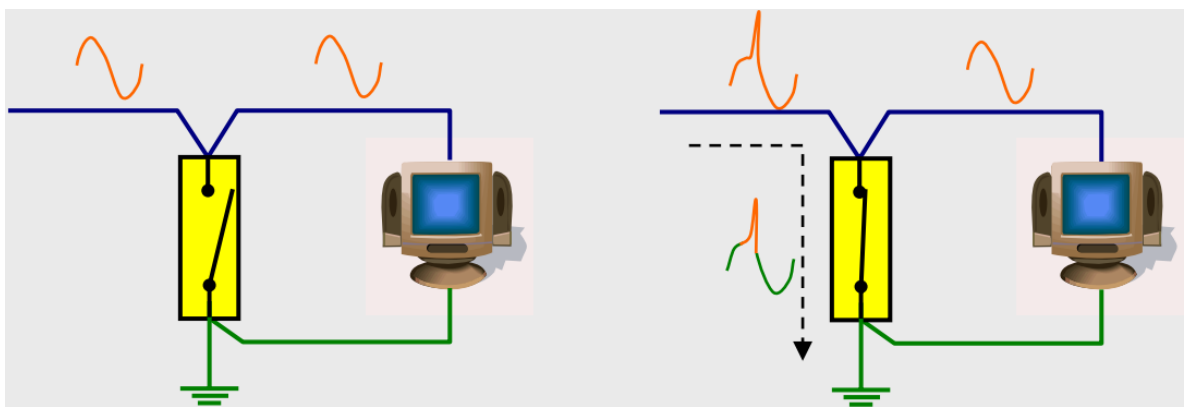


Figura 27 Operación general de un DPS

Fuente: CONFERENCIA RAYOS VIVIR PARA ADMIRARLOS (2007: Lima). Casas Ospina, Favio. Memorias de la Conferencia Rayos Vivir para Admirarlos. Lima: Segelectrica, 2007

3.4 DISPOSITIVOS QUE NO SON CONSIDERADOS DPS

Existen dispositivos que se confunden en la jerga popular con los DPS; entonces surge la pregunta ¿Qué no es un DPS?³⁴

- **Un DPS no es un interruptor**, es decir, su función no es abrir y cerrar el circuito cuando se produce una sobrecorriente; por otra parte cuando se instala un interruptor con protección diferencial (GFCI) no se está implementando un DPS.
- **Un DPS no es un fusible**, un fusible es un dispositivo de protección contra sobrecorrientes que se funde y abre el circuito cuando pasa por él una sobrecorriente.

³³ CONFERENCIA RAYOS VIVIR PARA ADMIRARLOS (2007: Lima). Casas Ospina, Favio. Memorias de la Conferencia Rayos Vivir para Admirarlos. Lima: Segelectrica, 2007

³⁴ Las definiciones que se encuentran a continuación son obtenidas de la norma NTC 2050



- **Un DPS no es un limitador de corriente;** porque su función no es interrumpir una corriente antes de que alcance su valor total disponible evitándose que se produzcan daños adicionales a los equipos que está protegiendo.
- **Un DPS no es un seccionador;** es decir, un DPS no busca desconectar sin carga los circuitos o equipos de su fuente alimentación.
- **Un DPS no es un pararrayos;** el pararrayos es un dispositivo cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando para llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a construcciones o personas.

En conclusión los DPS no protegen la instalación ante otros fenómenos diferentes de las sobretensiones transitorias, por ejemplo, no actúan ante sobretensiones permanentes, armónicas, factor de potencia entre otros. Los DPS no buscan desconectar el sistema y aislarlo.

3.5 TECNOLOGÍAS USADAS EN DPS

Las tecnologías usadas en la fabricación de DPS han evolucionado a través del tiempo desde el explosor común al uso de diodos de silicio. Ahora se revisarán las características de las tecnologías disponibles más usadas, se describirá su operación, sus ventajas y desventajas. Sin embargo, todas las tecnologías buscan mantener el nivel de aislamiento a un estado de tensión aceptable y entrarán en funcionamiento cuando se sobrepase este nivel. Las diferencias van encaminadas hacia la eficiencia, vida útil y compatibilidad electromagnética.

En tecnologías de DPS se ofrecen las siguientes alternativas:

- **DPS vía chispas³⁵:** un DPS vía chispas es de tipo conmutación de tensión; su principio de operación es presentar al momento de una sobretensión una impedancia a tierra baja que asegura una vía rápida de descarga. Básicamente, este DPS consiste en dos electrodos opuestos a determinada distancia en una caja aislada que establecen una conexión equipotencial conductiva temporal.

Los DPS vías chispas pueden ser encontrados en dos modalidades:

- **Vía chispas abierto:** los DPS vía chispas abiertos poseen gran capacidad de descarga de corriente de impulso de rayo ($I_{imp}=50 \text{ kA } 10/350 \text{ } \mu\text{s}$) y

³⁵ (Miniguía de sobretensión, 2007, pág. 12)

corrientes residuales auto-extinguibles elevadas; sin embargo, generan un plasma entre los electrodos al momento de ser operados, este fenómeno limita la instalación de el DPS.

- **Vía chispas cerrado:** la vía chispa cerrada soluciona la formación de plasma entre electrodos; las corrientes de descarga de rayo son muy altas ($i_{imp} > 100$ kA), pero sacrifica la capacidad de corriente residual auto-extinguible del DPS reduciéndola a nivel muy bajos.

Las características del DPS vía chispas están determinadas por el material, la forma y la distancia de separación entre electrodos, por su alta capacidad de descarga son usados principalmente como DPS clase I³⁶ y en la transición entre las zonas de protección ZPR0 y ZPR1.

En la figura 28 se observa un ejemplo de un DPS vía chispas y su símbolo:



Figura 28 DPS vía chispas

Fuente: (www.interempresas.net/Construccion/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=39480)

- **DPS tubo de descarga de gas:** el DPS tubo de descarga de gas es de tipo conmutación de tensión; se caracterizan por comportarse en estado de reposo como una alta impedancia y pueden tener pequeños efectos capacitivos debido a su estructura. Generalmente se realizan como un bastidor cilíndrico cerrado en sus extremos por electrodos metálicos y se llena con una mezcla de gas inerte a baja presión. Sus principales ventajas es el corto tiempo de respuesta y la alta capacidad de descarga de corriente de rayo ($i_{imp} = 100$ kA, $10/350$ μ s). Su desventaja que la corriente residual auto-extinguible es muy baja. Se caracterizan por su larga vida y la estabilidad de su comportamiento.

³⁶ Ver literal 3.6

En la figura 29 se observa un ejemplo de los DPS tubo de descarga de gas y su símbolo circuital:



SÍMBOLO



**Protectores de sobretensiones tipo 2
de descarga de gas de disparo
rápido. NexTek**

Figura 29 DPS tubo de descarga de gas

Fuente: (www.directindustry.es/prod/nextek/protector-de-sobretension-tipo-2-de-descarga-de-gas-de-disparo-rapido-35105-215063.htm)

- **DPS varistor de óxido metálico (MOV)³⁷:** los MOV o varistores son DPS limitadores de tensión, son por definición una resistencia no lineal dependiente de la tensión. Su comportamiento esencial es la disminución de la resistencia a medida que la tensión aumenta.

Sus ventajas son:

- La resistencia ($>1 \text{ M}\Omega$) cae en unos cuantos nanosegundos siendo de respuesta rápida,
- Poseen alta capacidad de descarga
- Amplia gama de voltajes - desde 14 V a 550 V (rms). Esto permite una selección fácil del componente correcto para una aplicación específica.

³⁷ MINIGUÍA DE SOBRETENSIÓN, Álava: ZIGOR, 2007

- Alta capacidad de absorción de energía respecto a las dimensiones del componente y pueden ser usados sin restricciones en todos los ambientes.

Sus desventajas son:

- Los MOV siempre están en funcionamiento, por lo tanto, presenta una pequeña corriente de fuga que acelera el desgaste del dispositivo; este comportamiento puede ocasionar el daño total del dispositivo o interferencia con equipos muy sensible.
- Su coordinación es más compleja
- A altas frecuencias se comportan como una capacitancia que puede interferir en los procesos de transmisión de datos o control.

Los MOV son usados comúnmente como descargadores de onda 8/20 μ s, porque a onda 10/350 μ s pueden fallar en la operación y llegar a sobrecargarse hasta destruirse. Sin embargo, si existe una buena coordinación los MOV son una buena opción por su alto nivel de descarga.

En la figura 30 se observa un ejemplo de DPS MOV y su símbolo:

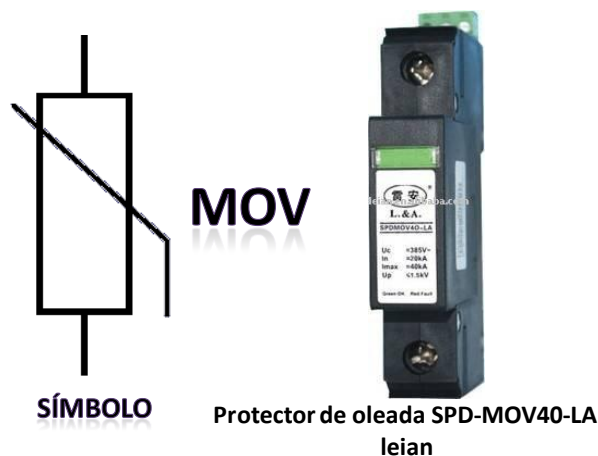


Figura 30 DPS varistor de oxido metálico MOV
Fuente: www.leiam.com

- **DPS diodos supresores o limitadores³⁸**: los DPS de diodos supresores de sobretensiones son básicamente diodos zener de silicio, su capacidad de corriente de descarga es baja; por lo que son usados como protección fina de elementos electrónicos sensible. Sus principales ventajas son:
 - Alta velocidad de respuesta (5 ns)
 - No presentan corriente de fuga que puedan interferir con los componentes electrónicos sensibles
 - Larga vida
 - Su respuesta no está afectada por rápidas caídas de la onda de tensión de rayo.

A continuación se encuentra un ejemplo de DPS con diodos supresores y su símbolo:

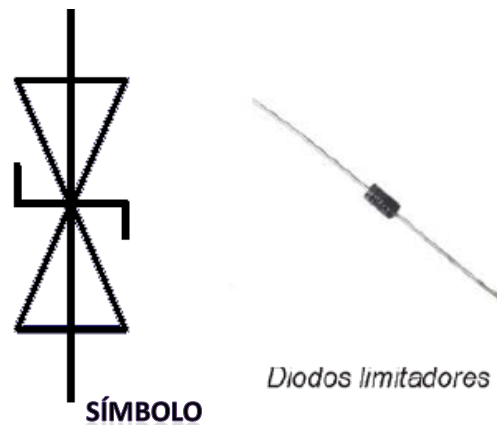


Figura 31 DPS con diodos supresores
Fuente: (Miniguía de sobretensión, 2007)

Actualmente la fabricación de DPS busca combinar las características de cada una de las tecnologías para mejora los tiempos de respuesta y disminuir las deficiencias; la más común de estas combinaciones es el vía chispas/varistor, que busca incrementar la velocidad de respuesta y la capacidad de descarga, anulando el efecto de las corrientes de fuga propias de los MOV. Por otra parte esta combinación garantiza el funcionamiento del MOV y facilita la coordinación de aislamiento. Otras combinaciones como tubo de gas/ diodos supresores también son usadas.

³⁸ Ibid.

Las tecnologías de DPS seguirán avanzando; sin embargo, la eficacia de la protección no depende de la tecnología sino de una correcta selección y coordinación energética.

3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS DPS

Los DPS se pueden clasificar por diversas características, ya sea por su construcción, ubicación, accesibilidad entre otras. La norma NTC 4552 se refiere a los DPS por su operación como dispositivos de protección tipo conmutación de tensión o tipo limitador de tensión pero esta es solo una división y está asociada a la tecnología usada por el DPS; sin embargo, la IEC 61643-1 en la cual está basada la norma colombiana y que es usada por los fabricantes de DPS, clasifica los DPS en:

- **Clase I**



Figura 32 DPS clase I, descargador de corrientes de rayo para tensiones nominales de 400 y 690 V
Fuente: Catalogo Dehn “Líneas de Energía” pág. 27

Protección basta. Son descargadores de corrientes de rayo destinados a la protección frente a corrientes de rayo con especificación de onda 10/350 μ s y corriente de impulso de rayo kA_{imp} . Son aquellos que se instalan como protección primaria en la cabecera de la instalación contra sobretensiones externas directas o cercanas a la instalación. Punto de entrada entre el transformador y el primer medio de desconexión (en tableros de distribución principales a la salida del transformador). La figura 32 muestra un ejemplo de los descargadores clase I



Se prueban por medio de 20 sobretensiones, de las cuales 15 son de la onda 8/20 μs de magnitud igual a la corriente nominal del equipo y 5 son de la onda 10/350 μs a magnitud igual a la corriente pico de rayo dimensionada para el equipo.

Para dimensionar este DPS se divide el 50% de la corriente pico del rayo entre el número de fases de la acometida, así:

$$DPS \text{ clase I } dim = \frac{0,5 I_{imp}}{n_f}$$

Donde,

I_{imp} : Es corriente la corriente de impulso de rayo depende del nivel de protección de la instalación como se muestra en la tabla 21:

Tabla 21 Corriente de impulso de rayo de acuerdo al NPR

Nivel de protección	Corriente de impulso de rayo I_{imp} .
Nivel I	200 kA 10/350 μs
Nivel II	150 kA 10/350 μs
Nivel III o Nivel IV	100 kA 10/350 μs

Fuente: (Dpto. Técnico Electropol, 2009, págs. 20-21)

n_f : número de fases de la acometida.

- **Clase II**

Protección media. Son descargadores de sobretensiones destinados a la protección de la instalación frente a sobretensiones transitorias (originadas por descargas de rayo indirectas, conmutaciones en alta, inducciones, etc.). son descargadores de sobretensiones con especificación de onda 8/20 μs y corriente nominal de descarga I_n en kA. Se instalan como protección de alimentadores de gran potencia y circuitos ramales cortos. (En tableros de distribución secundarios). La figura 33 muestra un ejemplo del descargador clase II.

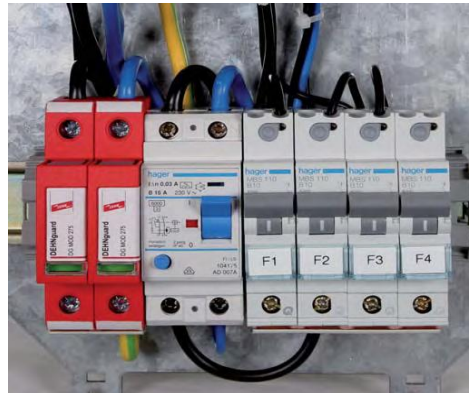


Figura 33 DPS clase II, descargador de sobretensiones unipolar enchufable
Fuente: Catalogo Dehn “Líneas de Energía” pág. 55

Se prueban con 15 sobretensiones 8/20 μ s de magnitud igual a la corriente nominal de descarga I_n en kA; después es sometido a 5 sobretensiones 8/20 μ s con el pico de corriente máxima I_{max} .

El descargador clase II es el protector que cubre mas tipos de riesgos porque hace frente a las sobretensiones más frecuentes sean por rayos o no; además, complementa al DPS clase I de ser necesario.

La mayoría de los descargadores comerciales clase II están contruidos de varistores de oxido de zinc; por lo anterior se debe contar con sistema de desconexión automática y de un programa de mantenimiento que se encargue de verificar el buen estado de la protección.

- **Clase III**

Protección fina. Son descargadores de sobretensiones para protección específica de equipos finales o grupos de ellos de baja tensión contra sobretensiones de menor magnitud. Se instalan lo más cerca posible del equipo a proteger, generalmente en la zona de enchufe.

La protección Clase III es requerida en aquellas instalaciones en las que, entre el punto donde se instala el descargador de protección media y el consumidor final, existen distancias de cables en las que pueden inducirse sobretensiones y que el equipo final merezca una protección especial debido a su costo, a su sensibilidad a estos problemas, la necesidad de continuidad en el servicio, pérdida de información etc. La figura 34 muestra un ejemplo del descargador clase III.



Figura 34 DPS clase III, descargador de sobretensiones
Fuente: Catalogo Dehn "Líneas de Energía" pág. 55

Se prueba con corrientes de choque con forma de onda de 8/20 μ s.

En la grafica 35 se aprecia la ubicación de los DPS de acuerdo a su clasificación y los tipos de onda con los que se prueban:

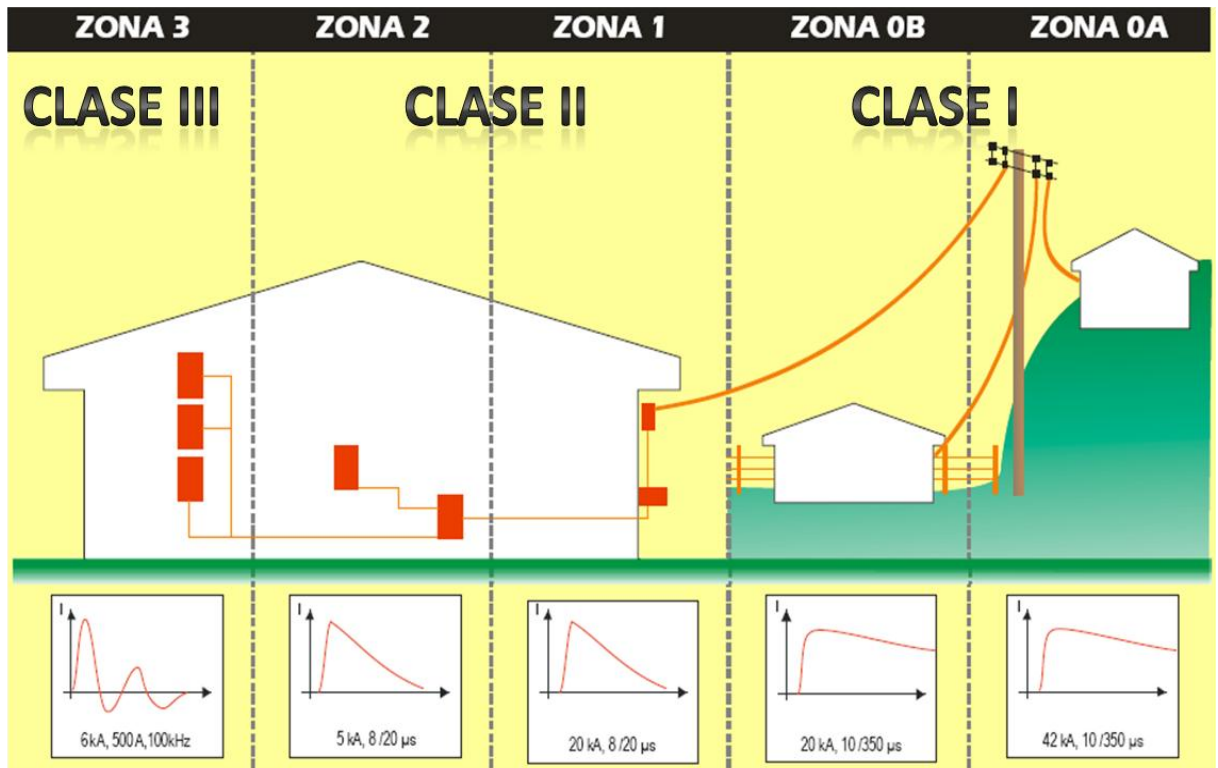


Figura 35 Ubicación de los DPS de acuerdo a su clasificación
Fuente: CONFERENCIA RAYOS VIVIR PARA ADMIRARLOS (2007: Lima). Casas Ospina, Favio. Memorias de la Conferencia Rayos Vivir para Admirarlos. Lima: Segelectrica, 2007



3.7 COORDINACIÓN DE DPS³⁹

La protección contra rayos y sobretensiones tiene como objetivo proteger la vida de los usuarios, sus actividades, las instalaciones y equipos. Desde la perspectiva de la seguridad, los sistemas de protección deben ser coordinados energéticamente para proveer las máximas garantías y disminuir el riesgo de forma efectiva.

La coordinación energética tiene como premisa que los DPS no se instalan con el objeto de proteger solo una parte específica de la instalación o un tipo de usuario; por lo contrario, su objetivo es generar un régimen de protección multinivel que garantice la seguridad de todos sus usuarios y la instalación.

Ahora bien, la coordinación de los DPS busca la sincronización de todos los elementos, de tal manera que cada uno opere en el instante adecuado y de acuerdo con las necesidades proyectadas en su instalación; es decir, desde el DPS clase I, instalado para soportar las corrientes de impulso de rayo, hasta el DPS clase III, instalado para proteger los equipos de mayor sensibilidad, se necesita que cada uno mitigue la cantidad de energía de rayo para la cual fue dimensionado sin generar sobrecargas y sin destruirse. Una coordinación en dos o más etapas de DPS, se dimensiona de tal forma que toda la energía de perturbación se divida entre cada una dependiendo de su capacidad de descarga.

Una coordinación eficiente, debe considerar diferentes aspectos, como son:

- Distinción entre descargadores de rayo y de sobretensiones.
- Las características de los DPS
- Las características del equipo a proteger

3.8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SE REQUIEREN PARA LA SELECCIÓN DE UN DPS

Para seleccionar un DPS de forma correcta se deben conocer ciertos parámetros que garantizan la óptima operación de acuerdo a las necesidades a cubrir; por ejemplo, si el DPS debe soportar la corriente de impulso de rayo,

³⁹ MANUAL DE COORDINACIÓN ENERGÉTICA ENTRE DESCARGADORES, Madrid: Dehn + Sohne, 2010



los parámetros I_{imp} y la tensión nominal U_N son los de mayor relevancia al momento de la selección.

A continuación se describen las características técnicas más importantes en la selección de un DPS:

Tabla 22 Características técnicas de selección de un DPS

Sigla	Nombre	Definición
U_N	Tensión nominal	Corresponde con la tensión nominal, eficaz, línea a neutro (tierra), del sistema que se desea proteger.
U_C	Tensión máxima de servicio	Es el valor máximo de tensión r.m.s. o tensión d.c. que puede ser aplicado continuamente entre los terminales de un DPS durante operación. Es la máxima tensión sobre un DPS en el estado no conductivo, el valor U_C es igual a la tensión nominal del DPS.
U_W	Tensión nominal soportable al impulso	Es la capacidad de aislamiento de un dispositivo o equipo ante un impulso de tensión. Este es el nivel de inmunidad de dispositivo o equipo.
U_{res}	Tensión residual	Es el valor pico de tensión que aparece entre los terminales de un DPS debido al paso de una corriente de descarga
U_T	Sobretensión temporal	Máximo valor de sobretensión r.m.s. o d.c. que el DPS puede soportar y que excede la U_C para un tiempo de duración específico.
U_P	Nivel de protección de tensión	Este parámetro caracteriza el funcionamiento del DPS limitando la tensión a través de sus terminales. Este valor debe ser mayor que el más alto valor de la tensión limitante medida en la instalación a proteger. Es el máximo valor instantáneo de un dispositivo o equipo conectado después de un DPS. El nivel de protección determina el lugar de instalación del aparato de protección en redes de energía.

TOV	Características temporales de sobretensión	Es el comportamiento de un DPS cuando está sometido a una sobretensión temporal para un tiempo específico. Se puede originar por fallas en redes de media y baja tensión.
I_{imp}	Corriente de impulso de rayo	Es una curva de corriente de choque normalizada, con la forma de onda 10/350 μ s. Esta corriente, con sus parámetros reproduce los esfuerzos propios de las corrientes de rayos naturales. Los aparatos de descargadores de corrientes de rayo, deben ser capaces de derivar repetidas veces estas corrientes, sin resultar destruidos
I_{max}	Máxima corriente de descarga	Es el valor máximo de cresta de la corriente de choque 8/20 μ s, que el aparato puede derivar de forma totalmente segura.
I_n	Corriente nominal	Es la corriente de servicio máxima admisible, que puede ser conducida en forma permanente, a través de los bornes de conexión del equipo, para ello señalados
I_{sn}	Corriente nominal de descarga	Es el valor de cresta de la corriente nominal de choque, de forma 8/20 μ s, para la que está diseñado el aparato de protección contra sobretensiones
I_{PE}	Corriente residual	Corriente que fluye a través del terminal PE, cuando el DPS es energizado a la máxima tensión continua de operación (U_C).
I_C	Corriente de operación continua	Corriente que fluye a través de cada modo de protección del DPS cuando es energizado a la tensión máxima de operación continua U_C para cada modo.
	Grado de protección. Código IP	Es el rango de protección suministrado por una valla o cerca, contra ingreso de objetos extraños sólidos y contra ingreso de agua.
	Resistencia de cortocircuito	Máxima corriente potencial de cortocircuito que el DPS es capaz de soportar
θ	Rango de	Expresa el margen de temperatura en el que puede



	temperatura	funcionar un DPS.
t_a	Tiempo de respuesta	Es el tiempo que pasa hasta la desconexión automática de la fuente de alimentación en una falla del circuito eléctrico o del equipo a ser protegido. Es un valor de la aplicación específica que resulta de la intensidad de la corriente de falla que fluye y de las características de los dispositivos de protección.
f_G	Ancho de banda	Define el comportamiento de un DPS en función de la frecuencia. Es aquella frecuencia, que bajo determinadas condiciones de prueba, da lugar a una atenuación de intercalación, a_E , de 3 dB
	Capacidad de derivación	Este parámetro tiene una importancia definitiva cuando el DPS debe ser seleccionado según los peligros expuestos: descargada directa de rayo, descarga lejana, sobretensiones inducidas. Este valor es el más característico para determinar la capacidad de un DPS, indicando qué corriente de rayo de verificación, corriente de choque, corrientes de choque combinadas que puede derivar sin que su funcionamiento se vea limitado o impedido sustancialmente.

Fuente: (Libro: Protección contra rayos, 2008, págs. 396-400), (Seminario Protección contra sobretensiones transitoria en redes de baja tension, 2009)

3.9 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE DPS

A continuación se presenta una **guía básica** para la selección de un DPS:

- a. Identificar las zonas de protección contra rayos ZPR de la estructura a proteger.
- b. Definir la configuración del sistema de red; este paso es importante dado que el objeto principal de protección es el ser humano, por lo tanto, es necesario evitar que los componentes o partes de los mismos bajo tensión



entre en contacto con los usuarios. Esta característica depende de la situación de la toma de tierra de la fuente y de la situación de la toma a tierra de las carcasas de los equipos.

Se usan mínimo dos letras para denominar la red. La primera determina el estado de la tierra de la instalación y la segunda la situación de las carcasas de los equipos. Las demás letras determinan el estado del conductor neutro y el conductor de protección.

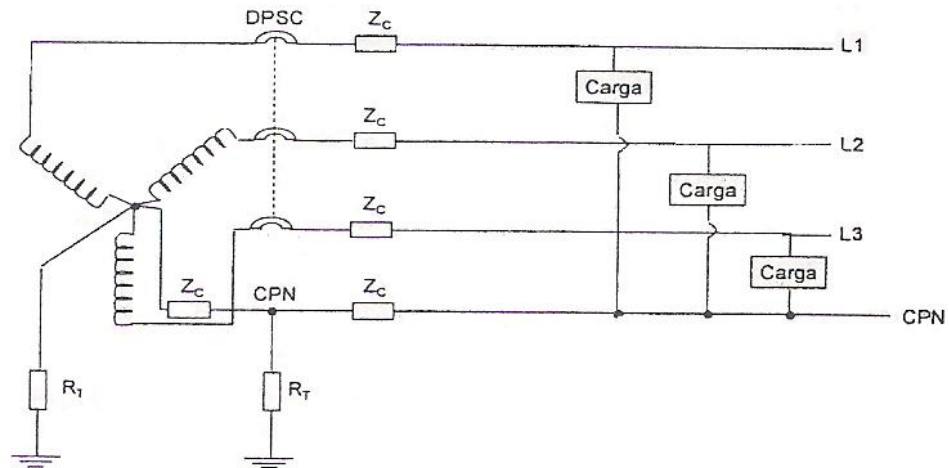
En el cuadro 23 se observan las letras usadas en cada ubicación:

Tabla 23 Letras usadas para identificar el sistema de red utilizado

Ubicación de la letra	Letra	Significado
Primera	T	Tierra directamente aterrizada
	I	Tierra conectada a través de una impedancia.
Segunda	T	La carcasa del equipo está directamente puesta a tierra, independientemente de una eventual toma de tierra de un punto de la alimentación de corriente.
	N	Está unida directamente con la toma de tierra de servicio
Tercera	S	El conductor neutro y el conductor de protección están separados uno de otro.
	C	El conductor neutro y el conductor de protección están combinados en un mismo conductor.

Fuente: (Dehn, Manual de protección contra rayos, capítulo 8, pág. 183)

De acuerdo a lo anterior en la figura 36 se muestra una red tipo TN-C en donde el conductor neutro y el conductor de protección son el mismo, es decir, el conductor neutro está conectado a los equipos y sus carcasas.



- Z_c : Impedancia del conductor
- R_T : Resistencia de puesta a tierra
- DPSC: Dispositivo de Protección contra sobrecorriente
- CPN: Conductor de Protección y Neutro

Figura 36 Ejemplo de un sistema TN-C

Fuente: Libro: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC, pág. 306

En las figura 37 y 38 se ilustra un sistema TN-C-S que es el exigido en las instalaciones colombianas; porque, de acuerdo con norma NTC 2050 está prohibido que el conductor neutro sea el mismo de protección de equipos. Por lo tanto, al interior de las edificaciones de uso final el conductor neutro y tierra se separan.

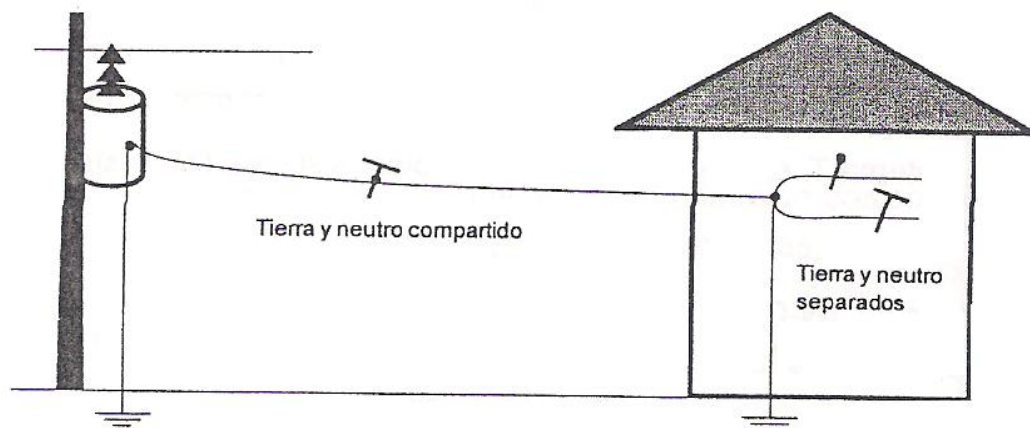


Figura 37 Sistema TN-C-S

Fuente: Libro: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC. pág.306

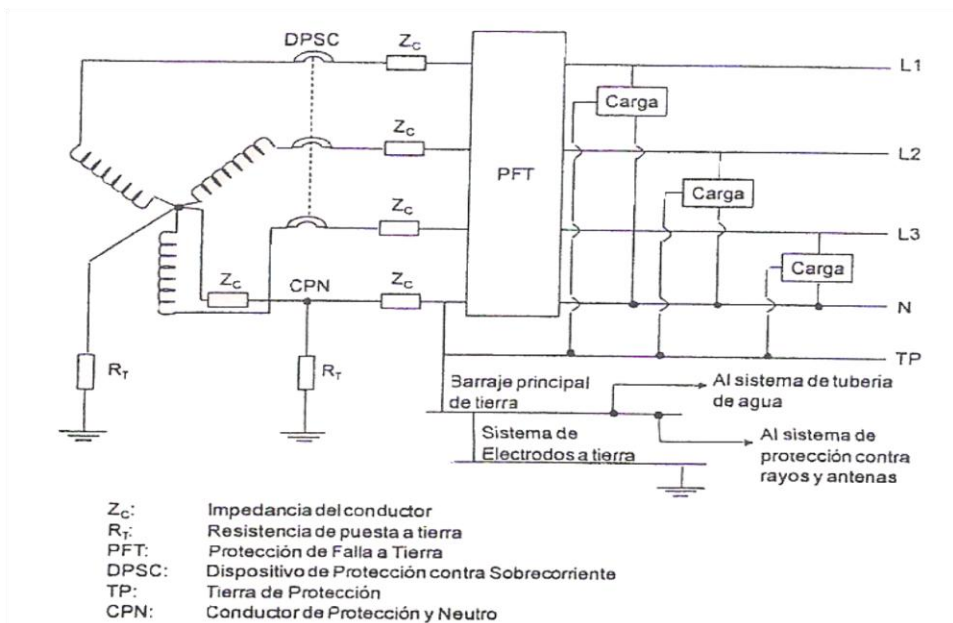


Figura 38 Sistema TN-C-S diagrama circuitual.

Fuente Libro: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC. pág.307

Las figuras 39 y 40 muestran un sistema IT donde no existe un sistema de puesta a tierra; es decir, todas las partes del sistema están aisladas de tierra. En estos sistemas las fallas a tierra son de carácter destructivo, porque pueden existir desbalances entre las fases.

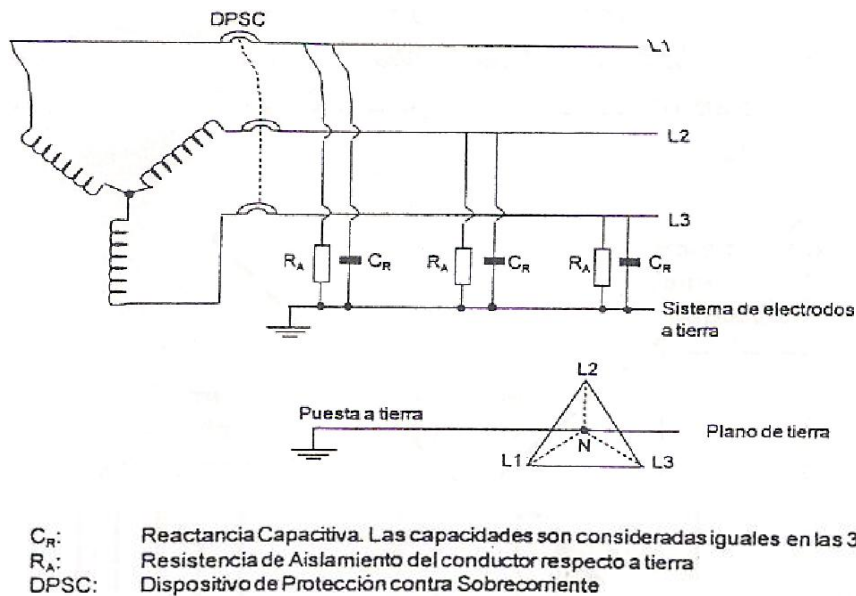


Figura 39 Tensiones a tierra en un sistema IT en condiciones normales

Fuente: Libro: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC. pág.307

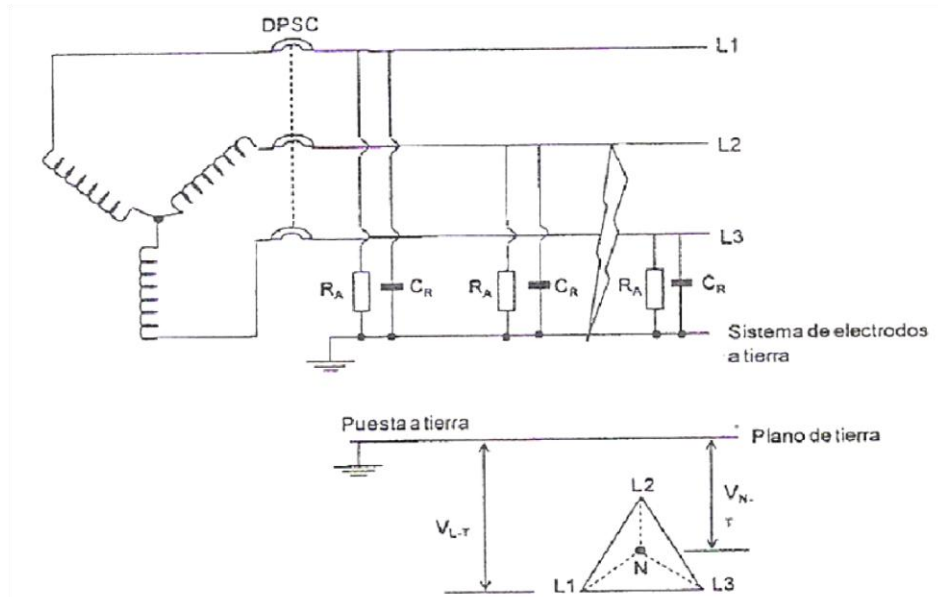


Figura 40 Tensiones a tierra en un sistema IT durante condiciones de falla
 Fuente: Libro: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC. pág.307

- c. Verificar las siguientes condiciones tensión/corriente propias de la zona en la cual se instalará el DPS:
- Tensión máxima de servicio, U_c . Después de establecer el sistema de red se define de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 24 Tensión máxima de servicio

Aparamenta a tierra	TT	TN-S	TN-C	IT
Valor de U_c en el modo común (protec. fase a tierra, protec. neutro a tierra)	$\geq 1,5 U_o$	$\geq 1,1 U_o$	$\geq 1,1 U_o$	$\geq 1,732U_o$
Valor de U_c en el modo diferencial (protección fase neutro)	$\geq 1,1 U_o$ 15 kA ¹	$\geq 1,1 U_o$ 30 -40 kA		$\geq 1,1 U_o$

U_o : tensión de red simple entre fase y neutro (230/240 V).

U_c : tensión de resistencia completa de funcionamiento permanente.

Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas, Schneider Electric, 2008. pág. 17

- Sobretensión temporal, U_T
- La corriente nominal. I_N
- La corriente de impulso de rayo. I_{imp} .
- La máxima corriente de descarga, I_{mas} .



- d. De acuerdo a la naturaleza de la instalación a proteger; la red de energía o la red de comunicaciones, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 25 Parámetros a tener en cuenta de acuerdo a la naturaleza de la red

Red de energía eléctrica	Redes de comunicación
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voltaje del sistema ▪ Voltaje de línea a tierra ▪ Voltajes máximos esperados en el punto de aplicación del DPS. ▪ Número de fases o conductores activos. ▪ Nivel de cortocircuito en el punto de aplicación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de interface. ▪ Voltaje del sistema. ▪ Voltaje máximo permitido del sistema. ▪ La corriente nominal del sistema. ▪ La relación con las señales (simétricas, asimétricas) ▪ La frecuencia (DC, BF, HF) ▪ El tipo de señal (analógica, digital) ▪ Tipo de montaje. ▪ Tipo de conector.

Fuente: (Artículo: Especificaciones deseables de un DPS, 2009)

- e. Seleccionar la distancia de protección; el DPS debe conectarse lo más cerca posible al equipo a proteger.
- f. Evaluar prospectiva de vida y modo de falla; para evaluar la prospectiva se deben revisar las pruebas a las que fue sometido el DPS de acuerdo a su clase y su resistencia al envejecimiento.
- g. Coordinar la interacción entre DPS y otros dispositivos; los DPS no deben causar interferencia con otros equipos; se revisa el nivel de inmunidad electromagnética de los equipos.
- h. Escoger el nivel de protección U_P ; tener el nivel de inmunidad del equipo a proteger y la tensión nominal del sistema
- i. Coordinar los DPS escogidos y otros DPS

Un ejemplo de selección de DPS siguiendo la anterior metodología se puede apreciar en el capítulo 4 sección 4.4



3.10 PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DE DPS

En la instalación de los DPS es en donde se presenta la mayor parte de las fallas; porque instalar un DPS depende de las características de la red y del lugar en donde va estar ubicado; además se deben evitar lazos, largas distancias que permitan la inducción de sobretensiones y un correcto dimensionamiento de los conductores de conexión.

La correcta instalación de un DPS depende no solo de la selección; también se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Localización del DPS⁴⁰:** los riesgos que se desean mitigar determinan además de la selección del DPS su ubicación; porque el dispositivo debe estar lo más cerca posible al equipo a proteger, de esta forma se asegura una protección efectiva. Por ejemplo, si se busca proteger la instalación contra impactos directos de rayo; el DPS clase I debe localizarse lo más cerca de la acometida de servicio y el tablero general de distribución.
- **Longitud de los conductores de conexión⁴¹:** los conductores de conexión del DPS no deben generar en los equipos a proteger sobretensiones por inducción u oscilaciones de tensión; de acuerdo a lo anterior la longitud los cables de conexión debe ser lo más corta posible, se recomienda que la longitud no sea mayor a 0,5 m. Los conductores deben tener la mínima sección transversal posible, en la tabla 26 se encuentra la sección transversal de los conductores de acuerdo a la clase de DPS:

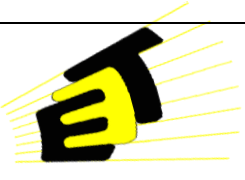
Tabla 26 Materiales y dimensiones para la conexión de DPS

Conductores de conexión para DPS	Material	Sección transversal mm ²
Clase I	Cu	5
Clase II		3
Clase III		1
Nota: otros materiales usados en vez del cobre deben tener una sección transversal equivalente		

Fuente: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC. pág. 410

⁴⁰ MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, Madrid: Dehn + Sohne, 2007

⁴¹ Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC.



- **Distancia de protección debido al fenómeno oscilatorio⁴²:** cuando las distancia de separación son muy largas se originan oscilación que incrementan las sobretensiones hasta el doble de su valor inicial, ocasionando fallas en los equipos por lo tanto se debe considera la distancia de protección debida a oscilaciones como la mayor distancia permisible del circuito.

A continuación se presentan los criterios de evaluación de la distancia de protección debido a las oscilaciones:

Tabla 27 Criterios de evaluación de la distancia de protección contra oscilaciones d_{po}

Criterio	Distancia de protección debido a oscilaciones d_{po}
<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de separación menor a 10 m • Nivel de protección es menor a la mitad de la capacidad de protección del equipo $U_p < \frac{U_w}{2}$	<p>La distancia de protección d_{po} puede ser despreciada</p>
Criterio	Distancia de protección debido a oscilaciones d_{po}
<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de separación es mayor 10 m • El nivel de protección mayor que la mitad de la capacidad de protección $U_p > \frac{U_w}{2}$	$d_{po} = \frac{[U_w - U_p]}{k} (m)$ <p>Donde, $k = 25 \text{ V/m}$</p>

Fuente: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC.

- **Distancia de protección de acuerdo con el fenómeno inductivo⁴³:** los rayos pueden inducir sobretensiones que se incrementan si los lazos de protección son demasiado extensos. Debido a estas circunstancias la distancia de protección contra inducciones, entre el DPS y el equipo, debe ser minimizada. Los criterios de evaluación son:

⁴² *Ibíd.*

⁴³ *Ibíd.*



- Si existen apantallamientos espaciales, según las ZPR o las líneas son apantalladas, la distancia de protección por inducciones es despreciable.
- Si no existen apantallamientos la distancia de protección d_{pi} se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$d_{pi} = \frac{[U_w - U_p]}{h} (m)$$

Donde:

$h = 300k_{S1}k_{S2}k_{S3}$; para impactos cercanos a la estructura

$h = 30000k_{S0}k_{S2}k_{S3}$; para impactos directos a la estructura

$k_{S1} = 0,12w$

$k_{S2} = 0,12w$

w es el ancho en metros de la cuadrícula del escudo espacial, o el ancho de la malla o de los conductores bajantes o la distancia entre las columnas en sistemas que utilizan la estructura de concreto reforzado como sistema natural de protección contra rayos

k_{S3} se escoge de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 28 Valores de k_{S3}

Tipo de cableado	k_{S3}
Cables sin pantalla-Sin precaución de evitar lazos en la ruta ¹	1
Cables sin pantalla- Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta ²	0,2
Cables sin pantalla- Con precaución de evitar lazos en la ruta ³	0,02



Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $5 < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,001
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,0002
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,0001
<p>1 Lazo de conductores formado por diferentes rutas a largo de edificaciones largas (lazo del orden de 50 m²)</p> <p>2 Lazo formado por conductores alojados en el mismo ducto con diferentes rutas en edificaciones pequeñas (lazo del orden de 10 m²)</p> <p>3 Lazo forma por conductores alojados en el mismo cable (lazo del orden de 0,5 m²)</p> <p>4 Cable con resistencia de pantalla R_s unida al barraje equipotencial en ambos extremos y equipo conectada al mismo barraje.</p> <p>Nota: para cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial; los valores de k_{S3} deben multiplicarse por 0,1.</p>	

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-2, 2008)

Después de asegurar que la ubicación y las distancias de protección son las adecuadas; se deben considerar la técnica de conexión acorde con el DPS.

Existen las siguientes técnicas de conexión:

- **Conexión en serie ó en V⁴⁴**

La conexión en serie o V se utiliza cuando el nivel de protección del equipo (U_p) coincide con el nivel de protección del DPS, y la capacidad térmica de los bornes de conexión es tal que soporta la corriente nominal de la instalación. Esta configuración garantiza que las longitudes de conexión son mínimas.

⁴⁴ Definición de Dehn



En la figura 41 se muestra la forma correcta e incorrecta de realizar la conexión serie o conexión V

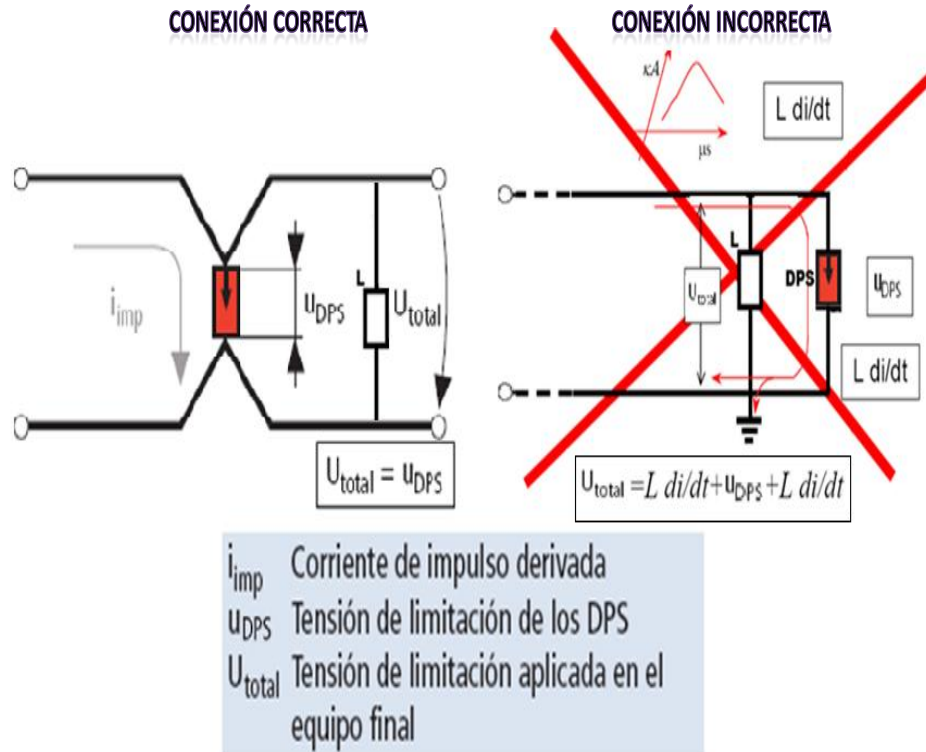


Figura 41 Conexión serie o conexión V

Fuente: (Dehn, Manual de protección contra rayos, capítulo 8), (Memorias conferencia " Rayos, vivir para admirarlos", 2007)

- **La conexión paralelo⁴⁵**

Un DPS se conecta en paralelo porque los bornes de conexión no son capaces de soportar la corriente nominal de servicio o porque no es viable su instalación, a causa del número de fusibles que deben instalarse como protección del equipo y del DPS.

⁴⁵ Definición de Dehn



En esta conexión es necesario tener especial cuidado con la longitud de los cables de conexión y se recomienda que no sea mayor a 0,5 m. En la figura 42 se observa la forma correcta de realizar la conexión en paralelo.

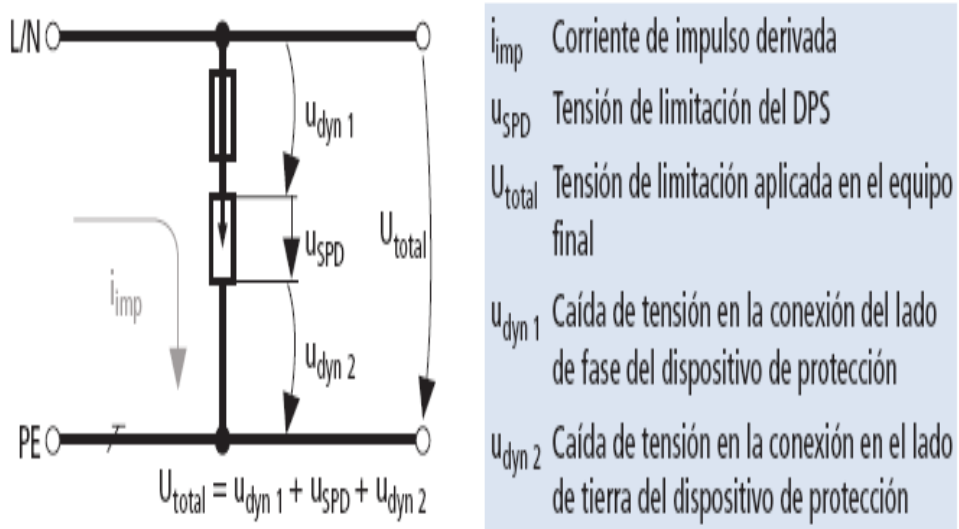
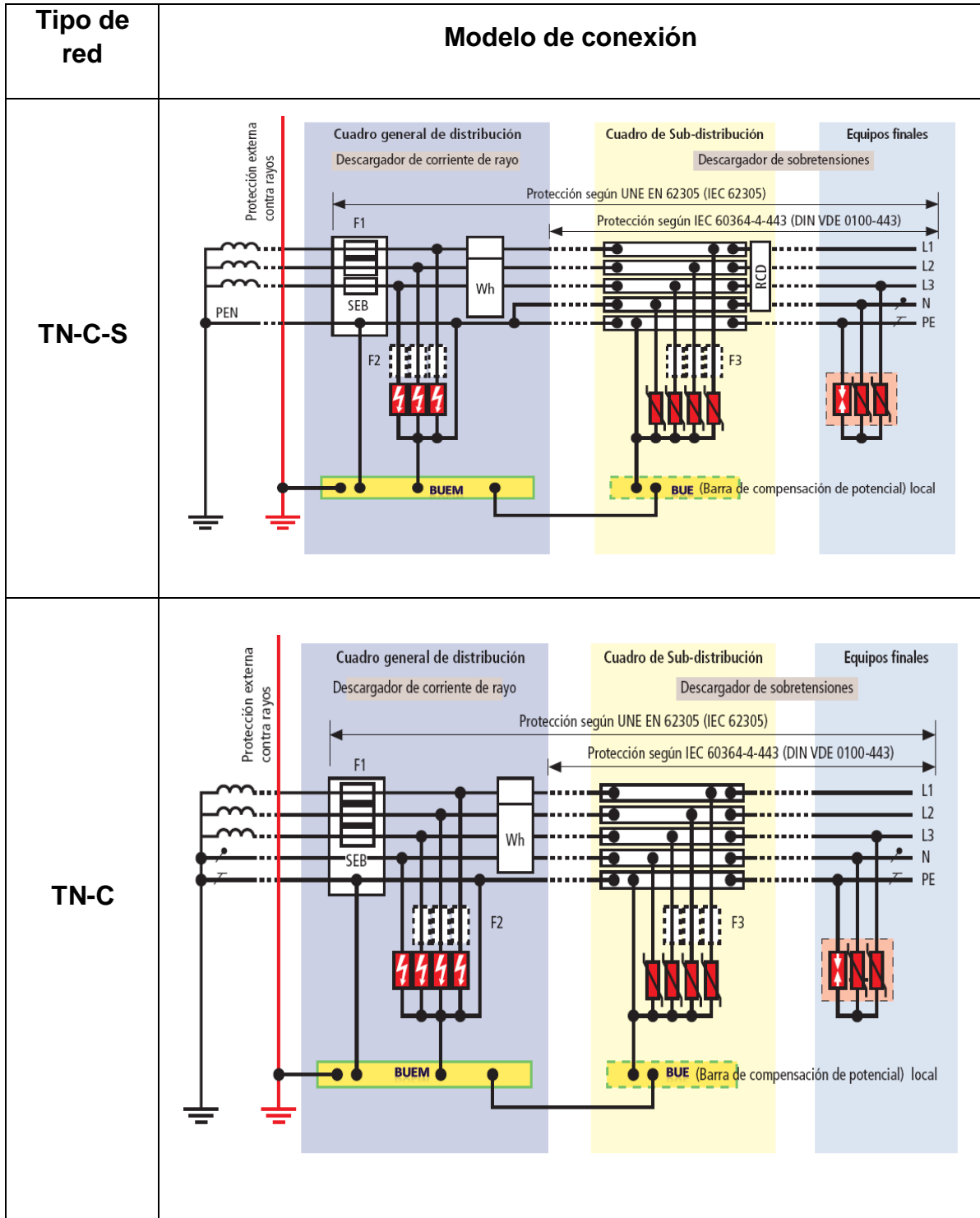


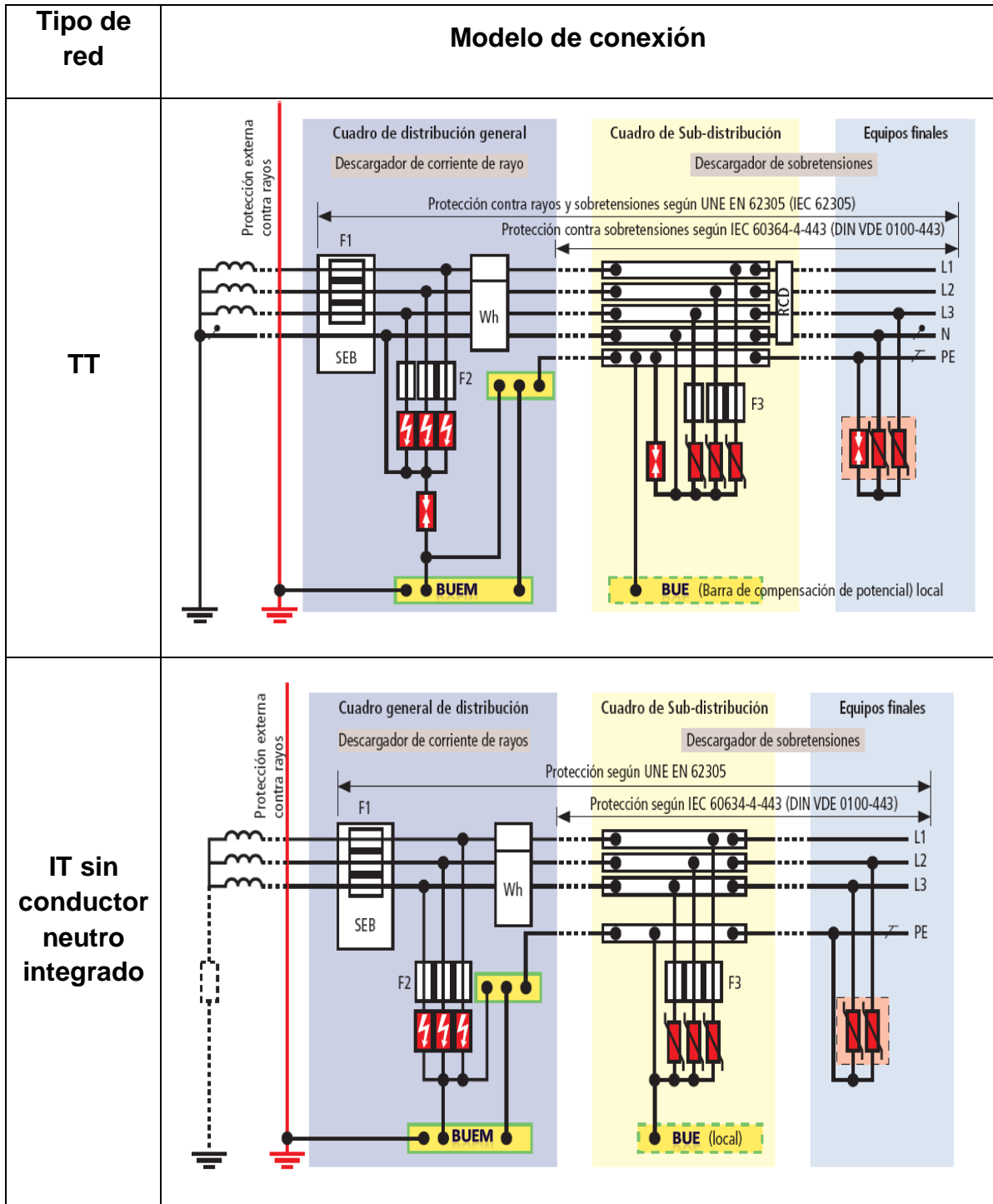
Figura 42 Conexión en paralelo de un DPS
 Fuente: (Dehn, Manual de protección contra rayos, capítulo 8)

La instalación de los DPS varía de acuerdo al tipo de red de distribución dispuesta en la edificación, en la tabla 29 aparecen modelos de conexión para cada tipo de red; teniendo en cuenta la zona de protección asociada y el equipo a proteger.



Tabla 29 Instalación de DPS dependiendo del tipo de red de distribución





Fuente: MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, Madrid: Dehn + Sohne, 2007 capítulo 8



3.11 PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN COORDINADA DE DPS⁴⁶

La coordinación energética de DPS actualmente se realiza por medio de una instalación en cascada; en la cual la primera etapa asume la corriente de impulso de rayo y las demás etapas asumen las descargas subsecuentes y de larga duración. Si se habla de energía a descargar se tiene en cuenta la corriente de impulso de rayo o la primera descarga de retorno; pero cuando se necesita proteger contra las descargas subsecuentes, lo importante es la pendiente de la onda porque condiciona el funcionamiento del DPS, es decir, el primer DPS (clase I) se activa para disipar la corriente parcial de rayo y los siguientes son diseñados para activarse gradualmente, por lo tanto, existe la posibilidad de que la onda de corriente de rayo no sea suficiente para poner en operación el dispositivo.

La instalación coordinada de DPS puede llevarse a cabo bajo uno de los siguientes principios:

- **Coordinación de la característica tensión/corriente (sin elementos de desacople):** si garantiza una correcta relación tensión/corriente entre los DPS no es necesario usar elementos de desacople y los dispositivos se activarán adecuadamente, es decir, si los DPS corresponde efectivamente a los niveles de protección de cada zona se activarán y no se producirán daños. Esta coordinación es efectiva cuando se realiza por medio de diodos supresores o la combinación de vía chispas/varistor.
- **Coordinación con elementos de desacople:** la coordinación basada en elementos de desacople busca garantizar la activación de los dispositivos cuando se presenta una sobretensión.

El elemento de desacople es una inductancia concentrada (bobina de desacople) o la inductancia propia de los conductores de conexión; su objetivo es generar una caída de tensión que garantice el reparto de energía.

Para los descargadores de sobretensiones de rayo más habituales son suficientes bobinas de desacoples con una inductancia mayor que μH asegurando una correcta coordinación energética y una extensión de la vida útil.

⁴⁶ MANUAL DE COORDINACIÓN ENERGÉTICA ENTRE DESCARGADORES, Madrid: Dehn + Sohne, 2010. Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC



Esta forma de coordinación no es efectiva cuando la forma de onda tiene un valor de pendiente bajo; en estos casos el elemento de desacople debe ser una resistencia. Las resistencias también se usan como elementos de desacople en los sistemas electrónicos sensibles que no soporten interferencia inductivas.

Este método es usado en las siguientes situaciones:

- **Coordinación con dos elementos de protección limitadores de tensión:** cuando se instalan dos o más MOV en cascada es necesario utilizar bobinas de desacople que aseguren que la energía disipada por cada DPS no supere su nivel soportable de energía. En la figura 43 se muestra la disposición del circuito de protección usando una bobinada de desacople.

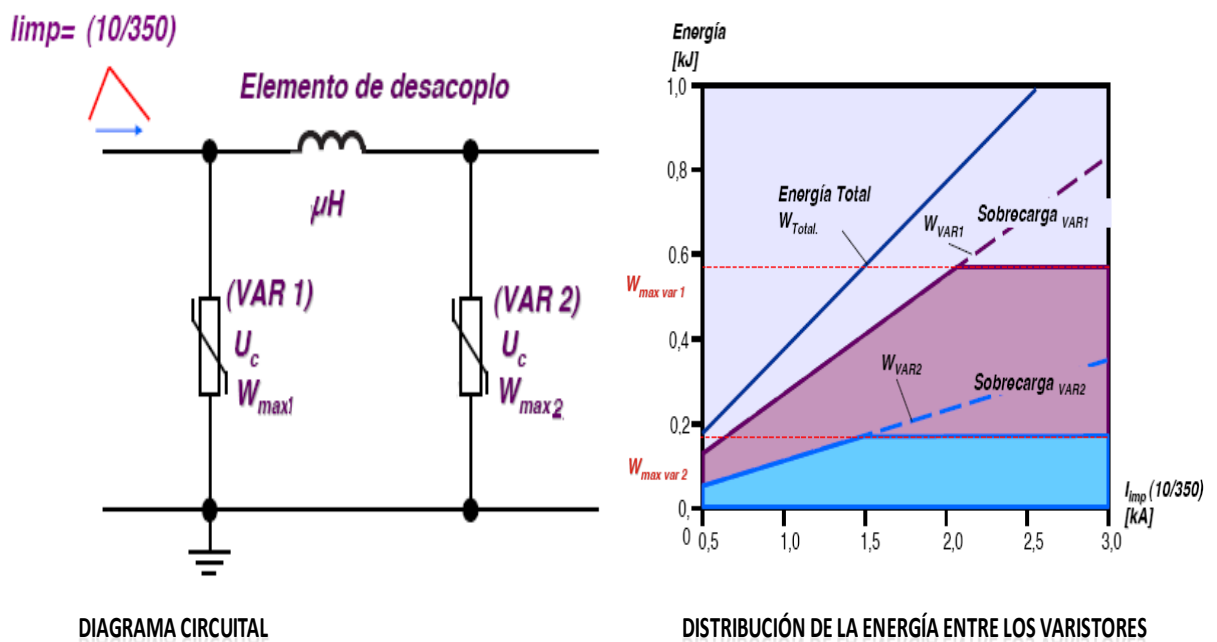
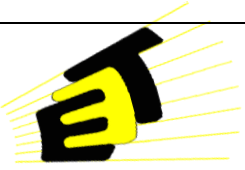


Figura 43 Coordinación de dos DPS limitadores de tensión
 Fuente: (Coordinación energética entre descargadores, 2010)

- **Coordinación entre un DPS accionado por tensión y un DPS limitador de tensión:** el circuito consiste en un primer DPS accionado por tensión, vía a chispas, una impedancia RL y un DPS limitador de tensión o MOV.



Su funcionamiento es el siguiente: si la tensión a través del vía chispas es suficientemente grade este conducirá y puenteará la corriente para que no circule por el MOV; después de accionar el vía chispas la energía restante se disipará en la resistencia y en el MOV.

En la figura 44 se muestra el diagrama circuital de esta instalación:

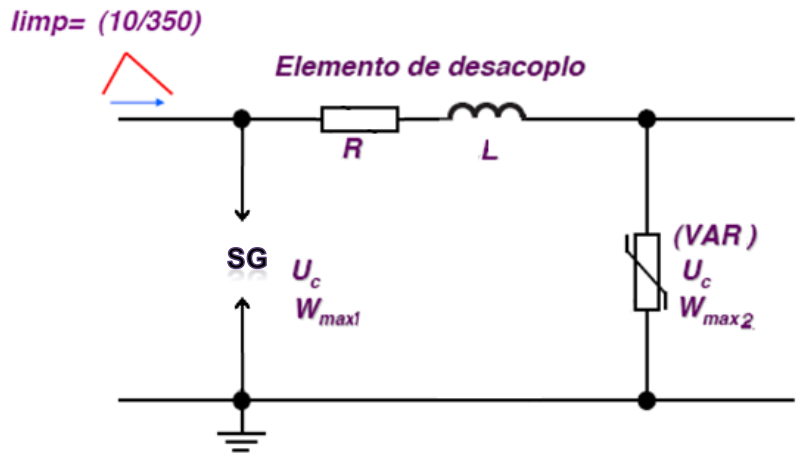


Figura 44 Coordinación de un DPS activado por tensión y un DPS limitador de tensión
 Fuente: Protección contra rayos, Torres Sánchez, Horacio, ICONTEC pág. 419

3.12 SÍNTESIS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA

Tabla 30 Síntesis del sistema de protección contra rayos SIPRA

Sistema Integral de Protección contra Rayos SIPRA		FUNCION QUE CUMPLE
COMPONENTE		
1	Evaluación del riesgo	Determina el nivel de protección NPR que se requiere aplicar al instalación para cumplir con los riesgos tolerables.
2	Sistema de protección externo (SPE)	Canalizar el rayo hasta el suelo de forma segura.
2.1	Terminales de captación	Interceptar el rayo.
2.2	Bajantes	Conducir el rayo, reducir el di/dt, atenuar efectos internos del campo magnético.

2.3	Puesta a tierra de protección contra rayos	Dispersar y disipar la corriente de rayo.
3	Sistema de protección interno (SPI)	Limitar sobrecorrientes y sobretensiones transitorias en el intervalo de la instalación.
3.1	Las zonas de protección	Definen diferentes áreas dentro de una estructura o sus alrededores con similares ambientes electromagnéticos con el propósito de implementar la protección más adecuada
3.2	Equipotencialización	Reducir la diferencia de potencial entre partes de la misma instalación, bajar la resistencia global, distribuir mejor las corrientes de falla, brindar confiabilidad y seguridad a la instalación
3.3	Distancia de seguridad "s"	Establecer la distancia mínima entre el sistema de bajantes y la instalación interna para evitar la producción de arco eléctrico
3.4	DPS	
3.4.1	Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias del tipo de conmutación.	Es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta de un transitorio de tensión (vía chispas, descargadores de gas)
3.4.2	Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo limitación de la tensión	Es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que se reduce gradualmente con el incremento de la corriente y la tensión transitoria (MOV, diodos supresores)
3.4.3	Clasificación	
	DPS Clase I	<i>Protección basta.</i> Descargan corrientes de impulso de rayo con especificación de onda 10/350 μ s kA _{imp}
	DPS Clase II	<i>Protección media.</i> Descargan sobretensiones transitorias , con especificación de onda 8/20 μ s y corriente nominal de descarga I _n en kA



DPS Clase III		<i>Protección fina.</i> Descargan sobretensiones de menor magnitud y protegen específicamente equipos finales o grupos de ellos de baja tensión.
3.4.4	Coordinación de DPS	Generar un régimen de protección multinivel que garantice la seguridad de todos sus usuarios y la instalación
3.4.5	Selección de DPS	Definir los criterios básicos para la correcta selección de DPS de acuerdo al tipo de red, la zona de protección y los esfuerzos eléctricos a los que está sometido.
3.4.6	Instalación de DPS	Evitar lazos, largas distancias que permitan la inducción de sobretensiones y un correcto dimensionamiento de los conductores de conexión.
4	Prevención de riesgos	
4.1	Guía de seguridad personal	Desarrollar comportamientos seguros de las personas.
4.2	Sensor de tormentas	Suspender actividades de alto riesgo
4.2.1	Fijos	Suspender actividades de alto riesgo
4.2.2	Portátiles	Suspender actividades de alto riesgo

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-2, 2008), CASAS OSPINA, Favio. Tierras soporte de la seguridad eléctrica. Bogotá: ICONTEC, 2008

4 SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO PARA EL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES “ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN”



Fotografía 1 Fachada principal Caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón”

En el proceso de concepción del plan de proyecto se consideró el edificio Laboratorio de Alta Tensión, para realizar el ejemplo práctico. Sin embargo, esta construcción será demolida y reemplazada por otra edificación. Por lo tanto, con el objetivo de proveer un documento base para futuras consultas se decidió cambiar el edificio de estudio por el de Caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón”.

El edificio Caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón” es una de las nuevas construcciones del campus central de la Universidad Industrial de Santander. Fue construido por el rector al que debe su nombre en el año 2006. Es usado como centro de laboratorio de la escuela de ingeniería civil, además, las instalaciones son el centro principal de maestría y laboratorio de pruebas docentes.

Esta edificación es una instalación de uso final idónea para aplicar los conceptos antes presentados y realizar un ejemplo ilustrativo de aplicación de la norma NTC 4552- 1- 2- 3 del 2008. Los criterios considerados para su selección fueron la



ubicación geográfica, el uso de la instalación, el número de personas, los materiales y equipos que se encuentran dentro de la estructura, entre otras características. Además, es una de las nuevas edificaciones que implementó en su construcción la antigua normatividad NTC 4552-2004.

A diferencia de otras instalaciones del campus universitario este recinto presenta elementos tales como: la manipulación de sustancias inflamables, sistemas de puestas a tierra separadas, aislamiento geográfico, uso de la azotea destacado, tratamiento de la tierra para mejorar la resistividad del terreno. Características que destacan la instalación sobre otras construcciones y lo convierten en un edificio atractivo para desarrollar un ejemplo práctico de diseño del sistema de protección interno.



Este trabajo está centrado principalmente en el sistema de protección interno y para lograr este propósito se realiza el siguiente proceso:

- La evaluación del riesgo de la estructura.
- Una descripción general de la instalación.
- La identificación de las zonas de protección y sus componentes.
- El diseño de la red de equipotencialización y la selección coordinada de los DPS.
- Las distancias de seguridad.

4.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA ESTRUCTURA

En la tabla 31 se encuentra la descripción básica del edificio como su ubicación y los datos de su propietario.

Tabla 31 Descripción básica del edificio



 <p>CONSTRUIMOS FUTURO</p>	SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA		
	EVALUACIÓN DEL RIESGO		
	NORMA NTC 4552-1-2-3 2008		
1. DATOS DE GENERALES DE LA EDIFICACIÓN			
Fecha de evaluación	Ciudad	Departamento	
Diciembre 21 de 2010	Bucaramanga	Santander	
Nombre del contacto			

División de planta física, División de planeación, División de servicios información.		
Empresa	Dirección de la empresa	
Universidad Industrial de Santander	Carrera 27 Calle 9 Ciudad Universitaria	
Teléfono	Página web	
6359622	www.uis.edu.co	
2. INFORMACIÓN GENERAL Y UBICACIÓN DEL PROYECTO:		
Nombre del proyecto	Ciudad	Departamento
Caracterización de materiales "Álvaro Beltrán Pinzón"	Bucaramanga	Santander
Propietario	Dirección del Proyecto	
Universidad Industrial de Santander	Carrera 27 Calle 9	
Estado de la instalación	Tipo de instalación	
Nueva	Edificación de uso final	
3. DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO		
Tipo de instalación	Área total (m²)	
Educativa	1477,4	
Tipo de obra		
Laboratorios de ingeniería civil, aulas de clases, oficinas, centro de computo, sala de juntas, zonas comunes		
Subestación	Capacidad total en (kVA)	Propiedad
Sub. Tipo Jardín	225 kVA, 13200 – 3x220/127	Proyecto
OBSERVACIONES		
Se dispone de planos eléctricos, arquitectónicos e hidrosanitarios que fueron facilitados por división de Planeación de la Universidad Industrial de Santander; realizando comparación visual entre el plano as built y la instalación real se encuentran diferencias en el número de tableros, en los circuitos y en las distancias exteriores. Estas diferencias están decremento de las proyecciones.		

Después de conocer las características básicas de la instalación; en la tabla 32 aparecen los datos generales para realizar la evaluación del riesgo según la metodología explicada en la norma NTC 4552-2.





Tabla 32 Características para la evaluación del riesgo

 SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA 			
EVALUACIÓN DEL RIESGO			
NORMA NTC 4552-1-2-3 2008			
Características generales del edificio Caracterización de Materiales " Álvaro Beltrán Pinzón "			
1. Ubicación geográfica			
Ciudad	Bucaramanga	Departamento	Santander
Densidad de descargas a tierra DDT	1 rayo/km ² año		
Ubicación de la estructura	Objeto rodeado de objetos o arboles de igual altura o menor		
Localización	Urbana		
Factor de localización, C_d	0,5		
2. Dimensiones del edificio			
Longitud	33,2 m		
Ancho	44,5 m		
Altura del punto mas alto	17,25 m		
3. Características del suelo			
Resistividad del terreno	200 Ωm		
Tipo de suelo al exterior	Agricultura-concreto		
Tipo de piso al interior	Concreto		
4. Atributos del edificio			
Protección externa	Si tiene		
Apantallamientos	Si tiene		
Riesgo de fuego o daño físico	Ductos con gas y aire		
Instalación eléctrica interior	No apantallada		
Facilidad de evacuación	Media, alta concentración de personas		
Protección contra incendios	Si tiene, existen extintores, hidrantes, etc.		
5. Servicios de la estructura			
Tipo de servicio	Subterráneo		
Transformadores de aislamiento	No tiene		
Número de servicios	4		
Tipo de cableado interno	No apantallado		
6. Categoría de pérdidas humanas			
Riesgos especiales a la vida	Nivel medio de pánico		
Pérdida de vidas por fuego	Medio		

Pérdida de vida por sobretensión	Bajo
7. Categoría de pérdidas de servicios esenciales	
Pérdida de servicios por fuego	Si existe
Pérdidas de servicios por sobretensión	No existe
8. Categoría de pérdidas culturales	
Pérdidas culturales por fuego	No existe
9. Categoría de pérdidas económicas	
Riesgos económicos especiales	Medio
Pérdidas económicas por fuego	Medio
Pérdidas económicas por sobretensión	Bajo
Factor de pérdidas de toque-paso	Interno - externo
Riesgo tolerable de pérdidas económicas	1-1000

Las características de la acometida de potencia y cableado interno necesarias para la evaluación del riesgo se encuentran en la tabla 33.

Tabla 33 Descripción de las acometidas

	SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA	
	EVALUACIÓN DEL RIESGO	
	NORMA NTC 4552-1-2-3 2008	
Características de la acometida del edificio Caracterización de Materiales " Álvaro Beltrán Pinzón"		
1. Acometida de energía		
Longitud de la línea	193 m	
Origen	Edificio Laboratorio de Alta Tensión	
Tipo de acometida	Subterránea	
Presencia de transformador	Si	
Apantallamiento de la línea	No tiene	
Cableado interno	Sin formar lazos	
Nivel de aislamiento de los equipos	1,5 kV	
DPS coordinados	No tiene DPS	
Tipo de cable media tensión	Cable Cu XLPE 15 kV	

Tipo de cableado interno	Alambre Cu aislamiento THWN
2. Acometida de teléfonos	
Longitud de la línea	350 m
Origen	CENTIC
Tipo de acometida	Subterránea
Apantallamiento de la línea	No tiene
Cableado interno	Evitando lazos
Nivel de aislamiento de los equipos	1 kV
DPS coordinados	No tiene DPS
Tipo de cable de teléfono	Cableado estructurado-Cable UTP categoría 6
3. Acometida de datos (internet e intranet)	
Longitud de la línea	350 m
Origen	CENTIC
Tipo de acometida	Subterránea
Apantallamiento de la línea	Fibra óptica
Cableado interno	Sin formar lazos
Nivel de aislamiento de los equipos	0,6 kV
DPS coordinados	No tiene DPS
Tipo de cable de datos	Fibra óptica multimodo 12 hilos 50/125 um

Utilizando el programa de la Universidad Industrial de Santander, Evaluacion_Riesgo⁴⁷, se encuentra el riesgo actual de la instalación. Desarrollado transversalmente por la línea de investigación como trabajo de grado de los estudiantes Néstor Villa y Ángel Guarín de la escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones en el año de 2010 y validado por la escuela.

“La herramienta evalúa las componentes de riesgo teniendo en cuenta las características particulares de la estructura y posteriormente genera un informe de la evaluación en un documento externo a la interfaz. La interfaz gráfica está compuesta por medio de GUIs (interfaces graficas de usuario) desarrolladas en GUIDE de Matlab”⁴⁸

El nivel de riesgo se halla de acuerdo a los parámetros observados durante la visita técnica realizada el 11 de diciembre de 2010, y aplicando la metodología descrita en la NTC 4552-2.

⁴⁷ Evaluación del riesgo; sistema integral de protección contra rayos. Néstor Villa y Ángel Guarín, 2010

⁴⁸ *Ibíd.*



En la figura 45 se evalúan las probabilidades de daño P_x , en este caso no existe un sistema de protección correctamente implementado y se escogen las opciones que están acordes a esta situación.

En la figura 46 se evalúan las probabilidades de daño en las acometidas de servicio; para el estudio inicial se asume un cable no apantallado y DPS no coordinados y que no están de acuerdo a las normas vigentes.

En la figura 47 se encuentran los valores para las pérdidas L_x , según las características de la instalación el riesgo de explosión es elevado por la existencia de material inflamable.

Se anexan los resultados obtenidos en las figuras 45 a 50.

Evaluación del número anual N de eventos peligrosos

Introducir DDT:

Evaluación del promedio anual de descargas sobre la estructura
 Seleccionar localización relativa de la estructura. Cd
 Rodeado de objetos o árboles de igual altura o menor. Cd=0.5
 Dimensiones de la estructura en metros.
 Largo L Ancho W Alto H

Seleccionar factor de corrección del tipo de transformador. Ct
 Con devanado primario y secundario desacoplados. Ct=0.2

Dimensiones de la estructura adyacente en metros.
 Largo L Ancho W Alto H

Seleccionar factor ambiental Ce
 Urbano: Edificaciones entre 10m y 20m. Ce=0.1

Resistividad p en Ohm-m para secciones subterráneas

Acometida de potencia

Sección aérea				Sección subterránea			
<input type="checkbox"/> Evaluar	Introducir longitudes en metros			<input checked="" type="checkbox"/> Evaluar	Introducir longitudes en metros		
	Lc	Ha	Hb	Hc	Lc	Ha	Hb
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	193	0	0

Acometida de telecomunicaciones

Sección aérea				Sección subterránea			
<input type="checkbox"/> Evaluar	Introducir longitudes en metros			<input checked="" type="checkbox"/> Evaluar	Introducir longitudes en metros		
	Lc	Ha	Hb	Hc	Lc	Ha	Hb
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	350	0	0

Resultados de la evaluación de número anual N de eventos peligrosos

C_d	0.5
A_d	9.23235e+007
N_D	46.1618
C_t	0.2
$A_{d/2}$	0
$N_{D/2}$	0
A_m	584850
N_M	0
C_e	0.1

NOTA

N_L	0
N_I	0

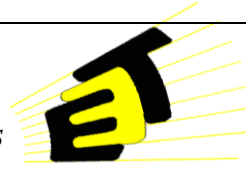
N_L	0.000272943
N_I	0.00136472

N_L	0
N_I	0

N_L	0.000494975
N_I	0.00247487

Figura 45 Número de eventos peligrosos. Evaluación de riesgo actual

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)



Evaluación de las probabilidades PA, PB, Pc, Pm, P'B, P'c, P'v, P'w y P'z

Evaluación de PA, PB y Pc

Medidas de protección: Sin medidas de protección. PA=1.

Protección contra rayos: Sistema de captación nivel I con armazón como bajante. PB 0.01.

Nivel de protección de DPS: Sin sistema coordinado de protección. Pc=1.

Probabilidad de daño de sistemas internos. PM

Con cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial.

Uw en kV: 1 w en metros: 3,5 Cables sin pantalla. Sin precaución de evitar lazos en la ruta. Ks3=1.

Sistemas internos sin equipos con niveles de soportabilidad al impulso inferiores a los estándar.

No es provisto un sistema coordinado de protección y reducción de fallas de sistemas internos. PM=PMS.

Evaluación de P'B, P'c, P'v y P'w

Acometidas de servicios con conductores metálicos no apantallados. *No evaluar las demás opciones de este recuadro*

n acometidas: Rs: Resistencia del apantallamiento en Ohm/km

P'v para líneas de telecomunicaciones

Líneas de telecomunicaciones con apantallamiento de aluminio. Ia=20kA.

Evaluación de P'z

Apantallamiento y equipo unido a barra equipotencial. 1<Rs<=5 Ohm/km. PL1 de P'z

No se implementan DPSs conforme a la normatividad nacional vigente. P'z

Resultados de la evaluación de las probabilidades de daño Px

PA	1
PB	0.01
Pc	1
Ks3	1
Ks3B	26.46
PM	1
PMS	1
Pm	1
PL1	0.04
K2	
K3	
Uw	
Ia: P'B, P'c	0
Ia: P'v, P'w	0
P'B, P'c de Ia	1
P'v, P'w de Ia	1
P'B	1
P'c	1
P'v	1
P'w	1
P'z	0.04

Figura 46 Evaluación de las probabilidades Px

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)

Evaluación de las probabilidades Pu, Pv, Pw y Pz

Evaluación de Pu, Pv, Pw y Pz, en la sección subterránea de la acometida de potencia. EVALUAR

Cable no apantallado. Uw en kV

Los DPS no cumplen los requerimientos de equipotencialización. Pu=PLD. 1

No existe coordinación de DPSs para protección y reducción de fallas de sistemas internos. Pw=PLD. Pz=PL1.

Sin pantalla.

Evaluación de Pu, Pv, Pw y Pz, en la sección subterránea de la acometida de telecomunicaciones. EVALUAR

Cable apantallado con resistencia de pantalla 1<Rs<=5 Ohm/km. Uw en kV

Los DPS no cumplen los requerimientos de equipotencialización. Pu=PLD. 0,6

No existe coordinación de DPSs para protección y reducción de fallas de sistemas internos. Pw=PLD. Pz=PL1.

Apantallamiento y equipo unido a barra equipotencial. 1<Rs<=5 Ohm/km.

Resultados

Pu	1
Pv	1
Pw	1
PL1	1
Pz	1

Resultados

Pu	0.1
Pv	0.1
Pw	0.1
PL1	0.004
Pz	0.004

Figura 47 Evaluación de las probabilidades de daño en las acometidas

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)



Evaluación de la cantidad de pérdidas Lx

Lt de L1 Todos los tipos estructura: Personas dentro de la estructura. Lt=1e-4 de L1.
Lf de L1 Industrial, comercial y escuelas. Lf=0.05 de L1.
Lo de L1 Riesgo de explosión. Lo=0.1 de L1.
ra y ru Agricultura, concreto. ra=ru=0.01.
rp Extintores manuales, alarmas manuales, hidrantes, compartimientos contra el fuego, rutas de evacuación. rp=0.5.
rf Explosión. rf=1.
hz Nivel bajo de pánico: Edificaciones de dos pisos y no más de 100 personas. hz=2.
Lf y Lo para L2 Gas, acueducto. Lf=0.1. Lo=0.01. De L2.
Lf de L4 Hoteles, escuelas, oficinas, centros comerciales, iglesias, bancos. Lf...
Lo de L4 Riesgo de explosión. Lo=0.1 de L4.

Pérdidas de vidas humanas		Pérdidas del servicio público		Pérdidas de valor cultural		Pérdidas económicas	
L _a	1e-006	L _B	0.05	L _B	0.05	L _a	1e-006
L _B	0.05	L _V	0.05	L _V	0.05	L _V	1e-006
L _U	1e-006	L _C	0.01			L _B	0.2
L _V	0.05	L _M	0.01			L _V	0.2
L _C	0.1	L _W	0.01			L _C	0.1
L _M	0.1	L _Z	0.01			L _M	0.1
L _W	0.1	L _B '	0.1			L _W	0.1
L _Z	0.1	L _V '	0.1			L _Z	0.1
		L _C '	0.01			L _B '	0.2
		L _V '	0.01			L _V '	0.2
		L _W '	0.01			L _C '	0.1
		L _Z '	0.01			L _W '	0.1
						L _Z '	0.1

Figura 48 Evaluación de perdidas Lx

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)

Evaluación de componentes de riesgo

- Estructura con riesgo de explosión, hospital u otra estructura donde la falla de sistemas internos ponga en peligro la vida humana
- Propiedad dode pueda haber pérdida de animales
- Se calcula para exteriores
- Existe equipo sensible

Figura 49 Componentes de riesgo

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)



Resultados de la evaluación de riesgo y sus componentes

Riesgo de pérdida de vida humana. R_1		Riesgo de pérdida del servicio público. R_2		Riesgo de pérdida de patrimonio cultural. R_3		Riesgo de pérdida de valor económico. R_4	
R_d	0	R_E	0.0230809	R_E	0.0230809	R_d	0
R_E	0.0230809	R_C	0.461618	R_V		R_E	0.0923235
R_C	4.61618	R_M	0	R_3	0.0230809	R_C	4.61618
R_M	0	R_V		NO CUMPLE		R_M	0
R_U	3.22441e-010	R_W	3.22441e-006			R_U	0
R_V		R_Z	1.09969e-005			R_V	
R_W	3.22441e-005	R_z	0.484713121			R_W	3.22441e-005
R_Z	0.000109969	NO CUMPLE				R_Z	0.000109969
R_1	4.639403113					R_4	4.70864571
NO CUMPLE							

Riesgo de pérdida de servicio público. R'_2		Riesgo de pérdida de valor económico. R'_4	
R'_E	4.61618	R'_E	9.23235
R'_C	0.461618	R'_C	4.61618
R'_V	7.67918e-005	R'_V	0.000153584
R'_W	7.67918e-006	R'_W	7.67918e-005
R'_Z	1.22867e-006	R'_Z	1.22867e-005
R'_2	5.07788	R'_4	13.8488

Figura 50 Resultados de la evaluación del riesgo

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de riesgo para el edificio Caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón” se concluye que la instalación actual no cumple con los requisitos establecidos en la NTC 4552-1-2-3 de 2008 para la protección de la vida de los usuarios e integridad de la instalación.

Esta conclusión obedece a que los componentes de riesgo son mayores a los tolerables; según la NTC 4552-2. En la tabla 34 se muestran los riesgos tolerables y los calculados para el estado actual de la instalación.

Tabla 34 Riesgos tolerables vs riesgos calculados

Categoría de pérdidas	Riesgos tolerables	Riesgos calculados
Pérdidas humanas	$\leq 1 \cdot 10^{-5}$	4,6394
Pérdidas de servicios esenciales	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	0,4847
Pérdidas culturales	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	0,0231
Pérdidas económicas	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	4,7086



Por lo anterior se deben tomar medidas que se serán establecidas a través del proceso antes planteado.

4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

Después de realizar la visita técnica a las instalaciones del edificio de caracterización de materiales se obtiene la siguiente descripción de los elementos dentro de la estructura y de las condiciones del espacio de trabajo. La especificación es desarrollada por:

- Pisos
 - Subsótano
 - Primer piso
 - Segundo piso
 - Azotea
- Aulas o recintos.



Los tableros de distribución son analizados de forma independiente a la descripción de cada piso. Toda la información es comparada contra los planos arquitectónicos y eléctricos del edificio.

La protección contra rayos que está dispuesta en el edificio es ignorada para efectos del estudio. Porque, se considera incompleta, no se dispone de información sobre las características de construcción, ubicación del sistema de bajantes, zonas de protección, entre otros. Además, no cumple con las disposiciones de la NTC 4552-1-2-3 del 2008 para una edificación aislada, con alto nivel de ocupación, riesgo de explosión entre otras características.

La iluminación general de la edificación se realiza por medio de balastos electrónicos suspendidos de la canaleta del cableado estructurado o del techo por medio de alambre. Todo el cableado se encuentra en tubo conduit y a la vista.

En la tabla 35 se hace un listado de los elementos de la planta del subsótano;

Tabla 35 Descripción planta subsótano



 SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA 	
DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	
NORMA NTC 4552-1-2-3 2008	
1. Planta subsótano	
Nombre de la sala	Acondicionamiento y fabricación de probetas y servicios
Elementos	Dos balanzas electrónicas
	Horno digital de precisión
	Tamizadora eléctrica
	Baño de María
	Cámara extractora de vapores
	Material de construcción
Observaciones	Se trabaja con aire comprimido, agua, electricidad y materiales inflamables y otros como el azufre. Todos los tomacorrientes son de 120 V con polo a tierra. El cableado interno es en tubo conduit, existe tubería metálica de gas, aire y aire acondicionado.
Nombre la sala	Acondicionamiento de probetas (docencia)
Elementos	Máquina universal de ensayos
	Armario con material para manipular la máquina universal de ensayo
	Máquina de ensayo corte directo
	Máquina triaxial y compresor
	Máquina consolidación
	Tanque de agua
	Cilindro gas propano (mufla +200ºT)
	Máquina universal de madera
	Máquina universal de impacto
	Máquina para ensayo de dureza
	Máquina para ensayo de marcha
	Máquina de ensayo de compresión simple
	Máquina de ductilidad de asfalto
	Un computador
Un horno	

Observaciones	Existen tomacorrientes trifásicos, tomacorrientes especiales y tomacorrientes comunes de 120 V. Se trabaja con aire, electricidad y gas. Existen máquinas mecánicas y una cerca de protección para limitar el acceso a las máquinas.
Nombre de la sala	Compresor
Elementos	Compresor trifásico 220/440 V con un motor de 5,5 hp Circuito guardamotor
Observaciones	El compresor dispone de circuito individual con tomacorriente trifásica especial. Este compresor se encarga de suministrar el aire comprimido de toda la instalación. El cuarto es utilizado como bodega.
Nombre de la sala	Caracterización de materiales servicios
Elementos	Máquina de fluido hidráulico tipo premium Máquina INSTRON serie 1125 Máquina universal dinámica Horno para extracción de asfalto Máquina de corte directo Máquina de compresión de cilindro Horno Nevera Batidora industrial Dos máquinas industriales Cuatro computadores
Observaciones	Existen tomacorrientes especiales y tomacorrientes comunes. Las máquinas poseen punto de conexión de puesta a tierra de la carcasa que no se encuentra conectada. Existen tuberías de agua y gas en PVC ; se cuenta la conexión con la torre de enfriamiento exterior.
Nombre de la sala	Cuarto eléctrico
Elementos	Control de aire acondicionado del edificio Tablero de red regulada subsótano TR0
Observaciones	Esta sala se usa como bodega, imposibilitando el acceso al tablero y centro de control; se encuentran elementos inflamables que aumentan el riesgo de la sala.
Nombre de la sala	Almacén de muestras

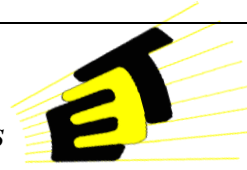
Elementos	Máquinas tamizadoras
	Máquina de los ángeles
	Tres hornos
	Cuatro cocinas
Observaciones	Existen espacios reducidos que limitan el movimiento del usuario y aumenta el riesgo. Los espacios de trabajo se encuentran muy descuidados aumentando el deterioro de las instalaciones.
Nombre de la sala	Almacenamiento
Elementos	Muestras de materiales de construcción, grava , arena entre otros
Observaciones	No existen equipos que generen ningún tipo de riesgo eléctrico. Existe un cuarto destinado a la oficina del personal de mantenimiento de los equipos provista de computadores, teléfonos y aire acondicionado.

La tabla 36 corresponde a la planta del primer piso

Tabla 36 Descripción planta primer piso

	SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA		
	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES		
	NORMA NTC 4552-1-2-3 2008		
2. Planta primer piso			
Nombre de la sala	Administración		
Elementos	Gabinete general de comunicaciones		
	Dos computadores		
	Aire acondicionado		
Observaciones	Se encuentra la central de comunicaciones; la acometida es de fibra óptica multimodo, de esta central se parte con canaleta que no está equipotencializada según información de la división de servicios de información. Esta ubicación no es la originalmente proyectada porque el espacio fue utilizado en otros menesteres.		



Nombre de la sala	Laboratorio de prototipos
Elementos	Nueve computadores y un servidor
	Una impresora multifuncional
	Unidad telefónica
Observaciones	Existen muchas conexiones que se realizan por medio de multitomacorrientes, las redes de datos y potencia van por medio de canaleta no equipotencializada. Existen conexiones de red estructurada.
Nombre de la sala	Laboratorio ensayo docencia
Elementos	Un horno
	Un compresor
	Peso
	Dos balanzas
	Batidora
	Material como concreto y arena
Observaciones	Existen recipientes con líquidos sin etiqueta de edificación y por lo tanto se desconoce si pueden ser inflamables; existen conexiones de red regulada y de datos.
Nombre de la sala	Laboratorio de topografía y fotogrametría
Elementos	Material de papelería
	Material de medición de profundidad
	Máquina topoflex
Observaciones	Este recinto es utilizado como aula, bodega de almacenamiento de equipos y oficina. Existen tomacorrientes de red regulada y datos. Existe unidad telefónica.
Nombre de la sala	Acústica, Laboratorio de estructuras (modelos) y sísmica
Elementos	Un televisor
	Ocho máquinas mecánicas
	Dos aires acondicionado
	Escritorios
Observaciones	El aula se utiliza para almacenar icopores, y ensayos de laboratorio y análisis de estructuras. Las máquinas son proyectos de grado y se desconoce su funcionamiento. Existen tomacorrientes de red estructura pero no se evidencia uso de las mismas.
Elementos	Grava
	concreto



	Tubos en concreto
	Un computador
	Mallas de alambre
	Puente grúa
	Servoactuador hidráulico
Observaciones	Existen equipos sensible como la unidad de control hidráulico, hay tomacorrientes trifásicas, tuberías de agua, escalera
Nombre de la sala	Oficina laboratorio de estructuras
Elementos	Computador
	Escritorio
	Sillas

La tabla 37 corresponde a la planta del segundo piso:

Tabla 37 Descripción planta segundo piso


 <p>CONSTRUIAMOS FUTURO</p>	SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA		
	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EDIFICIO		
	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES		
	NORMA NTC 4552-1-2-3 2008		
3. Planta segundo piso			
Nombre de la sala	Salón de investigación		
Elementos	Computadores		
	Elementos de oficina		
Observaciones	Esta sala consta de pequeños cubículos acondicionados como oficinas de maestría; cada oficina posee tomacorrientes comunes, tomacorrientes de red regulada. La puerta cuenta con un sistema automático que es activado por la presencia desde el interior. Toda la instalación interna se realiza por canaleta que no se encuentra equipotencializada.		
Nombre de la sala	Salón de reuniones		
Elementos	Un aire acondicionado		
	Un tablero digital		
	Un video beam		
Observaciones	Los sistemas se protegen con tomacorriente de tierra aislada		
Nombre de la sala	Puesto de trabajo profesores		
Elementos	Se encuentra equipo de oficina		
	Instalaciones sanitarias con secador de manos		



Observaciones	No se tuvo acceso a las oficinas, se encontró un panel de protección para equipos sensibles, se encontró dentro del cuarto eléctrico irregularidades en las distancias de seguridad por norma, las cuales hacen que se aumente el riesgo eléctrico.
Nombre de la sala	Terrazas
Elementos	Sillas y mesas metálicas
	Unidades de aire acondicionado
	Equipo meteorológico barómetro de precisión
Observaciones	En cada una de las terrazas se encuentra una unidad de aire acondicionado rodeada de una cerca metálica; también se observa la tubería de aire que se encuentra expuesta. Toda la terraza dispone de una baranda metálica en su periferia y la tubería eléctrica.

La tabla 38 muestra la descripción de la azotea y de los exteriores del edificio:

Tabla 38 Azotea y exteriores del edificio Caracterización de materiales



 CONSTRUIMOS FUTURO	SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA	
	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EDIFICIO	
	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	
NORMA NTC 4552-1-2-3 2008		
4. Planta azotea		
Elementos	Dos puntas Franklin	
	Dos unidades de aire acondicionado	
	Tres aires acondicionado LG	
	Tubería expuesta de energía	
	Tubería de aire acondicionado	
	Luminarias de exterior	
	Domo acrílico con esqueleto metálico	
	Cajas de derivación eléctrica	

Observaciones	Las cajas no se encuentran en buen estado y la tubería no está equipotencializada al sistema de protección contra rayos. No se evidencia la instalación de los bajantes. Se observan templetes no equipotencializados, no se tuvo acceso a la parte más alta de la azotea. Se observa tubería PVC sin ningún tipo de protección, las unidades de aire no están encerradas se supone por la dificultad en el acceso a la azotea. Las luminarias están alimentadas por tubería metálica sin embargo no se encuentran equipotencializadas.
5. Exteriores	
Vista frontal	
Elementos	Hidrante
	Reflectores externos en muro
	Luminaria de la red alumbrado publico
Vista fachada oriental	
Elementos	Torre de enfriamiento
	Reflector externo en muro
Vista fachada occidental	
Elementos	Reflector de muro
	Portón metálico
	Tubería expuesta de aire acondicionado
Vista fachada posterior	
Elementos	Unidad de refrigeración de aire acondicionado
	Tubería de aire acondicionado
	Reflectores de muro
	Unidad de aire acondicionado en cerca metálica
Elementos	Tubo de aire acondicionado en descendente de la maquinas superiores (azotea)
	Unidad de aire acondicionado LG ubicada en saliente del primer piso de difícil acceso

En la tabla 39 se encuentra una descripción de los tableros de distribución existentes en el edificio:



Tabla 39 Tableros de distribución del edificio

 SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA		
DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES		
NORMA NTC 4552-1-2-3 2008		
6. Tableros		
Nombre del tablero	Tablero tomacorrientes subsótano T.T.0	
Observaciones	Comparando con el diagrama unifilar, se encuentra que el tablero esta en servicio en su totalidad. Se presentan adiciones desde el circuito 32 hasta el 42. Esta diferencia aparece por que en los cálculos iniciales no se proyectaron los circuitos de la sala de ensayo y del compresor, los cuales presentaban fallas en el servicio de energía en el edificio cuando el compresor entraba en funcionamiento. El tablero presenta fácil acceso.	
Nombre del tablero	Tablero tomacorrientes trifásico	
Observaciones	Este tablero no aparece en el plano del diagrama unifilar del edificio. Es utilizado para el servicio de la sala 2 y el compresor, está disponible para 24 circuitos pero solo están en uso doce de ellos. Se encuentra cerca del tablero de tomacorriente TT0. Es de fácil acceso, pero no cumple con las distancias de separación según NTC 2050.	
Nombre del tablero	Tablero distribución de alumbrado subsótano T.A.0	
Observaciones	Comparando con el diagrama unifilar de los planos del edificio, el tablero debe disponer de cinco lugares libres sin embargo, están todos en servicio. El cambio de los circuitos es debido a la instalación de la estufa, de la mufla y del tamizador. Es de fácil acceso.	
Nombre del tablero	Tablero de red regulada subsótano T.R.0	
Observaciones	Se encuentra ubicado en el cuarto eléctrico, no cumple con todas las normas de distancias de trabajo y seguridad de la norma NTC 2050. Comparando con el diagrama unifilar de los planos del edificio se encuentra en servicio en su totalidad y no con cuatro espacios libres como se muestra en el plano. Dispone de un supresor de trasientes trifásico ubicado a un lado en caja independiente. Frente al tablero se encuentra un sistema de control de cableado estructurado sin ningún tipo de identificación.	

Nombre del tablero	Tablero de distribución alumbrado T.A.1
Observaciones	Se encuentra usado en su totalidad. Comparado con el diagrama unifilar de los planos del edificio falta registrar cinco circuitos. Los circuitos extras corresponden a la iluminación de la fachada exterior del edificio, el circuito 35 que corresponde a la lámpara del pasillo fue eliminado.
Nombre del tablero	Tablero distribución alumbrado T.A.2
Observaciones	El acceso al tablero esta obstaculizado y no se pudo solventar el impase El cuarto eléctrico donde se encuentra ubicado presenta inconformidad con la NTC 2050, en las distancias de separación y de seguridad.
Nombre del tablero	Tablero de red regulada piso 2 T.R.2
Observaciones	Comparando con el diagrama unifilar están libres los circuitos del 1 al 4 y no los circuitos del 8 al 12. Existe un una protección DPS sentrex. En el mismo cuarto se encuentra una unidad de control para las lámparas externas; además, existen dos cajas más que no están identificadas y a las cuales no se tiene acceso. Existe un gabinete de datos que obstaculiza el espacio de trabajo.

Por último en la tabla 40 se encuentra la descripción de la subestación

Tabla 40 Subestación

 SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA 	
DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES NORMA NTC 4552-1-2-3 2008	
7. Subestación	
Tipo	Jardín
Capacidad	225 kVA
Nivel de tensión	13 200 – 3x220/127
Elementos extras	DPS tipo distribución y fusibles de respaldo ELSP Puerta cortafuego de 2*2 m
Puesta a tierra de la	Varillas Cu 5/8" x 2 m

Subestación	Cable Cu desnudo calibre 3/0.
	Tratamiento químico
	Soldaduras exotérmicas.
	Accesorios de conexión para puntos a aterrizar.
Tablero general de baja tensión	Gabinete metálico 2,0 x 1,2 x 0,50 m según dibujo
	Medidor electrónico multitarifa
	Bornera de conexiones
	Tres (3) transformadores de corriente 600/5 A, clase 0,2
	Tres (3) pilotos de señalización a 220 V, incluye bombillos
	Barraje Cu electrolítico de 2" x ¼".
Tablero general de baja tensión	Un interruptor automático tripolar 220 V, 50 kA, 630 A regulable.
	Dos (2) interruptores automáticos tripolares 220 V, 50 kA, 150 A
	Un (1) interruptor automático tripolar 220 V, 25 kA, 100 A
	Un (1) interruptor automático tripolar 220 V, 25 kA, 80 A
	Tres (3) interruptores automáticos tripolares 220 V, 25 kA, 50 A
	Cuatro (4) interruptores automáticos tripolares 220 V, 25 kA, 40 A
	Dos (2) interruptores automáticos tripolares 220 V, 25 kA, 30 A
	Un (1) interruptor automático tripolar 220 V, 25 kA, 20 A
	Cuatro (4) interruptores automáticos tripolares 220 V, 25 kA, 15 A
	Puesta a tierra en conductor calibre 3/0
	Accesorios de montaje, identificación y conexionado.
Observaciones	No se tuvo acceso al gabinete y al transformador de la subestación.

4.3 ZONAS DE PROTECCIÓN

En la estructura se identificaron 3 zonas de protección de acuerdo a los equipos y dispositivos instalados dentro del edificio. Las zonas de protección son:

4.3.1 Zona de protección ZPR0

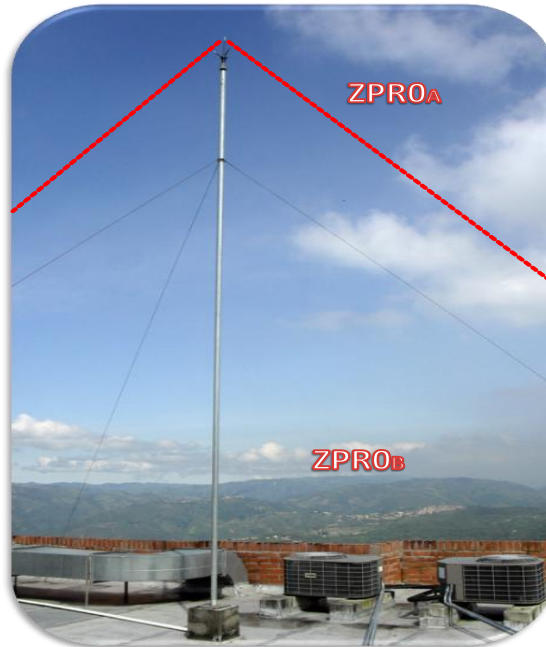
Esta zona comprende las subzonas ZPR0_A y la ZPR0_B; las subzonas están delimitadas por el área de protección de las puntas de Franklin.

- **La subzona ZPR0_A**

Es la más externa y se encuentra hacia arriba del área de protección de las puntas de Franklin. Los bajantes naturales (ductos de aire acondicionado) que posee la estructura se encuentran cobijados por la siguiente subzona; por lo anterior, las puntas de Franklin son el

sistema de protección adecuado a esta subzona, no es necesario la implementación de un DPS.

En la fotografía 2 se aprecia la ubicación de esta subzona de protección y el límite con la subzona ZPR0_B que genera el ángulo de protección de la punta de Franklin.



Fotografía 2 Ubicación subzona de protección ZPR0_A

- **La subzona ZPR0_B**

Se caracteriza por estar dentro del área de protección de las puntas de Franklin. En la estructura se encuentran los sistemas de aire acondicionado, las mallas protectoras de los equipos, las luminarias externas y los conductos de energía eléctrica que se encuentran expuestos en la azotea y las terrazas; además del perímetro que rodea la estructura en la cual se encuentra la torre de enfriamiento y los ductos de aire.

En las fotografías 3, 4, y 5 se observan la subzona de protección ZPR0_B y los elementos que hacen parte de la misma. En la fotografía cinco “zonas externas” se muestran vistas lateral y posterior de la fachada del edificio.

ZONA ZPRO_B AZOTEA



Fotografía 3 Elementos presentes en la azotea del edificio y protegidos en la subzona ZPRO_B

ZONA ZPRO_B TERRAZAS



Fotografía 4 Elementos encontrados en las terrazas del segundo piso

ZONAS EXTERNAS ZPRO_B



Fotografía 5 Áreas exteriores del edificio que se encuentran dentro de la subzona ZPRO_B

4.3.2 Zona de protección ZPR1

En el edificio la zona ZPR1 está presente en la mayoría de los recintos como única zona de protección, es decir, el riesgo de fallas en los equipos y daños al usuario es moderado, de acuerdo, a la naturaleza de las actividades realizadas y la sensibilidad de los sistemas. En los laboratorios los riesgos disminuyen si se aplican métodos de seguridad como una disposición correcta de los elementos químicos e inflamables debidamente etiquetados. Por otra parte, si se respetan los espacios de trabajo de las instalaciones eléctricas el riesgo de la instalación disminuye en gran proporción. Por ejemplo, el cuarto eléctrico, el espacio del compresor y la correcta ubicación de los sistemas de control y distribución del área de comunicaciones.

El límite entre las zonas ZPRO_B y ZPR1 lo establecen los tableros de distribución de cada uno de los pisos; además, de las protecciones

particulares de algunos elementos, por ejemplo, el control de arranque del compresor general.

En la fotografía 6 se observan los salones del primer piso que pertenecen a la zona ZPR1. La sensibilidad de los equipos a las sobretensiones es moderada, además, existen máquinas solo mecánicas que no están expuestas a interferencias electromagnéticas. En la fotografía 7 se aprecian los tableros en los cuales debe ir instalados los DPS y se convierten en los límites entre zonas.

ZONA ZPR1 SALONES



Fotografía 6 Salones de la planta subsótano

ZONA ZPR1 TABLEROS



Fotografía 7 Tableros planta subsótano y planta primer piso



4.3.3 Zona de protección ZPR2

La zona de protección ZPR2 está limitada al laboratorio de prototipos, al área de maestría y las máquinas del laboratorio de estructuras.

En las dos primeras los equipos de cómputo son los elementos más sensibles, y debido a la importancia de la información clasifican estos recintos como zona de protección ZPR2. Sin embargo, es necesario reconocer que las multitema elevan el riesgo en los usuarios, por otra parte, la fibra óptica es inmune a interferencia electromagnética, pero aún así, las redes eléctricas pueden inducir sobretensiones que interfieran con el buen funcionamiento de los equipos.

Las máquinas del laboratorio de estructuras y del laboratorio de ensayos docencia, son sensibles a sobretensiones y pueden generar grandes daños en los usuarios otorgándoles a estos lugares específicos la clasificación ZPR2.

En la fotografía 8 se muestra la sala de prototipos y la fotografía 9 muestra las máquinas del laboratorio de estructuras y ensayo docencia.

ZPR2 SALÓN LAB DE PROTOTIPOS



Fotografía 8 Salón de prototipos planta primer piso

UBICACIÓN DE LA ZPR2 EN DIFERENTES AULAS DEL EDIFICIO



Fotografía 9 Maquinaria del salón de estructura y ensayos docencia

4.4 EQUIPOTENCIALIZACIÓN

De acuerdo a las características de la instalación y los requerimientos de continuidad de servicio, uso de la instalación, nivel de ocupación, riesgo de explosión entre otros; el Edificio de caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón” precisa de un sistema de protección contra rayos SIPRA II.⁴⁹

Basado en el método del ángulo de protección, para el nivel de SIPRA II el ángulo apropiado para una altura aproximada de 21 m es de 44° (ver figura 3 NTC 4552-3). Por lo anterior se encuentra que se deben ubicar cuatro puntas de Franklin de mínimo 4 m de altura para proteger toda la estructura.

A su vez, se deben disponer de mínimo 10 bajantes que rodeen el edificio. El número de bajantes se establece de acuerdo a la nota del numeral 5.3 de la NTC 4552-3, la separación entre bajantes corresponde a lo establecido en la tabla 6 de la NTC 4552-3 y a las restricciones arquitectónicas de la edificación. En la figura 51 se muestra la disposición recomendada para las puntas de captación y bajantes.

⁴⁹ Ver tabla 1 pág. 13; características que definen el nivel de protección NPR.

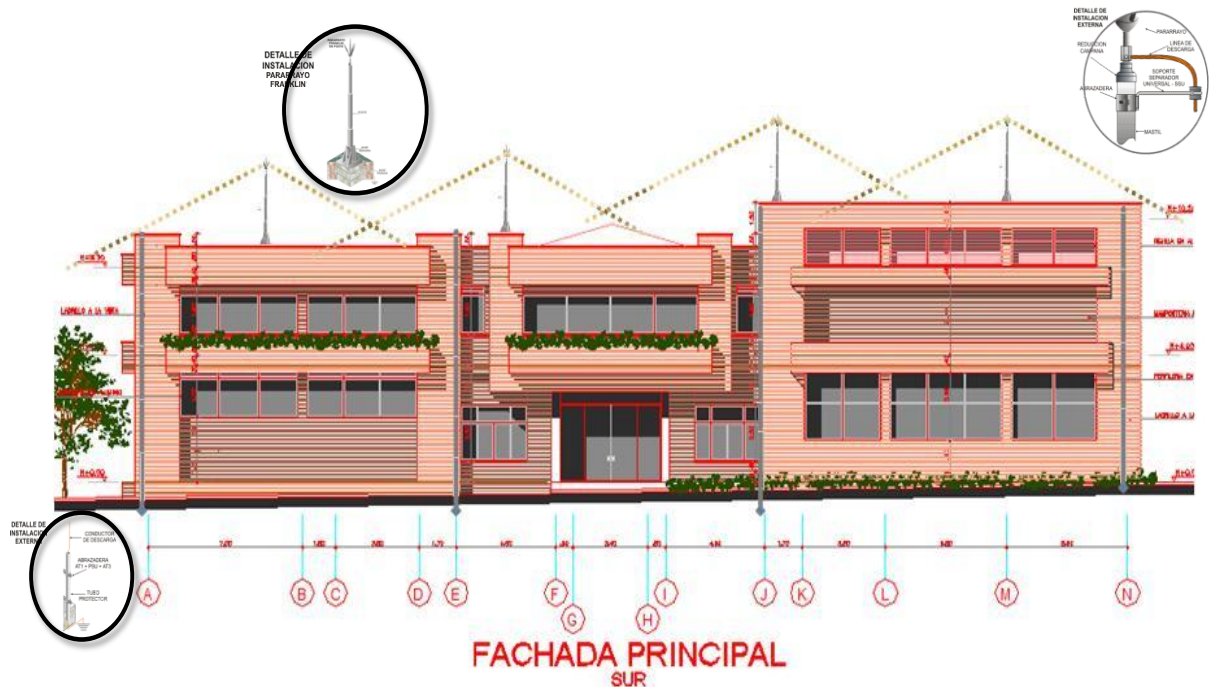


Figura 51 Ubicación de las puntas de captación y bajantes para el edificio de caracterización de materiales "Álvaro Beltrán Pinzón"

También se recomienda el uso de un sistema de puesta a tierra tipo A que contara con electrodos en cada uno de los bajantes. Esta recomendación obedece a los tipos de sistema de puesta a tierra que plantea la NTC 4552-3 en el anexo E numeral E.5.4.2.1.

No se recomienda el uso de los ductos de aire externos como bajantes, porque, la longitud de estas estructuras no es la adecuada para ser el camino para la corriente de rayo. Además, no cumplen con los calibres mínimos establecidos por la NTC 4552-3 para este propósito.

Según la NTC 4552-3 no es necesario equipotencializar las redes internas y el sistema de protección contra rayos; si la distancia de aislamiento entre los conductores bajantes y los sistemas internos es tal que se evitan interferencias electromagnéticas y chispas peligrosas. Para justificar esta decisión se realizan los siguientes cálculos:

- **Aislamiento eléctrico**

n = número de bajantes.



$n = 10$.

$$k = \frac{1}{n} \rightarrow k = \frac{1}{10} \rightarrow k = 0,1$$

S = Distancia de separación.

$$S > 0,06 \times \frac{0,1}{0,5} \times 14,6 \text{ m}$$

$$S > 0,1752 \text{ m}$$

Basados en los datos de la norma NTC 4552-3 2008 los valores de los coeficientes que son utilizados en la selección del SIPRA II para k_i , y k_m , tomados de las tablas 11 y 13 respectivamente, son:

$k_i = 0,06$, $k_m = 0,5$,

$l = 14,6 \text{ m}$. donde l es la altura sobre el anillo conductor.

- **Cálculo de la corriente parcial de rayo, I_f**

$$I_f = k_e \times I$$

Para la solución de la siguiente ecuación los valores de z y z_1 son 13 y 6 respectivamente. Estos valores son tomados de la tabla A.1. del apéndice A de la NTC 4552-3.

El valor de n_1 es 2, corresponde al número de acometidas subterráneas de la instalación.

$$k_e = \frac{z}{k_1 + z \left(n_1 + n_2 \times \frac{z_1}{z_2} \right)}$$

$$k_e = \frac{z}{k_1 + z \left(n_1 + n_2 \times \frac{z_1}{z_2} \right)}$$

$$k_e = \frac{z}{k_1 + z (n_1)}$$

$$k_e = \frac{6}{13 + 6 (2)}$$

$$k_e = 0,24$$



Para el nivel de protección 2, según la norma NTC 4552-1 el valor de corriente de impulso de rayo es de 150 kA (ver tabla 5), con este valor y el valor de k_e hallado, se reemplaza en la ecuación de la corriente parcial del rayo y entonces se tiene que:

$$I_f = 0,24 \times 150$$

$$I_f = 36 \text{ kA}$$

Ahora reemplazando este valor en la siguiente ecuación se obtendrá la sección transversal mínima para el aislamiento, la cual se selecciona con un SIPRA II.

$$S_{min} = \frac{I_f \times \delta_c \times L_c \times 10^6}{U_c}$$

$$S_{min} = \frac{\left(\frac{36 \times 10^3}{3}\right) \times (28,264 \times 10^{-9}) \times 100 \times 10^6}{1,5 \times 10^3}$$

$$S_{min} = 22,6112 \text{ mm}^2$$

De acuerdo a lo anterior para equipotencializar el edificio se deben llevar a cabo las siguientes disposiciones:

- a. Debido a que la entrada de las acometidas de potencia y de datos, están alejadas por lo menos 19 m del barraje principal ubicado en la subestación, se recomienda el uso de mínimo dos barrajes equipotenciales. El primero será ubicado en la subestación y tendrá como objeto equipotencializar la planta de subsótano y el primer piso, además de la red regulada de potencia. El segundo se ubicará cerca de la entrada de datos y se encargara de los elementos de la segunda planta, de la red estructurada y de la canaleta por la cual se realiza la distribución interna.

Sin embargo, como la ubicación del control de comunicaciones y la red estructurada no está definida, se recomienda disponer de un sitio único para este sistema y desalojar los espacios que están ocupando, por ejemplo, el gabinete de control del segundo piso que obstaculiza el acceso a los tableros de distribución de esta planta.

- b. Al existir más de un barraje equipotencial se debe construir una red equipotencial en forma de malla que garantice la continuidad eléctrica.

- c. Como el objetivo es una red equipotencial eficiente y aprovechar la pantalla otorgada a los conductores de potencia por el tubo conduit es necesario unirlo en sus dos extremos a la red equipotencial por medio de DPS.
- d. La pantalla de los conductores de la acometida de datos y potencia debe equipotencializarse en los barrajes de entrada para cada sistema. De esta forma se reducen el riesgo de falla por conducción de corrientes de impulso e inducción de sobretensiones de rayo.
- e. La tubería de aire comprimido deberá equipotencializarse en el barraje de la subestación, de la misma forma los ductos de aire acondicionado y el sistema de aire.
- f. La red dispondrá de un anillo que garantice la unión al sistema de tierra de la carcasa de los equipos y máquinas en los laboratorios. Este conductor debe ser en cobre y de un diámetro de 14 mm^2 (ver tabla 9 numeral 6.2.2 de la NTC 4552-3)
- g. Deben unirse a la red equipotencial las escaleras metálicas, los portones metálicos y las puertas de todo el edificio. Además, con el objeto de garantizar la continuidad eléctrica la canaleta y bandeja porta cable deben estar unidas por medio de un puente equipotencial como se observa en la fotografía 10.



Fotografía 10 Equipotencialización de la canaleta

Fuente: (Ospina F. C.)

- h. Al existir un sistema de puesta a tierra para la red regulada, la red estructurada y la de potencia, estas deben unirse en el barraje equipotencial de la subestación.
- i. La torre de enfriamiento del exterior a si como las unidades de aire acondicionado externas y las mallas de protección dispuestas alrededor de



estos equipos deben unirse a la red equipotencial y al sistema de puesta a tierra.

- j. La azotea es un espacio especial porque existen diversos equipos que son necesarios unir a la red equipotencial y aprovechando la ubicación del sistema de captación y los bajantes. Se propone un anillo equipotencial que rodee la periferia de la azotea y sirva para equipotencializar los equipos, la armadura del domo y los conductos eléctricos, además de la carcasa de las lámparas externas.

4.5 SELECCIÓN DE DPS

Utilizando la metodología descrita en numeral 3.9 se realiza la siguiente selección:

- a. Se identificaron tres zonas de protección:
- Zona de protección ZPR0
 - Zona de protección ZPR1
 - Zona de protección ZPR2.
- b. Configuración de la red: esta tiene una configuración TN-C-S⁵⁰
- c. Condiciones tensión/corriente para las zonas de protección:
- **Zona de transición entre la zona de protección ZPR0 y ZPR1:**

Tensión máxima de servicio $U_c \geq 1,1 U_o \Rightarrow U_c \geq 264 \text{ V}$

Corriente nominal, $I_N \rightarrow I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L} \rightarrow I_N = \frac{225 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} \rightarrow I_N = 590,5 \text{ kA}$

La corriente de impulso de rayo.

$I_{imp} \rightarrow$ corriente de dimensionamiento clase I:

$$DPS_{Clase I \text{ dim}} = \frac{0,5 I_{imp}}{n_f}$$

⁵⁰ La red TN-C-S es un sistema con conductor de neutro y conductor de protección separados. Ver figuras 34 y 35 pág. 70.



$$DPS_{Clase I dim} = \frac{0,5 \times (150 \times 10^3)}{3}$$

$$DPS_{Clase I dim} = 25 \text{ kA}$$

El DPS que se usa en esta zona de transición es un DPS clase I (10 / 350 μ s) se recomienda el uso de la combinación vía chispas / varistor para evitar los elementos de desacople.

- **Zona de transición entre la zona ZPR1 y la zona ZPR2**

La zona de transición entre la ZPR1 y la ZPR2 está relacionada con cada uno de los equipos que la conforman:

Salón de prototipos: los DPS irán localizados en los tomacorrientes de los computadores; son clase II (80 / 20 μ s). Este DPS será tipo MOV.

Tensión nominal $U_0 = 120 \text{ V}$,
Nivel de protección $U_p = 0,6 \text{ kV}$.

- a. Salón ensayo docencia: el DPS de esta sala es trifásico clase II (80 / 20 μ s). Este DPS es tipo MOV. Se localizará en el tomacorriente trifásica del equipo.

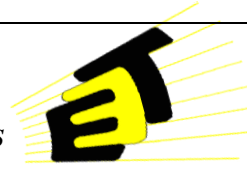
Tensión de servicio $U_0 = 207 \text{ V}$,
Nivel de protección $U_p = 1,5 \text{ kV}$.

- b. Salón laboratorio de estructuras: Los DPS de esta sala son trifásico clase II (80 / 20 μ s); Estos DPS son tipo MOV. Se localizarán en el tomacorriente trifásica de cada equipo.

Tensión de servicio $U_0 = 207 \text{ V}$,
Nivel de protección $U_p = 0,6 \text{ kV}$.

4.6 PANORAMA DE RIESGO FUTURO

Aplicando el anterior diseño para el sistema de protección interno y escogiendo un nivel de protección contra rayos NPR II, se calcula nuevamente el nivel de riesgo de la edificación utilizando el programa de la Universidad Industrial de Santander. Se concluye que el nivel de protección II cumple con los riesgos tolerables



exigidos en la norma NTC 4552-1-2-3 de 2008 ya que los riesgos calculados son inferiores a los tolerables según la norma como se observa en la tabla 41.

Tabla 41 Riesgos tolerables vs riesgos calculados para el panorama futuro

Categoría de pérdidas	Riesgos tolerables	Riesgos calculados
Pérdidas humanas	$\leq 1 \cdot 10^{-5}$	$1,53584 \cdot 10^{-6}$
Pérdidas de servicios esenciales	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	0,000923276
Pérdidas culturales	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	0
Pérdidas económicas	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	0,000923276

Desde la figura 52 hasta la figura 57 se anexan los resultados obtenidos por el programa.

Evaluación del número anual N de eventos peligrosos

Introducir DDT: 1

Evaluación del promedio anual de descargas sobre la estructura
 Seleccionar localización relativa de la estructura. Cd
 Rodeado de objetos o árboles de igual altura o menor. Cd=0.5.
 Dimensiones de la estructura en metros.
 Largo L Ancho W Alto H
 33,2 44,5 17,25

Seleccionar factor de corrección del tipo de transformador. Ct
 Con devanado primario y secundario desacoplados. Ct=0.2.

Dimensiones de la estructura adyacente en metros.
 Largo L Ancho W Alto H
 0 0 0

Seleccionar factor ambiental Ce
 Urbano: Edificaciones entre 10m y 20m. Ce=0.1.

Resistividad p en Ohm-m para secciones subterráneas 200

NOTA

Acometida de potencia

Sección aérea
 Evaluar
 Introducir longitudes en metros
 Lc Ha Hb Hc
 [] [] [] []

Sección subterránea
 Evaluar
 Introducir longitudes en metros
 Lc Ha Hb
 193 0 0

N_L	0
N_I	0

N_L	0.000272943
N_I	0.00136472

Acometida de telecomunicaciones

Sección aérea
 Evaluar
 Introducir longitudes en metros
 Lc Ha Hb Hc
 [] [] [] []

Sección subterránea
 Evaluar
 Introducir longitudes en metros
 Lc Ha Hb
 350 0 0

N_L	0
N_I	0

N_L	0.000494975
N_I	0.00247487

Resultados de la evaluación de número anual N de eventos peligrosos

C_d	0.5
A_d	9.23235e+007
N_D	46.1618
C_t	0.2
$A_{d/a}$	0
N_{D_a}	0
A_m	584850
N_M	0
C_e	0.1

Figura 52 Evaluación de número anual de eventos peligrosos para el edificio Caracterización de materiales “Álvaro Beltrán Pinzón”

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)



Evaluación de las probabilidades PA, PB, Pc, Pm, P'B, P'c, P'v, P'w y P'z

Evaluación de PA, PB y Pc

Medidas de protección: Aislamiento, equipotencialización y avisos. PA=0.00001.

Protección contra rayos: Nivel II. PB=0.05.

Nivel de protección de DPS: Nivel II. Pc=0.02.

Probabilidad de daño de sistemas internos. PM

Con cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial.

Uw en kV w en metros

2,5 3,5 Cable apantallado con resistencia de pantalla 5<Rs<=20 Ohm/km. Ks3=0.001.

Sistemas internos sin equipos con niveles de soportabilidad al impulso inferiores a los estándar.

Es provisto un sistema coordinado de protección y reducción de fallas de sistemas internos.

Evaluación de P'B, P'c, P'v y P'w

Acometidas de servicios con conductores metálicos no apantallados. **No evaluar las demás opciones de este recuadro**

n acometidas Rs: Resistencia del apantallamiento en Ohm/km

P'v para líneas de telecomunicaciones

Líneas de telecomunicaciones con apantallamiento de aluminio. Ia=20kA.

Evaluación de P'z

Apantallamiento y equipo unido a barra equipotencial. Rs<=1 Ohm/km. PL1 de P'z

Se implementan DPSs conforme a la normatividad nacional vigente. P'z

Resultados de la evaluación de las probabilidades de daño Px

PA	1e-005
PB	0.05
Pc	0.02
Ks3	0.0001
Ks3	0.00010584
PM	0.0001
PM	0.0001
PL	
Ks	
Ks	
Uw	
Ia: P'B, Pc	0
Ia: P'v, P'w	0
P'B, P'c de Ia	1
P'v, P'w de Ia	1
P'B	1
P'c	1
P'v	1
P'w	1
P'z	0.002

Figura 53 Evaluación de las probabilidades

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)

Evaluación de las probabilidades Pu, Pv, Pw y Pz

Evaluación de Pu, Pv, Pw y Pz, en la sección subterránea de la acometida de potencia. EVALUAR

Cable apantallado con resistencia de pantalla 1<Rs<=5 Ohm/km. Uw en kV

Los DPS cumplen los requerimientos de equipotencialización. 2,5

Existe coordinación de DPSs para protección y reducción de fallas de sistemas internos.

Apantallamiento y equipo unido a barra equipotencial. 1<Rs<=5 Ohm/km.

Evaluación de Pu, Pv, Pw y Pz, en la sección subterránea de la acometida de telecomunicaciones. EVALUAR

Cable apantallado con resistencia de pantalla Rs<=1 Ohm/km. Uw en kV

Los DPS cumplen los requerimientos de equipotencialización. 0,6

Existe coordinación de DPSs para protección y reducción de fallas de sistemas internos.

Apantallamiento y equipo unido a barra equipotencial. Rs<=1 Ohm/km.

Resultados

Pu	0.1
Pu	2e-007
Pv	0.02
Pw	0.02
PL	
Pz	0.02

Resultados

Pu	0.02
Pu	2e-007
Pv	0.02
Pw	0.02
PL	0.002
Pz	0.002

Figura 54 Evaluación de las probabilidades Px para las acometidas



Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)

Evaluación de la cantidad de pérdidas Lx

Lt de L1 Todos los tipos estructura: Personas dentro de la estructura. Lt=1e-4 de L1.
Lf de L1 Industrial, comercial y escuelas. Lf=0.05 de L1.
Lo de L1 Sin riesgo de explosión.
ra y ru Agricultura, concreto. ra=ru=0.01.
rp Extintores manuales, alarmas manuales, hidrantes, compartimientos contra el fuego, rutas de evacuación. rp=0.5.
rf Ninguno. rf=0.
hz Nivel bajo de pánico: Edificaciones de dos pisos y no más de 100 personas. hz=2.
Lf y Lo para L2 TV, TLC, suministro de potencia. Lf=0.01. Lo=0.001. De L2.
Lf de L4 Hoteles, escuelas, oficinas, centros comerciales, iglesias, bancos. Lf...
Lo de L4 Museos, uso agrícola, escuelas, iglesias, centros comerciales. Lo=0.001 de L4.

Pérdidas de vidas humanas		Pérdidas del servicio público		Pérdidas de valor cultural		Pérdidas económicas	
L _A	L _B	L _S	L _C	L _S	L _V	L _A	L _U
1e-006	0	0	0.001	0	0	1e-006	1e-006
1e-006	0	0	0.001	0	0	0	0
0	0	0.001	0.001	0	0	0	0
0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001
0	0	0.01	0.001	0	0	0.001	0.001
0	0	0.01	0.001	0	0	0.2	0.2
0	0	0.01	0.001	0	0	0.001	0.001
0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001
0	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001

Figura 55 Evaluación de la pérdidas Lx

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)

Evaluación de componentes de riesgo

Estructura con riesgo de explosión, hospital u otra estructura donde la falla de sistemas internos ponga en peligro la vida humana
 Propiedad dode pueda haber pérdida de animales
 Se calcula para exteriores
 Existe equipo sensible

Figura 56 Evaluación de componentes de riesgo

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)



Resultados de la evaluación de riesgo y sus componentes

Riesgo de pérdida de vida humana. R_1		Riesgo de pérdida del servicio público. R_2		Riesgo de pérdida de patrimonio cultural. R_3		Riesgo de pérdida de valor económico. R_4	
R_A	0	R_B	0	R_B	0	R_A	0
R_B	0	R_C	0.000923235	R_V	0	R_B	0
R_C	0	R_M	0	R_3	0 CUMPLE	R_C	0.000923235
R_M	0	R_V	0			R_M	0
R_U	1.53584e-016	R_W	1.53584e-008	R_U	0	R_U	0
R_V	0	R_Z	2.57953e-008	R_V	0	R_V	0
R_W	0	R_2	0.000923276 CUMPLE	R_W	1.53584e-008	R_W	1.53584e-008
R_Z	0			R_Z	2.57953e-008	R_Z	2.57953e-008
R_1	1.53584e-016 CUMPLE	Riesgo de pérdida de servicio público. R'_2		Riesgo de pérdida de valor económico. R'_4		R_4	0.000923276
		R'_B	0.461618	R'_B	9.23235		
		R'_C	0.0461618	R'_C	0.0461618		
		R'_V	7.67918e-006	R'_V	0.000153584		
		R'_W	7.67918e-007	R'_W	7.67918e-007		
		R'_Z	6.14334e-009	R'_Z	6.14334e-009		
		R'_2	0.507788	R'_4	9.27867		

Figura 57 Resultado de la evaluación de riesgo y sus componentes

Fuente: (Proyecto de grado evaluación de riesgo para edificaciones de uso final, Nestor Villa, Angel Guarin, 2010)



5. CONCLUSIONES

Se estableció en el capítulo dos que el sistema de protección interno SPI, hace parte de un conjunto integral y trabaja en armonía con el sistema de protección externo. Por lo tanto; no pueden ser separados, ni considerados en un diseño de forma independiente. Se deja claro que el SPI depende de las características de la instalación, del uso de la misma, del tipo de sistema externo empleado para la protección de la edificación de uso final, de las zonas de protección, de la distancia de separación entre otros. Todos estos conceptos son plasmados en la guía para el diseño del sistema de protección interno SPI.

Se muestra que la implementación del SPI inicia con la correcta equipotencialización de la instalación. Además, la documentación presenta una guía técnica básica para la aplicación de este concepto dando respuesta a las preguntas más frecuentes en el diseño de una red equipotencial y proporciona expresiones matemáticas necesarias que respaldan las decisiones que son tomadas.

Se crea una guía básica de selección de los dispositivos de protección contra sobretensiones, DPS, recorriendo desde el concepto básico de sobretensión, pasando por la teoría de clasificación, coordinación e instalación, hasta definir una metodología de selección.

Se aplican todos los conocimientos, información y metodologías compiladas durante la investigación en el diseño del sistema de protección interno del edificio Caracterización de Materiales “Álvaro Beltrán Pinzón”. En este ejemplo se mostró que la correcta implementación de un Sistema de Protección Interno SPI de acuerdo a lo estipulado en la NTC 4552-1-2-3 disminuye el riesgo de la instalación.

Se evidencia la importancia de un correcto diseño del sistema de protección interno mostrando la necesidad de generar un marco normativo especializado y complementario a la serie de normas NTC 4552-1-2-3 que especifique las disposiciones técnicas mínimas para la implementación de un SPI.



6. RECOMENDACIONES

Al inicio de todo proyecto de investigación es necesario definir los objetivos que se quieren alcanzar; porque ellos marcan el camino que se debe seguir. Por lo tanto, en la investigación son los objetivos los que definen las actividades a realizar. Estos deben ser puntuales y tangibles, es decir, que cuando se alcancen se puedan respaldar por un documento o memoria de cálculo.

Se recomienda el uso de material actualizado ya sean planos, memorias de cálculo, normas técnicas entre otros. Además, todo material debe ser contrastado con la realidad para evitar diseños erróneos e ineficientes. Por ejemplo, se deben verificar las longitudes de las acometidas y el plano unifilar. También, se deben constatar los resultados del software que se utilizó.

Los diseños deben ir a la vanguardia con la tecnología, y los métodos que se aplican en el mercado; las expresiones matemáticas deben adaptarse a estas circunstancias. Por ejemplo, actualmente se implementan sistemas de puesta a tierra y de protección externa contra rayos en acero inoxidable y no solo en cobre. Los sistemas de protección contra sobretensiones no solo se basan en la aplicación del MOV, también existen otras tecnologías que marcan nuevas formas de coordinación.

Cualquier proyecto que involucre varias ramas de la ingeniería debe ser desarrollado de forma integral; es decir, el ingeniero electricista debe conocer la instalación, su uso, su ubicación, las características de construcción y trabajar de la mano con el arquitecto, el ingeniero civil o dueño de la instalación para que el diseño sea óptimo, estético y rentable.

Es necesario generara referencias normativas del sistema de protección interno y de los dispositivos de protección contra sobretensiones que proporcionen pautas mínimas de diseño, instalación y mantenimiento de un SPI.



BIBLIOGRAFÍA

CASAS OSPINA, Favio. Tierras soporte de la seguridad eléctrica. Bogotá: ICONTEC, 2008.

CONFERENCIA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PROTECCIÓN EXTERNA (2008: Bogotá). Memorias de la Conferencia Descargas Atmosféricas Protección Externa. Bogotá: GREyP, 2008.

CONFERENCIA PROTECCIÓN INTERNA: PROTECCIÓN DE EQUIPO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO BAJO NORMA INTERNACIONAL IEC (2008: Bogotá). Memorias de la Conferencia Protección Interna: Protección de Equipo Eléctrico y Electrónico bajo Norma Internacional IEC. Bogotá: GREyP, 2008. p. 35.

CONFERENCIA RAYOS VIVIR PARA ADMIRARLOS (2007: Lima). Memorias de la Conferencia Rayos Vivir para Admirarlos. Lima: Segelectrica, 2007.

CONFERENCIA REDES CONFIABLES Y SEGURAS. Memorias de la Conferencia Redes Confiables y Seguras. Segelectrica.

DPTO, TÉCNICO ELECTROPOL. Los cinco pilares de la protección contra rayos: Especificaciones deseables de un DPS. En: Revista Ingesocios. Vol. 05 No. 35 p. 20-21

GUÍA DE DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, Schneider Electric, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. 77p. :il (NTC 4552-1)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. 63p. :il (NTC 4552-2)



INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN,
Protección contra rayos, Bogotá: ICONTEC, 2008. 151p. :il (NTC 4552-3)

LIGHTNING PROTECTION HANDBOOK, Eritech, 2009

MANUAL DE COORDINACIÓN ENERGÉTICA ENTRE DESCARGADORES,
Madrid: Dehn + Sohne, 2010

MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, Madrid: Dehn + Sohne, 2007

MINIGUÍA DE SOBRETENSIÓN, Álava: ZIGOR, 2007

RÚGELES MANTILLA, Cayetano. Protección contra rayos. En: CONFERENCIA
RETIE (2009: Bucaramanga). Memorias de la Conferencia RETIE. Bucaramanga:
RIG, 2009.

SEMINARIO PROTECCIÓN CONTRA SOBRTENSIONES TRANSITORIAS EN
REDES DE BAJA TENSIÓN (2009: Caracas). Memorias del Seminario Protección
contra Sobretensiones Transitorias en Redes de Baja Tensión, Caracas: Dehn
Sohne, 2009.

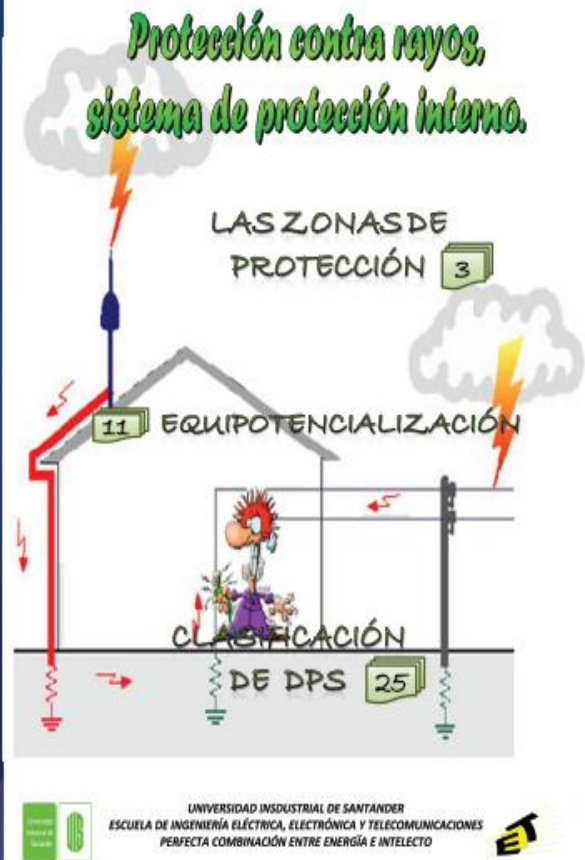
SEMINARIO TALLER LOS CINCO PILARES DE LA PROTECCIÓN CONTRA
RAYOS (2010: Bucaramanga), Memorias del Seminario Taller Los Cinco Pilares
de la Protección contra Rayos, Bucaramanga: Electropol, 2010

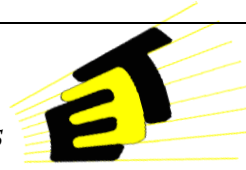
TORRES SÁNCHEZ, Horacio. Protección contra rayos. Bogota: ICONTEC, 2008.

VILLA, Néstor y GUARIN, Ángel Eusebio. Evaluación de riesgo para edificaciones
de uso final. Bucaramanga, 2010, 205p. Trabajo de grado (Ingenieros
Electricistas). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico
Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

ANEXOS

ANEXO 1 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO (GUÍA BÁSICA)





PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

C
o
n
t
e
n
i
d
o

EL SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO SPI

----- 2

LAS ZONAS DE PROTECCIÓN

----- 3

EQUIPOTENCIALIZACIÓN

----- 11

DISTANCIA DE SEPARACIÓN

----- 22

LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

----- 24

CLASIFICACIÓN DE LOS DPS

----- 25

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

El sistema de protección interno SPI

El rayo puede generar interferencias electromagnéticas al interior de las instalaciones ya sea por inducción o por conducción; por lo tanto se debe diseñar un sistema que permita eliminar o mitigar estos efectos.

La norma define el Sistema de Protección Interno SPI como parte de un SIPRA que consiste en una conexión equipotencial de rayo y acorde con la distancia de separación dentro de la estructura protegida.

Los principales problemas que enfrentan los sistemas internos son las sobrecorrientes, sobretensiones y el acople magnético producidos por las perturbaciones electromagnéticas generadas por el rayo. Para evitar los daños internos se deben revisar los siguientes componentes del SPI, en la figura 1 se muestra un esquema general de un SPI:

```

            graph TD
            A[SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO] --> B[ EQUIPOTENCIALIZACIÓN Y APANTALLAMIENTO ]
            A --> C[ DISTANCIA DE SEPARACIÓN ]
            A --> D[ DPS ]
            
```

Figura 1 Componentes del SPI
Fuente: (Autores)

Los fenómenos electromagnéticos del rayo no se aprecian solamente por el impacto directo en las estructuras; también están presentes cuando el rayo incide sobre una estructura cercana. Por otro lado pueden entrar a la instalación por las redes de datos, las acometidas y las instalaciones de los demás servicios domésticos.

Por otra parte, los efectos del rayo son disipados solo en un 50% por el sistema de protección externo; es decir, el 50% de los efectos electromagnéticos entran a las instalaciones y pueden ocasionar sobretensiones, sobrecorrientes y acoplamientos magnéticos, por lo que se deben proteger las instalaciones de estos fenómenos. Bajo esta perspectiva es necesario implementar un sistema de protección interno, que proteja a las personas y a los equipos.

Para proteger las instalaciones es necesario seguir los siguientes pasos básicos:

1

2



<div data-bbox="389 640 787 703" style="text-align: center;"> <p>PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ➢ Definir zonas de protección ➢ Equipotencializar ➢ Apantallar efectivamente de los conductores ➢ Implementar la instalación de DPS. <h2 style="text-align: center;">Las zonas de protección</h2> <p>La necesidad de proteger los sistemas eléctricos, dispositivos electrónicos, y las personas dentro de las instalaciones eléctricas, llevan a realizar una serie de análisis para estas instalaciones dependiendo del tipo de instalación. El estudio a realizar debe modificarse con el fin de atender todos los factores de riesgo y la demanda de los equipos instalados.</p> <p>El tipo de instalación obedece al uso de la misma o a los equipos que se encuentran en ella. Por ejemplo, están las instalaciones residenciales, hospitalarias e industriales por nombrar algunas. Además, se debe tener información sobre los impulsos electromagnéticos, las corrientes máximas y mínimas entre otros factores del rayo, que son los responsables de los diferentes daños producidos dentro de las instalaciones.</p> <p>A partir de estos conceptos, se han formulado una serie de parámetros y modelos que ayudan al entendimiento del fenómeno del rayo y de las consecuencias de un impacto directo o cercano a la estructura. De esta forma ha sido posible generar alternativas de protección o atenuación de los efectos del rayo.</p> <p>En una instalación de uso final podrían presentarse fallas como sobretensiones, campos magnéticos inducidos y perturbaciones electromagnéticas que propician riesgos para las personas, estructuras y equipos.</p> <p>De acuerdo con estos tipos de fallas se han realizado estudios que han aportado una serie de datos estadísticos permitiendo dividir la estructura en zonas, dependiendo de las descargas de los rayos y de los efectos causados en la instalación.</p> <p>Definir estas zonas de protección contra rayos (ZPR) sirve como herramienta para emplear significativamente la protección más adecuada, la norma NTC 4552-1 presenta los tipos de ZPR, que se listan a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ZPR 0_a: Expuesto a impactos directos del rayo. La corriente y el campo magnético del rayo son amortiguados. • ZPR 0_b: protegido contra impactos directos de rayo. La corriente parcial o inducida del rayo y el campo magnético no son amortiguados. <div style="text-align: right; background-color: #4CAF50; color: white; padding: 5px; width: 40px; margin-left: auto;">3</div>	<div data-bbox="974 640 1372 703" style="text-align: center;"> <p>PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> • ZPR 1: protegido contra impactos directos del rayo. La corriente parcial o inducida del rayo y el campo magnético son amortiguados. • ZPR 2...n: Como la ZPR 1 pero el campo magnético es más amortiguado. <p>Tomando en cuenta lo citado en las notas de la norma NTC 4552 se dice que en cuanto más alto es el número de la zona individual, más bajos son los valores de los parámetros electromagnéticos del ambiente. Y además para muchos sistemas eléctricos y electrónicos y otros dispositivos, la información sobre el nivel disruptivo puede ser suministrada por el fabricante¹.</p> <p>De acuerdo a lo anterior, si una estructura tiene una punta captadora tipo Franklin; que es el primer equipo de protección frente a la descarga del rayo, recibiendo así la corriente máxima sin atenuación, el campo electromagnético máximo y los impulsos electromagnéticos máximos, se identificará esta zona como la ZPR0.</p> <p>Ahora si se observa un DPS puesto dentro de la estructura, solo recibiría un porcentaje menor de la corriente máxima presentada en la punta tipo Franklin y tanto el campo electromagnético y los impulsos electromagnéticos estarían atenuados en un porcentaje considerable, que es la identificación de la ZPR1.</p> <p>Esta comparación muestra que entre más divisiones de zonas se encuentren los equipos a proteger estarán mejor resguardados contra las descargas de rayo y sus componentes, debido a que en la ZPR0 la descarga del rayo es directa y en la ZPR1 la descarga es indirecta, haciendo la diferencia de los parámetros electromagnéticos entre zonas.</p> <p>También como regla general para la protección, el objeto protegido estará en una ZPR cuyas características electromagnéticas sean compatibles con la capacidad del objeto para soportar el esfuerzo causa del daño a reducir (daños físicos, fallas de los sistemas eléctricos y electrónicos debidas a sobretensiones).</p> <p>Por ejemplo, los niveles disruptivos de los equipos deben ser verificados por el usuario para asegurar su capacidad frente a dichos niveles, teniendo en cuenta las certificaciones que permiten conocer si el dispositivo a usar cumple con los requisitos establecidos por las normas de fabricación, además, de estar en óptimas condiciones para ser instalados de acuerdo al tipo de instalación que se requiera.</p> <p>En la figura 2 se muestra como están ubicadas las zonas de protección.</p> <div style="text-align: right; background-color: #4CAF50; color: white; padding: 5px; width: 40px; margin-left: auto;">4</div>
--	--

¹NTC-4552-1, pág. 19, 2008



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Figura 2 Zonas de Protección contra Rayos ZPRi definidas para un SPRa
 Fuente: (Dein, 2009)

ZONAS EXTERNAS²

ZPRo: Zona donde no existe atenuación del Impulso electromagnético (IEMR) y donde los sistemas internos pueden conducir corrientes totales o parciales de rayo. Se divide en dos:

- **Zona de protección ZPRo₁:** Esta expuesta a impactos directos de rayo y debe soportar la corriente total del rayo. Los campos electromagnéticos son muy intensos y no atenuados. Aquí es donde se experimentan los eventos de alta energía, por ejemplo, 50 kA, 10/350 μ s/conductor.
- **Zona de protección ZPRo₂:** Zona protegida contra impactos directos pero existen IEMR sin atenuar y los sistemas internos pueden conducir corrientes parciales de rayo. Los campos electromagnéticos son intensos, no atenuados, por ejemplo, para pruebas con ondas de tensión 10 kV, 1,2/50 μ s y para pruebas con ondas de corriente 5 kA, 8/20 μ s.

Ahora bien conociendo la incidencia que el rayo presenta dentro de cada una de estas subzonas, es recomendable instalar en la primera una protección que disminuya en una buena proporción las características de impacto primario del

² Protección contra rayos, Hiramio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 373

5

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

rayo como lo son la corriente máxima y los campos electromagnéticos de mayor intensidad, seleccionando los bajantes naturales (tubo de desagüe, escaleras de emergencia y objetos metálicos que podrían conducir la descarga del rayo), además de bajantes artificiales o captadores que se requieran instalar y que sean necesarios para la protección, cada uno de estas bajantes o captadores necesariamente tendrían que estar a un mismo potencial y ser parte de el sistema de puesta a tierra que la estructura necesita después de haber hecho el análisis de los niveles de protección, para que en la siguiente zona las componentes del rayo presenten una proporción menor que la inicial.

Las ZPRo₁ y ZPRo₂ son subzonas que se pueden identificar de forma muy sencilla porque su campo visual se refiere a toda la parte exterior del edificio, reconociendo que está expuesta a los impactos directos del rayo, este hecho las ubica en un punto de importancia elevado porque su nivel de riesgo frente a otras zonas es mayor.

En la grafica 3 se observa la ubicación de la ZPRo₁ y la ZPRo₂:

Figura 3 Subzonas de protección ZPRo₁ y ZPRo₂
 Fuente: (Autoren)

ZONAS INTERNAS (PROTEGIDOS CONTRA IMPACTOS DIRECTOS DE RAYO)³

- **Zona de protección ZPRI:** Zona donde la corriente de rayo está limitada por división de corriente y protegida mediante DPS en las fronteras. Los IEMR pueden estar atenuados mediante apantallamiento.

La visualización de esta zona también es sencilla porque está ubicada dentro de la estructura y depende de los equipos a proteger, además, porque los equipos cuentan con sus parámetros característicos los

³ Protección contra rayos, Hiramio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 373

6



<p style="text-align: center;"> PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO </p> <p>cuales ayudan en el diseño del sistema de protección interno. La información dada por el fabricante en sus fichas técnicas, muestra una idea de cuanto corriente y cuáles son los puntos de ruptura y perturbación a los cuales pueden ser sometidos, por estas razones es necesario que el campo electromagnético que se presente en esta zona este amortiguado o disminuido casi en su totalidad. En la figura 4 se identifica la ZPR1:</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">Figura 4 Zona de protección ZPR1 Fuente: (Handbook Estrech, 2000, pág. 89)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zona de protección ZPR2...n: Zona donde la corriente de rayo puede estar adicionalmente limitada por la división de corriente y por instalación adicional de DPS. Se pueden usar apartamientos adicionales para atenuar aún más los IMER. <p>La identificación de una ZPR2, ZPR3... ZPRn depende del equipo eléctrico que se quiere instalar dentro de la estructura, las protecciones eléctricas en general pretenden alcanzar un solo objetivo cuando son instaladas, siempre se busca disminuir el riesgo tanto en las personas como en los equipos, y en esta zona la atenuación de los factores de rayo debe ser nula o buscar ese objetivo.</p> <p>Una buena forma de explicar la diferencia de amortiguamiento de los campos electromagnéticos entre la zona ZPR1 y la zona ZPR2 es ver que tan complejo es el equipo seleccionado para instalar y los parámetros de diseño, para así conocer cuáles son las proporciones que se deben tener en cuenta frente a las componentes del rayo que hacen que los campos electromagnéticos aumenten o disminuyan y con esto saber qué clase de DPS se instalarán en la frontera de las zonas.</p> <p style="text-align: right; font-size: 2em; font-weight: bold;">7</p>	<p style="text-align: center;"> PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO </p> <p>Las zonas de transición se caracterizan por ser los límites entre las zonas mencionadas anteriormente, para la visualización de estas zonas se debe tener en cuenta los elementos de protección contra rayos que se instalan entre zonas, como se podría presentar entre la ZPR0, y la ZPR1 la cual mostraría el descargador de corriente de rayo como la punta tipo Franklin, entre la ZPR0 y la ZPR1 en la cual estarían presentes los DPS y entre la ZPR1 y ZPR2, ZPR3... ZPRn en la cual también estarían presentes los DPS ya que entre estas zonas los equipos más complejos necesitarían DPS con diferentes especificaciones adecuados para esta clase de protección.</p> <p>Para asegurar la protección de las distintas zonas, es conveniente utilizar diferentes DPS en cada una de ellas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zona de transición ZPR0, hacia ZPR1: el DPS a utilizar es el descargador de corriente de rayo. • Zona de transición ZPR0, hacia ZPR1: el DPS a utilizar es el descargador de sobretensiones. • Zona de transición ZPR1 a ZPR2 y zonas superiores: el DPS a utilizar es un descargador de sobretensiones. <p>Protegidos bajo este concepto, se pueden evitar fallas y averías en los equipos e instalaciones eléctricas y electrónicas, incluso en el supuesto de Impactos de rayo directos o cercanos.</p> <p>En la figura 5 se observan la clasificación de las zonas de protección en internas y externas y las fronteras o zonas de transición entre cada una.</p> <p>Adicional a las ZPR, se deben considerar las siguientes medidas básicas de protección interna:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los apartamientos atenúan el campo magnético dentro de un ZPR, por impactos directos o cercanos de rayo a la estructura y reduce las sobretensiones transitorias internas. • El blindaje de redes internas eléctricas o de comunicación usando cables apantallados o ductos para cables, esto minimiza la sobretensiones inducidas. • Los conductores internos deben estar adecuadamente cableados con el fin de evitar lazos inductivos que puedan generar sobretensiones perjudiciales para los sistemas internos, adicionalmente se pueden utilizar cables apantallados o dispuestos dentro de conductores metálicos para reducir efectos inductivos. <p style="text-align: right; font-size: 2em; font-weight: bold;">8</p>
--	---



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Zonas de protección contra descargas atmosféricas

Zonas de protección externa
Zonas de protección interna

Figura 5 Zonas de protección interna y externa
Fuente: (Conferencia CIGEDYP energías, 2006, pág. 35)

- El apantallamiento de redes externas que entran a la estructura reduce las sobretensiones que son conducidas al interior de la estructura.⁴

Para considerar las zonas que se descubrieron anteriormente se deben tener en cuenta las condiciones electromagnéticas que están presentes en cada zona de protección, cada uno de los bajantes o superficies naturales que están presentes en dichas zonas.

Lo que se busca con este tipo de selección de zonas es permitir un diseño óptimo del SIPRA acorde a la estructura a proteger. Al observar la selección de las ZPR se encuentra que dicha clasificación se centra en el concepto que depende de la caída del rayo y está ligado al mismo, se hace referencia a los impulsos electromagnéticos generados por los rayos (IEMR).

Por ejemplo, si se tiene un edificio al cual se le va a diseñar la protección; el primer paso sería dividirlo en las zonas. Según esta división el edificio estaría protegido de acuerdo a los parámetros de cada zona y a los riesgos que asume; es decir, se adecuaría el edificio según su necesidad de riesgo y esta herramienta permitirá concentrar cierto cuidado en las zonas más expuestas. Además, permitirá tener en cuenta la interconexión con las diferentes zonas, sus transiciones y las protecciones naturales que pueden ser aprovechables en el levantamiento o diseño de la protección deseada.

En la figura 6 se ilustra un ejemplo del concepto de zonas de protección:

9

⁴ibid, pág. 374

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

- En la zona ZPR0, Impacto directo de rayos, se observa el sistema de protección externo y la arriera que forma parte de los bajantes naturales, además de la protección de la chimenea.
- En la zona ZPR1, Impacto indirecto de rayos e Inducción electromagnética, se protegen los sistemas eléctricos principales y las acometidas eléctricas y de datos.
- En la zona ZPR2, Impacto indirecto del rayo, se protegen las áreas de comunicación y computo que las sensibles de acuerdo a la figura.
- En la zona ZPR3, Impacto indirecto del rayo, protección fina: en la figura 6 se observa que las protecciones están lo más cerca posible del elemento a proteger, en este caso los computadores y el servidor.

HB - Tablero de distribución principal
B - Tablero de distribución secundario
S - Computador servidor
C - Sistema de seguridad
TI - Central telefónica
TR - fuente de energía

- Zona de protección ZPR0
- Zona de protección ZPR1
- Zona de protección ZPR2
- Zona de protección ZPR3

Los DPS identificados en la figura representa la transición entre zonas

Figura 6 Ejemplo de aplicación zonas de protección
Fuente: (Mínigula de sobretensión, pág. 21)

10



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Equipotencialización

Equipotencializar es etimológicamente igualar a un mismo potencial. Desde el punto de vista eléctrico, esta definición contiene la esencia misma de la equipotencialización, sin embargo, entran conceptos como continuidad eléctrica, sistema de puesta a tierra e inducción electromagnética que deben revisarse detenidamente para llevar a cabo una correcta equipotencialización. Todos los sistemas de la instalación por ejemplo comunicaciones, instalaciones a.c. instalaciones de acueducto, instalaciones de calefacción, el sistema de protección contra rayos entre otros deben interconectarse.

¿Qué se debe equipotencializar?

El primer paso para equipotencializar es garantizar la continuidad eléctrica. Si se interconectan todos los sistemas de la instalación se garantiza una red equipotencial. Según la norma NTC 4552-3 se debe interconectar el sistema de protección contra rayos con:

- Todas las partes metálicas de la estructura
- Sistemas internos
- Partes conductoras externas

Partes metálicas de la estructura:
 Se consideran partes metálicas de la estructura las tuberías, las escaleras, las varillas metálicas, los rieles de los ascensores, los techos metálicos, pisos metálicos, bandejas portacables entre otros-

Sistemas internos
 Se encuentran entre los sistemas internos, las redes de comunicaciones, las redes a.c. de baja tensión, el sistema de puesta a tierra, el sistema externo de protección contra rayos entre otros.

Partes conductoras externas
 Los sistemas externos a la estructura comprenden las acometidas de los servicios domésticos y las acometidas de datos, que deben interconectarse con el fin de proveer vías de evacuación para disturbios por bajas frecuencias.

11

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

La figura 7 muestra un ejemplo de equipotencialización; se observa la equipotencialización de las acometidas, las tuberías, las tuberías, los equipos de comunicación y datos, los tableros, el acero de la estructura entre otros.

¿Qué se debe equipotencializar?
 Fuente: (Díez, 2006)

¿Qué se debe tener en cuenta para realizar la equipotencialización?

Para llevar a cabo la equipotencialización de la estructura se deben interconectar todos los elementos anteriormente mencionados; por lo tanto, es necesario tener en cuenta que el objetivo es minimizar la impedancia del sistema; es decir, lograr la ruta de menor resistencia; para alcanzarlo se observan los siguientes aspectos:

- La distancia de interconexión
- La formación de lazos
- El número de conexiones
- El tipo de conexión

La distancia de interconexión
 Es necesario evitar largas distancias que aumenten los efectos inductivos de los campos electromagnéticos que ocasionen arcos; por lo tanto en grandes instalaciones se deben crear barrajes equipotenciales intermedios que logren minimizar la distancia. Por otra parte los

12



conductor equipotenciales deben instalarse de tal forma que las curvas sean reducidas.

- La formación de lazos

Con el fin de evitar la inducción de fenómenos electromagnéticos y de corrientes de rayos es necesario evitar la formación de lazos en la estructura; por lo tanto las distancias deben ser reducidas y la interconexión se debe realizar en forma de malla.

- El número de conexiones

Cuando el número de conexiones es elevado las probabilidades de arco y de fuga aumentan; por lo tanto el número de conexiones entre los sistemas a interconectar debe ser el menor posible. Estas reducciones se logran por medio de anillos conductores instalados fuera o dentro de la estructura que a su vez deben ser interconectados a intervalos no superiores a 10 m.

✎ ¿Cómo se interconectan los sistemas?

La interconexión de los sistemas con los barrajes equipotenciales se realiza por medio de conductores equipotenciales o DPS.

- Los conductores equipotenciales

Los conductores equipotenciales se utilizan para interconectar sistemas en los que no existe continuidad eléctrica natural. Por ejemplo, las escaleras metálicas de emergencia y el sistema de protección contra rayos de la estructura.

Estos conductores equipotenciales deben soportar las corrientes parciales del rayo, es decir, aquellas corrientes que se dispersan por las partes externas de la estructura o por las acometidas de servicios.

Existen secciones mínimas para interconectar los barrajes equipotenciales y el sistema de puesta a tierra y secciones mínimas para los conductores que conectan los sistemas internos con los barrajes de unión equipotencial que se encuentran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1 Dimensiones mínimas de los conductores que conectan barrajes equipotenciales con el sistema de puesta a tierra

CLASES DE SIPRA	MATERIAL	SECCION TRANSVERSAL MINIMA mm ²
I al IV	Cobre	14
	Aluminio	22
	Acero	50

Fuente: (ICONTEC, 2008, pág. 24)

13

Tabla 2 Dimensiones mínimas de los conductores que conectan los sistemas internos con las barras equipotenciales

CLASES DE SIPRA	MATERIAL	SECCION TRANSVERSAL MINIMA mm
I al IV	Cobre	5
	Aluminio	8
	Acero	18

Fuente: (ICONTEC, 2008, pág. 24)

Sin embargo, para escoger el conductor equipotencial se debe conocer el valor de la corriente parcial del rayo I_c . Esta corriente está definida como el producto del factor K_w , que representa cuanto de la corriente de rayo se dispersa por las conexiones externa y la acometida, y la corriente I que es la corriente de rayo

$$I_c = K_w I$$

La corriente de rayo I está definida por el nivel de protección de la estructura y por lo tanto el tipo de SIPRA que se va a implementar, como se resume en la tabla 3:

Tabla 3 Corriente de rayo I definida para cada NPR

Primer a descarga corta		NPR				
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente Pico	I	kA	200	150	100	100

Fuente: (ICONTEC, 2008)

Por otra parte el factor K_w debe calcularse para cada instalación porque depende de la impedancia de puesta a tierra, ya sea para instalaciones subterráneas o aéreas, de la impedancia de las conexiones y del número de acometidas.

Como existen instalaciones aéreas y subterráneas que se deben interconectar, el factor K_w debe calcularse de acuerdo a esta característica de forma diferente.

- ✎ Para sistemas subterráneos

$$K_w = \frac{Z}{Z_1 + Z \left(n_1 + n_2 \frac{Z_2}{Z_1} \right)}$$

- ✎ Para sistemas aéreos

$$K_w = \frac{Z}{Z_1 + Z \left(n_2 + n_1 \frac{Z_2}{Z_1} \right)}$$

En donde

Z_1 : es la impedancia del sistema subterráneo
 Z_2 : es la impedancia del sistema aéreo
 n_1 : es el número de partes externas o acometidas subterráneas

14



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

n_p : es el número de partes externas o acometidas aéreas
 Z : es valor de la Impedancia del sistema de protección contra rayos

Si se desconocen los valores de las Impedancias se pueden asumir los de la tabla 4 de acuerdo a la clase de SIPRA.

Tabla 4 Valores convencionales de Impedancia de puesta a tierra Z y Z_1 en función de la resistividad del suelo

ρ Ωm	Z ₁ Ω	Impedancia de puesta a tierra convencional en relación con el tipo de SIPRA		
		1	II	III-IV
1000	8	4	4	4
200	15	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	15	15	15
2000	28	15	15	40
3000	35	15	15	60

NOTA: los valores reportados en esta tabla están referidos a la impedancia de puesta a tierra convencional de un conductor enterrado bajo condiciones de humedad (10/300 μs)

Fuente: (ICONTEC, 2008)

4 Aproximaciones para calcular la corriente parcial de rayo

Para calcular la corriente parcial de rayo sin conocer todos los elementos de las anteriores formulas, se pueden usar las siguientes aproximaciones de acuerdo a la naturaleza de la instalación (ver tabla 5).

Tabla 5 Aproximaciones para hallar la corriente parcial de rayo

APROXIMACIÓN	FORMULA
Si se desconoce el valor de la resistividad	$K_p = \frac{0,5}{n_1 + n_2}$
Si los conductores no están apantallados o en tubería metálica	$K'_p = \frac{K_p}{n}$
Si las líneas están apantalladas y no equipotencializadas al entrar a la instalación	$K'_p = \frac{K_{ca} R_c^{-1}}{n R_c + R_c}$ R_c es la resistencia del apantallamiento R_c es la resistencia del conductor interno

Fuente: (Automa)

¹ El factor K_p , depende del número de bajantes; referirse a la tabla 15 pág. 42.

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

• **Los DPS**

Quando el conductor equipotencial no es posible de conectar la equipotencialización se realiza por medio de DPS. Por ejemplo, todos los conductores de las líneas de telecomunicaciones activas se deben equipotencializar por DPS o si los conductores internos no están apantallados se deben equipotencializar por medio de DPS.

La norma NTC 4552-3 recomienda el uso de los DPS del tipo conmutación de tensión, este DPS tiene una alta impedancia cuando no existe la falla pero cuando ocurre cambia rápidamente su valor a uno muy bajo.

En general los medios de Interconexión deben cumplir con tres requisitos básicos

- 1 Soportar las corrientes de rayo
- 2 La corriente de impulso de rayo, I_{imp} , que soportan las conexiones debe ser mayor al producto entre el factor K_c y la corriente de rayo a lo largo del sistema de protección externo, ($I_{imp} > K_c \cdot I$), K_c es un factor que depende del número de bajantes del sistema externo como se ve en la tabla 6.

Tabla 6 Valores del coeficiente K_c para aislamiento externo

Número de bajantes N	K_c
1	1
2	1...0,5
4 o más	1...1m

Fuente: (ICONTEC, 2008, pág. 28)

- 3 El nivel de protección debe ser menor que el nivel de aislamiento al impulso.

• ¿Se debe equipotencializar por medio de conductores equipotenciales si los cables son apantallados o en tubería metálica?

Si el área de la sección transversal del conductor es mayor que el área mínima de apantallamiento no se requieren conductores equipotenciales o DPS para realizar la unión equipotencial.

El área mínima S_{min} se calcula de la siguiente manera:

$$S_{min} = \frac{I_{fp} \rho_c L_c + 10^6}{U_c}$$

En donde:

15

16



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

I_p es la corriente de rayo que fluye por la pantalla
 ρ_s es la resistividad de la pantalla
 L_c es la longitud del cable
 U_i es la resistencia al impulso de tensión del equipo en kV

Tabla 7 Longitud del cable que debe ser considerada de acuerdo a la disposición de la pantalla

Disposición de la pantalla	L_c
En contacto con un suelo de resistividad	$L_c = 8 \cdot I_p$
Aislada del suelo o en el aire	Distancia L_c entre la estructura y los puntos más cercanos de conexión a tierra a la pantalla

Fuente: (ICONTEC, 2009)

> ¿En donde se realiza la equipotencialización?

Las uniones equipotenciales deben realizarse a nivel de piso, si existe un sistema de protección aislado. De lo contrario la unión equipotencial se hace en el sótano o donde el sistema así lo requiera.

Por ejemplo, en un edificio de más de 23 m de altura se recomienda un anillo equipotencial intermedio para asegurar la continuidad eléctrica. El segundo anillo estará a un nivel de 20 m y los demás cada 20 m por encima de éste.

En las acometidas de datos o servicios la unión equipotencial se realiza a la entrada de la estructura, si no es posible en el tramo más corto.

> ¿Qué es un barraje equipotencial (BUE)?

Figura 8 Barraje de unión equipotencial BUE

Fuente: (Manual protección de equipos electrónicos y electrónicos contra LEMP, 2000)

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Un barraje equipotencial es el punto de unión donde los sistemas de comunicaciones, servicios domésticos, protección contra rayos, partes conductoras externas entre otros pueden ser equipotencializados; a su vez el barraje equipotencial es el punto de unión con el sistema de puesta a tierra de la instalación.

Un barraje equipotencial es como su nombre lo indica una barra metálica que se localiza en un muro interior dentro de una caja de distribución lo más cerca del sistema de puesta a tierra, de tal forma que se puedan interconectar sólidamente por conductores cortos. Los BUE deben soportar las corrientes parciales del rayo y pueden ser más de uno.

La figura 8 es un ejemplo de un típico barraje equipotencial; donde se observa la equipotencialización de los servicios esenciales y de las demás instalaciones eléctricas y de comunicaciones

El barraje equipotencial debe estar unido al sistema de protección contra rayos y a las partes de las estructura, que pueden ser usadas como parte natural del SPE. Por ejemplo, si el acero reforzado en concreto es usado como parte del sistema de protección externa como bajante natural, este debe ser conectado al barraje equipotencial.

Se pueden conectar varios BUE si es necesario siempre y cuando estos sean interconectados. Por ejemplo, si las entradas de datos y de servicios están alejadas físicamente se podrán usar BUE diferentes para cada una e interconectarlos por medio de un anillo equipotencial. Además, cuando existen acometidas aéreas los BUE se conectan al anillo equipotencial interior o directamente a los bajantes.

En la figura 9 se observa en línea a trazos el anillo equipotencial que se necesita porque existen diferentes barrajes equipotenciales o porque la puesta a tierra de los equipos precisan de un BUE especial.

¿ Los barrajes equipotenciales y la puesta a tierra?

El número de barrajes equipotenciales también depende del tipo de sistema de puesta a tierra que tenga la estructura; es decir, si el sistema de puesta a tierra es tipo A el cual consiste en electrodos ubicados fuera de la instalación conectados directamente a cada uno de los bajantes del SPE, deben existir barrajes equipotenciales en cada uno de los bajantes y se deben interconectar por medio de un anillo equipotencial.

Sin embargo, si el sistema de puesta a tierra es tipo B que consiste en un anillo de puesta a tierra que rodea la estructura y está unido a los bajantes y los electrodos; entonces, puede existir un solo barraje equipotencial conectado a anillo de puesta tierra. Estas configuraciones se encuentran en la figura 18

Como ya se habla mencionado los barrajes equipotenciales deben conectarse entre sí por un anillo equipotencial y por lo tanto si existe acero de refuerzo en



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

la estructura que está siendo usado como bajante natural, es necesario que estos tengan una unión equipotencial. Dicha unión debe realizarse de acuerdo al SIPRA implementado igual a la ubicación de los bajantes para SPE.

Para lo anterior se usa la tabla 8

- 1 Armado de las paredes exteriores y de los cimientos
- 2 Otras tomas de tierra, p. ej. mallas hacia los edificios vecinos
- 3 Conexión al armado
- 4 Conductor circular interior (de potencial)
- 5 Conexión a partes externas conductoras, p. ej. a tuberías de agua
- 6 Toma de tierra tipo B, toma de tierra circular
- 7 Dispositivo de protección contra sobretensiones
- 8 Barra de compensación de potencial
- 9 Línea de energía o de comunicaciones
- 10 Conexión a otras tomas de tierra adicionales, tomas de tierra tipo A

Figura 9 Ejemplo de unión equipotencial por existencia de varias entradas y BUE
 Fuente: (Datta, 2000, pág. 188)

Figura 10 Configuraciones del sistema de puesta a tierra
 Fuente: (Handbook Estech, 2000, pág. 57)

¿Cada cuanto se interconecta el anillo equipotencial al acero de refuerzo de la estructura?

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Tabla 8 Distancia de separación promedio para los bajantes de acuerdo con el nivel de protección

Tipo de nivel de protección	Distancia típica promedio [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fuente: (CONTEC, 2000)

En la figura 11 se muestra la forma de equipotencializar la armadura de la edificación y conectarla al anillo equipotencial y el sistema de tierra

- 1 Colecta vertical del edificio
- 2 Varilla de acero de la armadura
- 3 Conductor en redondo aislado expuesto a la armadura
- 4 Conexión del sistema de separación
- 5 Barra de Ombre de potencial interior
- 6 Conector capaz de soportar corriente de fuga
- 7 Soleta
- 8 Base de fierro simple (si existe)
- 9 Base de fierro de doblete

Figura 11 Conexión equipotencial del acero de la utilización al sistema de puesta de tierra y al SIPRA
 Fuente: (Manual protección de equipos eléctricos y electrónicos contra LEMP, 2000)

¿Qué es una red equipotencial RE?

La existencia de varios sistemas para interconectar y la probabilidad de que exista más de un barraje equipotencial plantea la necesidad de interconectar todos estos componentes para formar un solo camino equipotencial; el todo que estas interconexiones forman se conoce como Red Equipotencial.

Las redes equipotenciales pueden ser configuradas de acuerdo a las necesidades de cada instalación; así así, la norma IEC 62305-4² recomienda dos configuraciones básicas para una RE:

- o Configuración estrella E
- o Configuración enmallada M

² La Norma IEC 62305-4 es la norma internacional en la cual se basa la NTC 4552-1-2-1 para la protección contra rayos en edificaciones de uso final.



7 La configuración estrella E

Esta configuración consiste en interconectar todos los sistemas a un único barraje equipotencial mediante conductores debidamente aislados del sistema de puesta a tierra; todas las líneas deben correr paralelas para evitar lazos de inducción. Esta configuración exige áreas reducidas y un solo punto de entrada para todas las acometidas.⁷ Ver figura 12

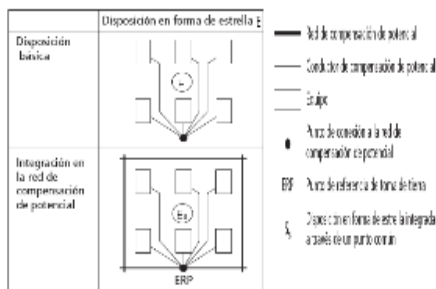


Figura 12 Configuración estrella E

Fuente: (Libro: Protección contra rayos, 2008, pág. 294)

2 La configuración enmallada M

Esta configuración permite el uso de dos o más barrajes equipotenciales interconectados entre sí por un anillo equipotencial; también se usa para interconectar equipos o sistemas; las conexiones se integran al sistema de puesta a tierra en varios puntos. Esta configuración es ideal para grandes áreas y cuando existen diferentes entradas para las acometidas. Ver figura 13

También se pueden utilizar combinaciones de estas dos configuraciones; combinarlas es útil cuando se tienen zonas que deben estar aisladas de SPT para mayor protección y minimización del riesgo. Por ejemplo, una zona de comunicaciones dentro de una empresa.⁸

⁷ Protección contra rayos, Horacio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 293

⁸ Protección contra rayos, Horacio Torres Sánchez, ICONTEC, 2008, pág. 294.

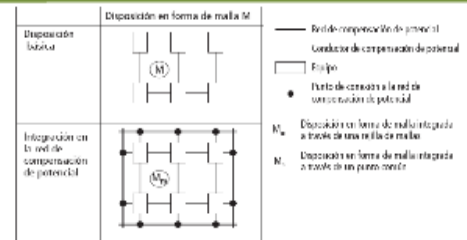


Figura 13 Configuración enmallada M
 Fuente: (Libro: Protección contra rayos, 2008, pág. 294)

Distancia de separación

Al realizar el diseño del sistema de protección externo y coordinarlo con las instalaciones internas aparece el concepto de distancia de separación; la distancia de separación es aquella a la cual la posibilidad de arco eléctrico entre el sistema de derivación del rayo y los sistemas internos como tuberías de agua o energía, sea nula.

Si la distancia de separación no es la necesaria, se necesita implementar una red equipotencial y dispositivos de protección contra sobretensiones dentro de la instalación.

La distancia de separación se calcula según la NTC 4552-3 de la siguiente forma:

$$S > k_1 \frac{I_{ca}}{P_{min}} L \quad (m)$$

En donde:

k_1 depende del nivel de protección del sistema

Tabla 9 Valores del coeficiente k_1 , para aislamiento externo

Clase de SIPRA	k_1
I	0,08
II	0,06
III-IV	0,04

Fuente: (ICONTEC, 2008, pág. 28)



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

k_c depende del flujo de corriente por los conductores bajantes y sus valores se pueden ver en la tabla 6.

k_a depende del aislamiento de las partes

Tabla 6 Valores del coeficiente k_a

Material	k_a
Aire	1
Concreto	0,5

Nota: cuando hay más de un material aislante en serie se recorren el uso del k_a más bajo.
Nota: el uso de otros materiales aislantes está bajo consideración
 Fuente: (ICONTEC, 2008, pág. 27)

l es la longitud en metros a lo largo del elemento captador o el conductor bajante, medido desde el punto de distancia de separación bajo consideración o unión equipotencial más cercana.

En la figura 14 se observa la forma correcta de medir la longitud l y la distancia d , que corresponde a la distancia real de separación entre el bajante y la tubería. Si la distancia de separación s no puede ser mantenida a lo largo de la trayectoria del bajante se deben realizar varias uniones equipotenciales; la unión se realiza en el punto más lejano del punto de referencia.

a. Cálculo de la distancia de separación d
 b. Cálculo de la distancia de separación d

- 1) Se define el punto de referencia
- 2) Se define el bajante
- 3) Se define la tubería y la distancia real de separación s
- 4) Se define la longitud l de la tubería o del bajante

Figura 14 Distancia de separación d
 Fuente: (ICONTEC, 2008, pág. 123)

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Dispositivos de protección contra sobretensiones

La norma NTC 4552-3 define DPS como un dispositivo que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias y dispersa las sobretensiones transitorias. Contiene por lo menos un componente no lineal.

Ahora bien lo interesante de este concepto es su amplitud; es necesario atenderlo y estudiar a fondo que es un DPS, para que se usa, en donde se usa, la forma correcta de emplearlo entre otras interrogantes que están contenidas en una definición tan corta.

Los DPS son un tema interesante por su gran variedad y su impacto en la protección de los sistemas internos. Un DPS tiene muchas posibilidades porque al equipotencializar no se está protegiendo la instalación pero al instalar un DPS se está realizando un enlace equipotencial además de proteger el sistema entre otras cosas.

En general se necesitan las siguientes definiciones para esbozar un panorama general de DPS:

- **Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo conmutación de tensión** es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta de un transitorio de tensión
- **Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo de limitación de tensión** es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que se reduce gradualmente con el incremento de la corriente y la tensión transitoria.
- **Sistema de protección contra sobretensiones** sistema coordinado de DPS seleccionados e instalados correctamente para reducir las fallas de sistemas eléctricos, electrónicos y telecomunicaciones.
- **Máxima tensión de operación continua** máxima tensión c.a. o c.c. que puede ser aplicada continuamente a un DPS en cualquier modo de protección. Es igual a la máxima tensión nominal del dispositivo.
- **Tensión residual** es el valor de la tensión que aparece entre los terminales de un DPS debido al paso de una corriente de descarga.

Nivel de protección en tensión es el valor máximo de tensión que aparece en los terminales de un DPS cuando opera a sus condiciones nominales.

¹ Las definiciones se extraen de la NTC 4552-3 ICONTEC, 2008



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Clasificación de los DPS

Los DPS se pueden clasificar por diversas características, ya sea por su construcción, ubicación, accesibilidad entre otras. La norma NTC 4552 se refiere a los DPS por su operación como dispositivos de protección tipo conmutación de tensión o tipo limitador de tensión pero esta es solo una división y está asociada a la tecnología usada por el DPS; sin embargo, la IEC 61643-1 en la cual está basada la norma colombiana y que es usada por los fabricantes de DPS, clasifica los DPS en:

- **Clase I**

Protección básica. Son descargadores de corrientes de rayo destinados a la protección frente a corrientes de rayo con especificación de onda 10/350 µs y corriente de impulso de rayo I_{imp} . Son aquellos que se instalan como protección primaria en la cabecera de la instalación contra sobretensiones externas directas o cercanas a la instalación. Punto de entrada entre el transformador y el primer medio de desconexión (en tableros de distribución principales a la salida del transformador).

Se prueban por medio de 20 sobretensiones, de las cuales 15 son de la onda 8/20 µs de magnitud igual a la corriente nominal del equipo y 5 son de la onda 10/350 µs a magnitud igual a la corriente pico de rayo dimensionada para el equipo.

Para dimensionar este DPS se divide el 50% de la corriente pico del rayo entre el número de fases de la acometida, así:

$$DPS \text{ clase I dim} = \frac{0,5 I_{imp}}{n_f}$$

Donde,

I_{imp} : Es corriente de impulso de rayo depende del nivel de protección de la instalación como se muestra en la tabla 11:

Tabla 11 Corriente de impulso de rayo de acuerdo al NBR

Nivel de protección	Corriente de impulso de rayo I_{imp}
Nivel I	200 kA 10/350 µs
Nivel II	150 kA 10/350 µs
Nivel III o Nivel IV	100 kA 10/350 µs

Fuente: (Dpto. Técnico Electropel, 2008, página 20-21)

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

n_f : número de fases de la acometida.

- **Clase II**

Protección media. Son descargadores de sobretensiones destinados a la protección de la instalación frente a sobretensiones transitorias (originadas por descargas de rayo indirectas, conmutaciones en alta, inducciones, etc.), son descargadores de sobretensiones con especificación de onda 8/20 µs y corriente nominal de descarga I_n en kA. Se instalan como protección de alimentadores de gran potencia y circuitos ramales cortos. (En tableros de distribución secundarios).

Se prueban con 15 sobretensiones 8/20 µs de magnitud igual a la corriente nominal de descarga I_n en kA; después es sometido a 5 sobretensiones 8/20 µs con el pico de corriente máxima I_{max} .

El descargador clase II es el protector que cubre mas tipos de riesgos porque hace frente a las sobretensiones más frecuentes sean por rayos o no; además, complementa al DPS clase I de ser necesario.

La mayoría de los descargadores comerciales clase II están contruidos de varistores de óxido de zinc; por lo anterior se debe contar con sistema de desconexión automática y de un programa de mantenimiento que se encargue de verificar el buen estado de la protección.

- **Clase III**

Protección fina. Son descargadores de sobretensiones para protección específica de equipos finales o grupos de ellos de baja tensión contra sobretensiones de menor magnitud. Se instalan lo más cerca posible del equipo a proteger, generalmente en la zona de enchufe.

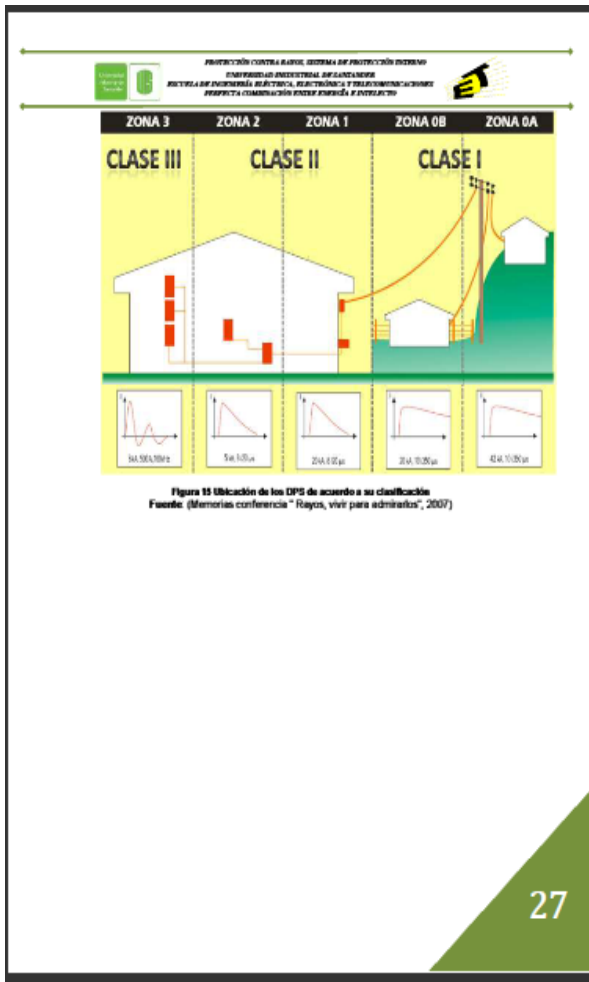
La protección Clase III es requerida en aquellas instalaciones en las que, entre el punto donde se instala el descargador de protección media y el consumidor final, existen distancias de cables en las que pueden inducirse sobretensiones y que el equipo final merezca una protección especial debido a su costo, a su sensibilidad a estos problemas, la necesidad de continuidad en el servicio, pérdida de información etc.

Se prueba con corrientes de choque con forma de onda de 8/20 µs.

En la grafica 15 se aprecia la ubicación de los DPS de acuerdo a su clasificación y los tipos de onda con los que se prueban.

25

26



27

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Trabajos citados

Autores:
 Conferencia GREDEP memorias, U. N. (2008). Protección interna: protección de equipo eléctrico y electrónica bajo norma internacional IEC. Conferencia de UN GREDEP, (pág. 36). Bogotá.
 Dehn. (2000). Manual protección de equipos eléctricos y electrónicos contra LEMP. En Dehn, Manual de protección contra rayos (pág. 158). Dehn.
 Dyko. Técnico Electropot, I. (2009). Artículo: Especificaciones deseables de un DPS. Ingeassocios, 26-27.
 Handbook Eitach, I. p. (2009). Eitach lightning protection handbook. Recuperado el 29 de 11 de 2010, de www.eitach.com
 ICONTEC. (2008). Norma NTC 4552-3.
 Libro: Protección contra rayos, T. 8. (2008). Libro: Protección contra rayos. Bogotá: ICONTEC. Mirajula de sobremesa, Z. C. (2007). Mirajula de sobremesa. España.
 Ospina, I. F. (28, 29 y 30 de noviembre de 2007). Memorias conferencia "Rayos, vivir para administrarlos". Lima, Peru.

28

ANEXO 2 PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES (GUÍA BÁSICA)



**Protección contra rayos.
Dispositivos de protección
contra sobretensiones**

**D
P
S**



Don't
switch



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO





Contenido

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES, DPS	2
SOBRETENSION	2
¿QUÉ ES UN DPS?	3
¿CÓMO OPERA UN DPS?	6
¿QUÉ NO ES UN DPS?	7
TECNOLOGÍAS USADAS EN DPS	7
¿CÓMO SE CLASIFICAN LOS DPS?	11
¿CÓMO SE REALIZA LA COORDINACIÓN DE DPS?	14
¿CUÁLES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SE REQUIEREN PARA LA SELECCIÓN DE UN DPS?	15
¿CÓMO SE SELECCIONA UN DPS?	17
¿CÓMO SE INSTALA UN DPS?	22
¿CÓMO SE REALIZA LA INSTALACIÓN COORDINADA DE DPS?	29

Dispositivos de protección contra sobretensiones DPS

La norma NTC 4552-3 define DPS como un dispositivo que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias y dispersa las sobrecorrientes transitorias. Contiene por lo menos un componente no lineal.

Ahora bien, lo interesante de este concepto es su amplitud. Por lo tanto, es necesario alertarlo y estudiar a fondo ¿Qué es un DPS? ¿Para qué se usa? ¿En donde se usa? ¿Cuál es la forma correcta de emplearlo? Entre otras interrogantes que están contenidas en una definición tan corta.

Los DPS son un tema interesante por su gran variedad y su impacto en la protección de los usuarios y los sistemas internos. Un DPS tiene muchas opciones de uso; por ejemplo, al instalar un DPS se está realizando un enlace equipotencial, además de proteger el sistema entre otras cosas.

En las siguientes páginas se busca ampliar la visión de los DPS, identificar sus características, su correcta selección e instalación, además de la adecuada coordinación para lograr la protección integral de la vida de los usuarios y de la instalación en general.

Sobretensión

Una sobretensión es cualquier tensión, cuyo valor pico excede el valor pico de la tensión nominal de red. Su origen puede ser causado por:

- Las descargas atmosféricas
- El fundonamiento o maniobra
- Transitorios de frecuencia industrial
- Descargas electrostáticas.

Las sobretensiones debidas a las descargas atmosféricas afectan a los sistemas eléctricos y electrónicos; son ondas de alta frecuencia que originan sobretensiones inducidas, sobretensiones conducidas y aumento en el potencial de tierra debido a la circulación de la corriente de rayo a través de la tierra.

Las ondas de sobretensiones están caracterizadas por el tiempo de frente de la onda (μs) y por el gradiente de subida ($kV/\mu s$). Se han estandarizado dos ondas tipo para sobretensiones por descargas atmosféricas que permiten realizar las pruebas de los equipos. En la tabla 1 se muestran las dos ondas tipo y sus características:

1
2



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Tabla 1 Ondas tipo para sobretensiones atmosféricas

Corriente de rayo	1	2
Parámetros	10/350	8/20
i_{max} , kA	100	5
Q As	50	0,1
WR JIG	$2,5 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$
Norm	UNE EN 62305-1	DIN VDE 0432 T.2

Onda tipo 10/350 µs	Onda tipo 8/20 µs
Se conoce como la onda de corriente de impulso de rayo i_{imp} .	Llamada como la onda de corriente máxima de descarga i_{max} .
Se usa para simular la corriente de rayo.	Se usa para simular el efecto indirecto de la corriente de rayo.
El descargador puede derivar repetidas veces sin destruirse.	El descargador puede derivar completamente de forma segura.

Fuente: (Autores)

¿Qué es un DPS?

Las pérdidas tanto humanas como materiales en las estructuras industriales, comerciales y residenciales que se han venido presentando por las descargas de rayo en los últimos tiempos, además de los fenómenos que estas descargas traen consigo como las sobretensiones y efectos electromagnéticos, han hecho que el ser humano diseñe dispositivos de protección para mitigar estos efectos.

A medida que la tecnología que se usa dentro y fuera de las estructuras mejora, los dispositivos de protección contra sobretensiones evolucionan o son actualizados de acuerdo a los equipos que se requieren proteger, dando prioridad a la sensibilidad de los elementos; y a los efectos que tienen sobre los usuarios, por ejemplo, los equipos de transmisión de datos que se utilizan en las comunicaciones, y equipos utilizados en oficinas como los dispositivos de computo, además de las máquinas de fuerza como ascensores o motores que se utilizan en la industria y en otro tipo de actividades.

3

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Los DPS son dispositivos que buscan disminuir los fenómenos del rayo en su totalidad, mitigando los efectos electromagnéticos y limitando las sobretensiones. Estos dispositivos contienen al menos un componente no lineal, y su función primordial es proteger los equipos e instalaciones contra las sobretensiones y ayudan a establecer un equipotencialización en las conexiones.

Según la norma NTC 4552-1 el dispositivo de protección contra sobretensiones es un dispositivo que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias, y dispersa las sobrecorrientes transitorias.

Los DPS deben tener en cuenta un parámetro que se considera fundamental en su diseño y selección; el concepto de transitorio, según la norma NTC 4552-2 transitorio es un cambio en las condiciones de energía de un sistema entre dos estados estables, de corta duración comparado con la escala de tiempo de interés, que se manifiesta como sobretensión o sobrecorriente.

El transitorio es uno de los efectos que más incide en el daño presentado en los equipos, como lo son el transitorio de origen externo y el transitorio de origen interno.

- **Origen externo**

Están relacionados con las descargas atmosféricas y dependen implícitamente de las descargas por kilómetro cuadrado año que están ligadas al nivel ceraunico de la zona geográfica donde se instalan.
- **Origen Interno**

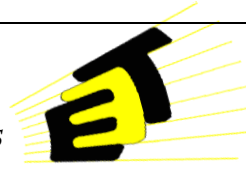
Están relacionados con las sobretensiones de maniobra y conmutación.

Estos parámetros hacen que se presenten ciertos tipos de DPS estandarizados bajo los diferentes efectos que causan el origen del transitorio con la descarga atmosférica, de acuerdo con esto la norma NTC 4552-1 define dos tipos de DPS:

- **Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias del tipo de conmutación.**

Es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta de un transitorio de tensión. Ejemplos de estos dispositivos son: la vía de chispa, tubos de gas, entre otros. En las figura 1 se observa el comportamiento de un DPS tipo conmutación de tensión y en la figura 2 la actuación de un DPS vía de chispas

4



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Figura 1 Dispositivo de protección contra sobretensiones del tipo conmutación de tensión

Figura 2 Funcionamiento de un DPS vía de chispas

Fuente: (Memorias conferencia "Rayos, vivir para admirarlos", 2007)

• **Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo limitación de la tensión:**

Es un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que se reduce gradualmente con el incremento de la corriente y la tensión transitoria. Ejemplos de estos dispositivos son: varistores, diodos de supresión, entre otros.

La figura 3 ilustra el comportamiento de un DPS tipo limitador de tensión y la 4 hace hincapié en los varistores.

Figura 3 Dispositivos de protección contra sobretensiones tipo limitación de tensión

Figura 4 Funcionamiento de un DPS varistor

Fuente: (Memorias conferencia "Rayos, vivir para admirarlos", 2007)

5

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

¿Cómo opera un DPS?

En la actualidad los DPS son utilizados en un gran número de procesos los cuales dependen de las actividades que se desarrollen, ya sean en grandes Industrias o solo en locaciones residenciales, esto ha hecho que los DPS varíen sus componentes de diseño y desarrollo tecnológico, cambiando así su forma de operario.

La operación de un DPS también está relacionada con el nivel de protección al cual va a ser sometido y su diferente zona de protección, ya que, estos parámetros hacen que la escogencia del DPS sea más rigurosa y compleja, porque cada uno de ellos tendría en cuenta que equipos y dispositivos se van a proteger, la intensidad de descargas atmosféricas a la cual van a ser expuestos y la capacidad frente a los efectos primarios y secundarios del rayo.

Al tener presente estos puntos de consideración es posible encontrar ciertas similitudes de operación, claro está, de una forma muy general y fácil de observar, la operación podría basarse en el comportamiento de un DPS mientras este se encuentra en uso y como responden sus componentes frente a un sistema de protección cuando todo es operado normalmente o en condiciones de riesgo.

Teniendo en cuenta esto se podría afirmar que la forma en que opera un DPS está relacionado con tres parámetros en general, que se deben tener en cuenta cuando se diseña y se utiliza un sistema de protección contra rayos:

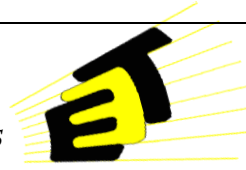
- Un DPS actúa como un Interruptor controlado por tensión.
- En estado normal el DPS es transparente a la instalación.
- Si la tensión es mayor que la máxima nominal, el DPS se comporta como una baja impedancia hacia tierra.

Ahora conociendo estos tres parámetros, es fácil ver que este dispositivo es independiente de la instalación a proteger y del sistema de puesta a tierra que se utilice en la estructura la cual se protege. En la figura 5 se observa la operación general de un DPS:

Figura 5 Operación general de un DPS

Fuente: (Memorias conferencia "Rayos, vivir para admirarlos", 2007)

6



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

¿Qué no es un DPS?

Existen dispositivos que se confunden en la jerga popular con los DPS; entonces surge la pregunta ¿Qué no es un DPS?

- Un DPS no es un interruptor, es decir, su función no es abrir y cerrar el circuito cuando se produce una sobrecorriente; por otra parte cuando se instala un interruptor con protección diferencial (GFCI) no se está implementando un DPS.
- Un DPS no es un fusible, un fusible es un dispositivo de protección contra sobrecorrientes que se funde y abre el circuito cuando pasa por él una sobrecorriente.
- Un DPS no es un limitador de corriente; porque su función no es interrumpir una corriente antes de que alcance su valor total disponible evitándose que se produzcan daños adicionales a los equipos que está protegiendo.
- Un DPS no es un seccionador, es decir, un DPS no busca desconectar sin carga los circuitos o equipos de su fuente alimentación.
- Un DPS no es un pararrayos; el pararrayos es un dispositivo cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando para llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a construcciones o personas.

En conclusión los DPS no protegen la instalación ante otros fenómenos diferentes de las sobretensiones transitorias, por ejemplo, no actúan ante sobretensiones permanentes, armónicos, factor de potencia entre otros. Los DPS no buscan desconectar el sistema y asíano.

Tecnologías usadas en DPS

Las tecnologías usadas en la fabricación de DPS han evolucionado a través del tiempo desde el explosor común al uso de diodos de silicio. Ahora se revisarán las características de las tecnologías disponibles más usadas, se describirá su operación, sus ventajas y desventajas. Sin embargo, todas las tecnologías buscan mantener el nivel de aislamiento a un estado de tensión aceptable y entrarán en funcionamiento cuando se sobrepase este nivel. Las diferencias van encaminadas hacia la eficiencia, vida útil y compatibilidad electromagnética.

En tecnologías de DPS se ofrecen las siguientes alternativas:

¹ Las definiciones que se encuentran a continuación son obtenidas de la norma NTC 2050

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

- **DPS vía chispas²:** un DPS vía chispas es de tipo conmutación de tensión; su principio de operación es presentar al momento de una sobretensión una impedancia a tierra baja que asegura una vía rápida de descarga. Básicamente, este DPS consiste en dos electrodos opuestos a determinada distancia en una caja aislada que establecen una conexión equipotencial conductiva temporal.

Los DPS vía chispas pueden ser encontrados en dos modalidades:

- **Vía chispas abierto:** los DPS vía chispas abiertos poseen gran capacidad de descarga de corriente de impulso de rayo ($I_{imp}=50$ kA 10/350 μ s) y corrientes residuales auto-extinguidas elevadas; sin embargo, generan un plasma entre los electrodos al momento de ser operados, este fenómeno limita la instalación de el DPS.
- **Vía chispas cerrado:** la vía chispa cerrada soluciona la formación de plasma entre electrodos; las corrientes de descarga de rayo son muy altas ($I_{imp}>100$ kA), pero sacrifica la capacidad de corriente residual auto-extinguida del DPS reduciéndola a nivel muy bajos.

Las características del DPS vía chispas están determinadas por el material, la forma y la distancia de separación entre electrodos, por su alta capacidad de descarga son usados principalmente como DPS clase 1³ y en la transición entre las zonas de protección ZPR0 y ZPR1.

En la figura 6 se observa un ejemplo de un DPS vía chispas y su símbolo:

Figura 6 DPS vía chispas

Fuente: (www.interepresas.net/Construccion/FeriaVirtual/ResenaProducto.asp?R=30480)

- **DPS tubo de descarga de gas:** el DPS tubo de descarga de gas es de tipo conmutación de tensión; se caracterizan por comportarse en estado de reposo como una alta impedancia y pueden tener pequeños efectos capacitivos debido a su estructura. Generalmente se realizan con un bastidor cilíndrico cerrado en sus extremos por electrodos metálicos y

² (Ministerio de protección, 2007, pág. 12)
³ Ver literal 3.6

7

8



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

se llena con una mezcla de gas inerte a baja presión. Sus principales ventajas es el corto tiempo de respuesta y la alta capacidad de descarga de corriente de rayo ($I_{max}=100 \text{ kA}$, $10/350 \mu\text{s}$). Su desventaja que la corriente residual auto-extinguible es muy baja. Se caracterizan por su larga vida y la estabilidad de su comportamiento.

En la figura 7 se observa un ejemplo de los DPS tubo de descarga de gas y su símbolo circuital:

SÍMBOLO

Protectores de sobretensiones tipo 2 de descarga de gas de disparo rápido. Nextek

Figura 7 DPS tubo de descarga de gas

Fuente: (www.directindustry.es/prod/nextek/protector-de-sobretension-tipo-2-de-descarga-de-gas-de-disparo-rapido-35105-215083.htm)

- **DPS variador de óxido metálico (MOV):** los MOV o varistores son DPS limitadores de tensión, son por definición una resistencia no lineal dependiente de la tensión. Su comportamiento esencial es la disminución de la resistencia a medida que la tensión aumenta.

Sus ventajas son:

- o La resistencia ($>1 \text{ M}\Omega$) cae en unos cuantos nanosegundos siendo de respuesta rápida,
- o Poseen alta capacidad de descarga
- o Amplia gama de voltajes - desde 14 V a 550 V (rms) . Esto permite una selección fácil del componente correcto para una aplicación específica.
- o Alta capacidad de absorción de energía respecto a las dimensiones del componente y pueden ser usados sin restricciones en todos los ambientes.

Sus desventajas son:

9

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

- o Los MOV siempre están en funcionamiento, por lo tanto, presenta una pequeña corriente de fuga que acelera el desgaste del dispositivo; este comportamiento puede ocasionar el daño total del dispositivo o interferencia con equipos muy sensible.
- o Su coordinación es más compleja
- o A altas frecuencias se comportan como una capacitancia que puede interferir en los procesos de transmisión de datos o control.

Los MOV son usados comúnmente como descargadores de onda 8/20 μs , porque a onda 10/350 μs pueden fallar en la operación y llegar a sobrecargarse hasta destruirse. Sin embargo, si existe una buena coordinación los MOV son una buena opción por su alto nivel de descarga.

En la figura 8 se observa un ejemplo de DPS MOV y su símbolo:

SÍMBOLO

Protector de ondas SPD-MOV10-LA Inlan

Figura 8 DPS variador de óxido metálico MOV

Fuente: www.lelan.com

- **DPS diodos supresores o limitadores:** los DPS de diodos supresores de sobretensiones son básicamente diodos zener de silicio, su capacidad de corriente de descarga es baja; por lo que son usados como protección fina de elementos electrónicos sensible. Sus principales ventajas son:

- o Alta velocidad de respuesta (5 ns)
- o No presentan corriente de fuga que puedan interferir con los componentes electrónicos sensibles
- o Larga vida

10



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

- o Su respuesta no está afectada por rápidas caídas de la onda de tensión de rayo.

A continuación se encuentra un ejemplo de DPS con diodos supresores y su símbolo:

Figura 9 DPS con diodos supresores
 Fuente: (Mirigula de sobretensión, 2007)

Actualmente la fabricación de DPS busca combinar las características de cada una de las tecnologías para mejorar los tiempos de respuesta y disminuir las deficiencias; la más común de estas combinaciones es el varistor/ diodo, que busca incrementar la velocidad de respuesta y la capacidad de descarga, anulando el efecto de las corrientes de fuga propias de los MOV. Por otra parte esta combinación garantiza el funcionamiento del MOV y facilita la coordinación de aislamiento. Otras combinaciones como tubo de gas/ diodos supresores también son usadas.

Las tecnologías de DPS seguirán avanzando; sin embargo, la eficacia de la protección no depende de la tecnología sino de una correcta selección y coordinación energética.

¿Cómo se clasifican los DPS?

Los DPS se pueden clasificar por diversas características, ya sea por su construcción, ubicación, accesibilidad entre otras. La norma NTC 4552 se refiere a los DPS por su operación como dispositivos de protección tipo conmutación de tensión o tipo limitador de tensión pero esta es solo una división y está asociada a la tecnología usada por el DPS; sin embargo, la IEC 61643-1 en la cual está basada la norma colombiana y que es usada por los fabricantes de DPS, clasifica los DPS en:

11

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Figura 10 Ubicación de los DPS de acuerdo a su clasificación
 Fuente: (Memorias conferencia "Rayos, vivir para disfrutar", 2007)

En la grafica 10 se aprecia la ubicación de los DPS de acuerdo a su clasificación y los tipos de onda con los que se prueban.

- Clase I

Protección basta. Son descargadores de corrientes de rayo destinados a la protección frente a corrientes de rayo con especificación de onda 10/350 μ s y corriente de impulso de rayo I_{imp} . Son aquellos que se instalan como protección primaria en la cabecera de la instalación contra sobretensiones externas directas o cercanas a la instalación. Punto de entrada entre el transformador y el primer medio de desconexión (en tableros de distribución principales a la salida del transformador).

Se prueban por medio de 20 sobretensiones, de las cuales 15 son de la onda 8/20 μ s de magnitud igual a la corriente nominal del equipo y 5 son de la onda 10/350 μ s a magnitud igual a la corriente pico de rayo dimensionada para el equipo.

Para dimensionar este DPS se divide el 50% de la corriente pico del rayo entre el número de fases de la acometida, así:

$$DPS \text{ clase I } I_{dim} = \frac{0,5 I_{mp}}{n_f}$$

12



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Donde,

I_{imp} : Es corriente la corriente de impulso de rayo depende del nivel de protección de la instalación como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2 Corriente de impulso de rayo de acuerdo al NPR

Nivel de protección	Corriente de impulso de rayo I_{imp}
Nivel I	200 kA 10/350 μ s
Nivel II	150 kA 10/350 μ s
Nivel III o Nivel IV	100 kA 10/350 μ s

Fuente: (Dpto. Técnico Electropol, 2009, página 20-21)

n_s : número de fases de la acometida.

- Clase II

Protección media. Son descargadores de sobretensiones destinados a la protección de la instalación frente a sobretensiones transitorias (originadas por descargas de rayo indirectas, conmutaciones en alta, inducciones, etc.), son descargadores de sobretensiones con especificación de onda 8/20 μ s y corriente nominal de descarga I_n en kA. Se instalan como protección de alimentadores de gran potencia y circuitos ramales cortos. (En tableros de distribución secundarios).

Se prueban con 15 sobretensiones 8/20 μ s de magnitud igual a la corriente nominal de descarga I_n en kA; después es sometido a 5 sobretensiones 8/20 μ s con el pico de corriente máxima I_{max} .

El descargador clase II es el protector que cubre mas tipos de riesgos porque hace frente a las sobretensiones más frecuentes sean por rayos o no; además, complementa al DPS clase I de ser necesario.

La mayoría de los descargadores comerciales clase II están contruidos de varistores de óxido de zinc; por lo anterior se debe contar con sistema de desconexión automática y de un programa de mantenimiento que se encargue de verificar el buen estado de la protección.

- Clase III

Protección fina. Son descargadores de sobretensiones para protección específica de equipos finales o grupos de ellos de baja tensión contra sobretensiones de menor magnitud. Se instalan lo más cerca posible del equipo a proteger, generalmente en la zona de enchufe.

13

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

La protección Clase III es requerida en aquellas instalaciones en las que, entre el punto donde se instala el descargador de protección media y el consumidor final, existen distancias de cables en las que pueden inducirse sobretensiones y que el equipo final merezca una protección especial debido a su costo, a su sensibilidad a estos problemas, la necesidad de continuidad en el servicio, pérdida de información etc.

Se prueba con corrientes de choque con forma de onda de 8/20 μ s.

¿Cómo se realiza la coordinación de DPS?

La protección contra rayos y sobretensiones tiene como objetivo proteger la vida de los usuarios, sus actividades, las instalaciones y equipos. Desde la perspectiva de la seguridad, los sistemas de protección deben ser coordinados energéticamente para proveer las máximas garantías y disminuir el riesgo de forma efectiva.

La coordinación energética tiene como premisa que los DPS no se instalan con el objeto de proteger solo una parte específica de la instalación o un tipo de usuario; por lo contrario, su objetivo es generar un régimen de protección multinivel que garantice la seguridad de todos sus usuarios y la instalación.

Ahora bien, la coordinación de los DPS busca la sincronización de todos los elementos, de tal manera que cada uno opere en el instante adecuado y de acuerdo con las necesidades proyectadas en su instalación; es decir, desde el DPS clase I, instalado para soportar las corrientes de impulso de rayo, hasta el DPS clase III, instalado para proteger los equipos de mayor sensibilidad, se necesita que cada uno mitigue la cantidad de energía de rayo para la cual fue dimensionado sin generar sobrecargas y sin distorsionarse. Una coordinación en dos o más etapas de DPS, se dimensiona de tal forma que toda la energía de perturbación se divida entre cada una dependiendo de su capacidad de descarga.

Una coordinación eficiente, debe considerar diferentes aspectos, como son⁴:

- Distinción entre descargadores de rayo y de sobretensiones.
- Las características de los DPS
- Las características del equipo a proteger

⁴ www.dahn.es/pdf/aww/letw/01_8_2010/Coordinacion_energetica_01.pdf Dahn Shoon, "Coordinación energética entre descargadores", 2010

14



¿Cuáles características técnicas se requieren para la selección de un DPS?

Para seleccionar un DPS de forma correcta se deben conocer ciertos parámetros que garantizan la óptima operación de acuerdo a las necesidades a cubrir; por ejemplo, si el DPS debe soportar la corriente de impulso de rayo, los parámetros I_{max} y la tensión nominal U_n son los de mayor relevancia al momento de la selección.

A continuación se describen las características técnicas más importantes en la selección de un DPS:

Tabla 1. Características técnicas de selección de un DPS

Sigla	Nombre	Definición
U_n	Tensión nominal	Corresponde con la tensión nominal, eficaz, línea a neutro (tierra), del sistema que se desea proteger.
U_c	Tensión máxima de servicio	Es el valor máximo de tensión r.m.s. o tensión d.c. que puede ser aplicado continuamente entre los terminales de un DPS durante operación. Es la máxima tensión sobre un DPS en el estado no conductivo, el valor U_c es igual a la tensión nominal del DPS.
U_{in}	Tensión nominal soportable al impulso	Es la capacidad de aislamiento de un dispositivo o equipo ante un impulso de tensión. Este es el nivel de inmunidad de dispositivo o equipo.
U_{res}	Tensión residual	Es el valor pico de tensión que aparece entre los terminales de un DPS debido al paso de una corriente de descarga
U_T	Sobretensión temporal	Máximo valor de sobretensión r.m.s. o d.c. que el DPS puede soportar y que excede la U_c para un tiempo de duración específico.
U_p	Nivel de protección de tensión	Este parámetro caracteriza el funcionamiento del DPS limitando la tensión a través de sus terminales. Este valor debe ser mayor que el más alto valor de la tensión limitante medida en la instalación a proteger. Es el máximo valor instantáneo de un dispositivo o equipo conectado después de un DPS. El nivel de protección determina el lugar de instalación del aparato de protección en redes de energía.

15

Características técnicas de selección de un DPS

TOV	Características temporales de sobretensión	Es el comportamiento de un DPS cuando está sometido a una sobretensión temporal para un tiempo específico. Se puede originar por fallas en redes de media y baja tensión.
I_{imp}	Corriente de impulso de rayo	Es una curva de corriente de choque normalizada, con la forma de onda 10/350 μ s. Esta corriente, con sus parámetros reproduce los esfuerzos propios de las corrientes de rayos naturales. Los aparatos de descargadores de corrientes de rayo, deben ser capaces de derivar repetidas veces estas corrientes, sin resultar destruidos
I_{max}	Máxima corriente de descarga	Es el valor máximo de cresta de la corriente de choque 8/20 μ s, que el aparato puede derivar de forma totalmente segura.
I_n	Corriente nominal	Es la corriente de servicio máxima admisible, que puede ser conducida en forma permanente, a través de los bornes de conexión del equipo, para ello señalados
I_{cn}	Corriente nominal de descarga	Es el valor de cresta de la corriente nominal de choque, de forma 8/20 μ s, para la que está diseñado el aparato de protección contra sobretensiones
I_{ra}	Corriente residual	Corriente que fluye a través del terminal PE, cuando el DPS es energizado a la máxima tensión continua de operación (U_c).
I_c	Corriente de operación continua	Corriente que fluye a través de cada modo de protección del DPS cuando es energizado a la tensión máxima de operación continua U_c para cada modo.
	Grado de protección. Código IP	Es el rango de protección suministrado por una valla o cerca, contra ingreso de objetos extraños sólidos y contra ingreso de agua.
	Resistencia de cortocircuito	Máxima corriente potencial de cortocircuito que el DPS es capaz de soportar
θ	Rango de temperatura	Expresa el margen de temperatura en el que puede funcionar un DPS.
t_r	Tiempo de respuesta	Es el tiempo que pasa hasta la desconexión automática de la fuente de alimentación en una falla del circuito eléctrico o del equipo a ser protegido. Es un valor de la aplicación específica que resulta de la intensidad de la corriente de falla que fluye y de las

16



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

características de los dispositivos de protección.

f_b	Ancho de banda	Define el comportamiento de un DPS en función de la frecuencia. Es aquella frecuencia, que bajo determinadas condiciones de prueba, da lugar a una atenuación de intercalación, a_{10} , de 3 dB
	Capacidad de derivación	Este parámetro tiene una importancia definitiva cuando el DPS debe ser seleccionado según los peligros expuestos: descargas directas de rayo, descarga lejana, sobretensiones inducidas. Este valor es el más característico para determinar la capacidad de un DPS, indicando qué corriente de rayo de verificación, corriente de choque, corrientes de choque combinadas que puede derivar sin que su funcionamiento se vea limitado o impedido sustancialmente.

Fuente: (Libro: Protección contra rayos, 2008, págs. 396-400), (Seminario Protección contra sobretensiones transitorias en redes de baja tensión, 2008)

¿Cómo se selecciona un DPS?

A Continuación se presenta una guía básica para la selección de un DPS:

- Identificar las zonas de protección contra rayos ZPR de la estructura a proteger.
- Definir la configuración del sistema de red; este paso es importante dado que el objeto principal de protección es el ser humano, por lo tanto, es necesario evitar que los componentes o partes de los mismos bajo tensión entre en contacto con los usuarios. Esta característica depende de la situación de la toma de tierra de la fuente y de la situación de la toma a tierra de las carcasas de los equipos.

Se usan mínimo dos letras para denominar la red. La primera determina el estado de la tierra de la instalación y la segunda la situación de las carcasas de los equipos. Las demás letras determinan el estado del conductor neutro y el conductor de protección.

En el cuadro 4 se observan las letras usadas en cada ubicación:

17

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Tabla 4 Letras usadas para identificar el sistema de red utilizado

Ubicación de la letra	Letra	Significado
Primera	T	Tierra directamente aterrizada
	I	Tierra conectada a través de una impedancia.
Segunda	T	La carcasa del equipo está directamente puesta a tierra, independientemente de una eventual toma de tierra de un punto de la alimentación de corriente.
	N	Está unida directamente con la toma de tierra de servicio
Tercera	S	El conductor neutro y el conductor de protección están separados uno de otro.
	C	El conductor neutro y el conductor de protección están combinados en un mismo conductor.

Fuente: (Delro, Manual de protección contra rayos, capítulo 8, pág. 183)

De acuerdo a lo anterior en la figura 11 se muestra una red tipo TN-C en donde el conductor neutro y el conductor de protección son el mismo, es decir, el conductor neutro está conectado a los equipos y sus carcasas.

Fuente: (Libro: Protección contra rayos, pág. 306)

En las figura 12 y 13 se ilustra un sistema TN-C-S que es el exigido en las instalaciones colombianas, porque, de acuerdo con norma NTC 2050 está prohibido que el conductor neutro sea el mismo de protección de equipos. Por lo tanto, al interior de las edificaciones de uso final el conductor neutro y tierra se separan.

18



Tabla 5 Tensión máxima de servicio

Aparamiento a tierra	TT	TN-S	TN-C	IT
Valor de U_0 en el modo común (protec. fase a tierra, protec. neutro a tierra)	$\geq 1,5 U_0$	$\geq 1,1 U_0$	$\geq 1,1 U_0$	$\geq 1,732U_0$
Valor de U_0 en el modo diferencial (protección fase neutro)	$\geq 1,1 U_0$ 15 kA ¹	$\geq 1,1 U_0$ 30-40 kA		$\geq 1,1 U_0$

U_0 : tensión de red simple entre fase y neutro (230/240 V).
 U_0 : tensión de resistencia completa de funcionamiento permanente.

Fuente: (Guía de diseño de instalaciones eléctricas, 2008, pág. 17)

- o Sobretensión temporal, U_T
- o La corriente nominal, I_n
- o La corriente de impulso de rayo, I_{imp}
- o La máxima corriente de descarga, I_{max} .

d. De acuerdo a la naturaleza de la instalación a proteger, la red de energía o la red de comunicaciones, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 6 Parámetros a tener en cuenta de acuerdo a la naturaleza de la red

Red de energía eléctrica	Redes de comunicación
<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje del sistema • Voltaje de línea a tierra • Voltajes máximos esperados en el punto de aplicación del DPS. • Número de fases o conductores activos. • Nivel de cortocircuito en el punto de aplicación 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de interfaz. • Voltaje del sistema. • Voltaje máximo permitido del sistema. • La corriente nominal del sistema. • La relación con las señales (simétricas, asimétricas) • La frecuencia (DC, BF, HF) • El tipo de señal (analógica, digital) • Tipo de montaje. • Tipo de conector.

Fuente: (Artículo: Especificaciones deseables de un DPS, 2009)

- a. Seleccionar la distancia de protección; el DPS debe conectarse lo más cerca posible al equipo a proteger.
- f. Evaluar prospectiva de vida y modo de falla; para evaluar la prospectiva se deben revisar las pruebas a las que fue sometido el DPS de acuerdo a su clase y su resistencia al envejecimiento.
- g. Coordinar la interacción entre DPS y otros dispositivos; los DPS no deben causar interferencia con otros equipos; se revisa el nivel de inmunidad electromagnética de los equipos.
- h. Escoger el nivel de protección U_p ; tener el nivel de inmunidad del equipo a proteger y la tensión nominal del sistema

I. Coordinar los DPS escogidos y otros DPS

¿Cómo se instala un DPS?

En la instalación de los DPS es en donde se presenta la mayor parte de las fallas; porque instalar un DPS depende de las características de la red y del lugar en donde va estar ubicado; además se deben evitar lasos, largas distancias que permitan la inducción de sobretensiones y un correcto dimensionamiento de los conductores de conexión.

La correcta instalación de un DPS depende no solo de la selección; también se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Localización del DPS:** los riesgos que se desean mitigar determinan además de la selección del DPS su ubicación; porque el dispositivo debe estar lo más cerca posible al equipo a proteger, de esta forma se asegura una protección efectiva. Por ejemplo, si se busca proteger la instalación contra impactos directos de rayo; el DPS clase I debe localizarse lo más cerca de la acometida de servicio y el tablero general de distribución.
- **Longitud de los conductores de conexión:** los conductores de conexión del DPS no deben generar en los equipos a proteger sobretensiones por inducción u oscilaciones de tensión; de acuerdo a lo anterior la longitud los cables de conexión debe ser lo más corta posible, se recomienda que la longitud no sea mayor a 0,5 m. Los conductores deben tener la mínima sección transversal posible, en la tabla 7 se encuentra la sección transversal de los conductores de acuerdo a la clase de DPS:

Tabla 7 Materiales y dimensiones para la conexión de DPS

Conductores de conexión para DPS	Material	Sección transversal mm ²
Clase I	Cu	5
Clase II		3
Clase III		1

Nota: otros materiales usados en vez del cobre deben tener una sección transversal equivalente

Fuente: (Libro: Protección contra rayos, 2008, pág. 410)



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

- **Distancia de protección debido al fenómeno oscilatorio:** cuando las distancia de separación son muy largas se originan oscilación que incrementan las sobretensiones hasta el doble de su valor inicial, ocasionando fallas en los equipos por lo tanto se debe considera la distancia de protección debida a oscilaciones como la mayor distancia permisible del circuito.

A continuación se presentan los criterios de evaluación de la distancia de protección debido a las oscilaciones:

Tabla 8 Criterios de evaluación de la distancia de protección contra oscilaciones d_{os}

Criterio	Distancia de protección debido a oscilaciones d_{os}
<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de separación menor a 10 m • Nivel de protección es menor a la mitad de la capacidad de protección del equipo $U_p < \frac{U_w}{2}$	La distancia de protección d_{os} puede ser despreciable
<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de separación es mayor 10 m • El nivel de protección mayor que la mitad de la capacidad de protección $U_p > \frac{U_w}{2}$	$d_{pe} = \frac{[U_w - U_p]}{k} \text{ (m)}$ Donde, $k = 25 \text{ V/m}$

Fuente: (Autores)

- **Distancia de protección de acuerdo con el fenómeno inductivo:** los rayos pueden inducir sobretensiones que se incrementan si los lazos de protección son demasiado extensos. Debido a estas circunstancias la distancia de protección contra inducciones, entre el DPS y el equipo, debe ser minimizada. Los criterios de evaluación son:
 - Si existen apantallamientos espaciales, según las ZPR o las líneas son apantalladas, la distancia de protección por inducciones es despreciable.
 - Si no existen apantallamientos la distancia de protección d_p se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

$$d_{pi} = \frac{[U_w - U_p]}{h} \text{ (m)}$$

Donde:

$h = 300k_{G1}k_{G2}$ para impactos cercanos a la estructura
 $h = 30000k_{G1}k_{G2}$ para impactos directos a la estructura

$k_{G1} = 0,12W$
 $k_{G2} = 0,12W$

W es el ancho en metros de la cuadrícula del escudo espacial, o el ancho de la malla o de los conductores bajantes o la distancia entre las columnas en sistemas que utilizan la estructura de concreto reforzado como sistema natural de protección contra rayos

k_{G3} se escoge de acuerdo a la tabla 9

Tabla 9 Valores de k_{G3}

Tipo de cableado	k_{G3}
Cables sin pantalla-sin precaución de evitar lazos en la ruta ¹	1
Cables sin pantalla- Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta ²	0,2
Cables sin pantalla- Con precaución de evitar lazos en la ruta ³	0,02
Cable apantallado con resistencia de pantalla ¹ 5 < R_p < 20 Ω/km	0,001
Cable apantallado con resistencia de pantalla ¹ 1 < R_p < 5 Ω/km	0,0002
Cable apantallado con resistencia de pantalla ¹ R_p < 1 Ω/km	0,0001

¹ Lazo de conductores formado por diferentes rutas a largo de edificaciones largas (lazo del orden de 50 m²)

² Lazo formado por conductores alojados en el mismo ducto con diferentes rutas en edificaciones pequeñas (lazo del orden de 10 m²)

³ Lazo forma por conductores alojados en el mismo cable (lazo del orden de 0,5 m²)



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

4 Cable con resistencia de pantalla R_p unida al barrete equipotencial en ambos extremos y equipo conectada al mismo barrete.

Nota: para cableado en conducto metálico esterilizado en sus extremos al barrete equipotencial, los valores de los deben multiplicarse por 0,1.

Fuente: (ICONTEC, Norma NTC 4552-2, 2008)

Después de asegurar que la ubicación y las distancias de protección son las adecuadas; se deben considerar la técnica de conexión acorde con el DPS.

Existen las siguientes técnicas de conexión:

- **Conexión en serie o en V²**

La conexión en serie o V se utiliza cuando el nivel de protección del equipo (U_s) coincide con el nivel de protección del DPS, y la capacidad térmica de los bornes de conexión es tal que soporta la corriente nominal de la instalación. Esta configuración garantiza que las longitudes de conexión son mínimas.

En la figura 16 se muestra la forma correcta e incorrecta de realizar la conexión serie o conexión V

conexión correcta

$U_{total} = U_{DPS}$

conexión incorrecta

$U_{total} = L \cdot di/dt + U_{DPS} + U_{eq}$

i_{imp} Corriente de impulso derivada
 U_{DPS} Tensión de limitación de los DPS
 U_{total} Tensión de limitación aplicada en el equipo final

Figura 16 Conexión serie o conexión V
 Fuente: (Dehn, Manual de protección contra rayos, capítulo 8), (Memorias conferencia "Rayos, vivir para administrarlos", 2007)

² Definición de Dehn

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

- **La conexión paralelo**

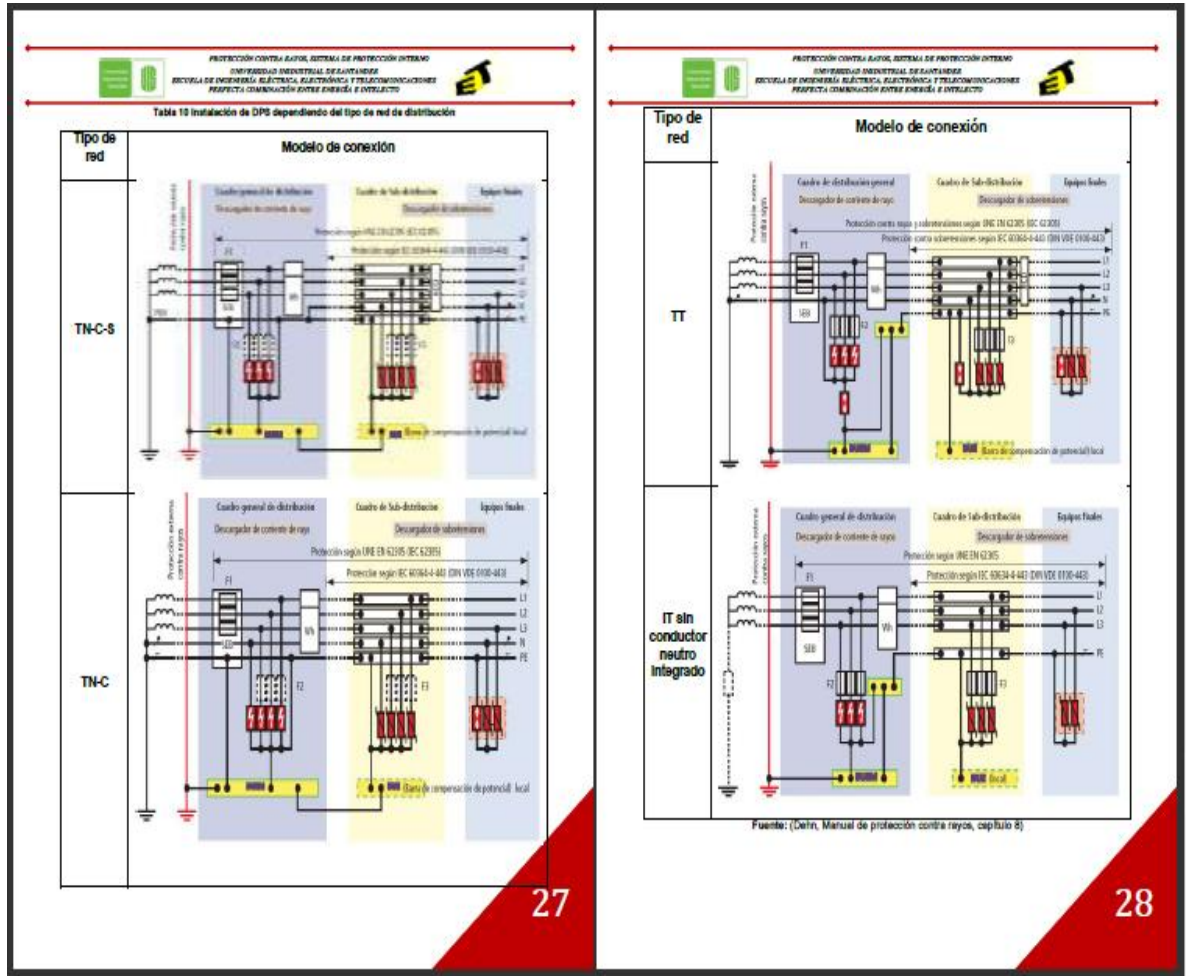
Un DPS se conecta en paralelo porque los bornes de conexión no son capaces de soportar la corriente nominal de servicio o porque no es viable su instalación, a causa del número de fusibles que deben instalarse como protección del equipo y del DPS.

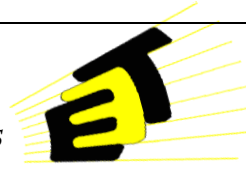
En esta conexión es necesario tener especial cuidado con la longitud de los cables de conexión y se recomienda que no sea mayor a 0,5 m. En la figura 39 se observa la forma correcta de realizar la conexión en paralelo.

i_{imp} Corriente de impulso derivada
 U_{DPS} Tensión de limitación del DPS
 U_{total} Tensión de limitación aplicada en el equipo final
 U_{dyn1} Caída de tensión en la conexión del lado de fase del dispositivo de protección
 U_{dyn2} Caída de tensión en la conexión en el lado de tierra del dispositivo de protección

Figura 17 Conexión en paralelo de un DPS
 Fuente: (Dehn, Manual de protección contra rayos, capítulo 8)

La instalación de los DPS varía de acuerdo al tipo de red de distribución dispuesta en la edificación, en la tabla 10 aparecen modelos de conexión para cada tipo de red; teniendo en cuenta la zona de protección asociada y el equipo a proteger.





PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

¿Cómo se realiza la instalación coordinada de DPS?

La coordinación energética de DPS actualmente se realiza por medio de una instalación en cascada, en la cual la primera etapa asume la corriente de impulso de rayo y las demás etapas asumen las descargas subsecuentes y de larga duración. Si se habla de energía a descargar se tiene en cuenta la corriente de impulso de rayo o la primera descarga de retorno; pero cuando se necesita proteger contra las descargas subsecuentes, lo importante es la pendiente de la onda porque condiciona el funcionamiento del DPS, es decir, el primer DPS (clase I) se activa para disipar la corriente parcial de rayo y los siguientes son diseñados para activarse gradualmente, por lo tanto, existe la posibilidad de que la onda de corriente de rayo no sea suficiente para poner en operación el dispositivo.

La instalación coordinada de DPS puede llevarse a cabo bajo uno de los siguientes principios:

- Coordinación de la característica tensión-corriente (sin elementos de desacople): si garantiza una correcta relación tensión-corriente entre los DPS no es necesario usar elementos de desacople y los dispositivos se activarán adecuadamente, es decir, si los DPS corresponden efectivamente a los niveles de protección de cada zona se activarán y no se producirán daños. Esta coordinación es efectiva cuando se realiza por medio de diodos supresores o la combinación de vía chispas/varistor.
- Coordinación con elementos de desacople: la coordinación basada en elementos de desacople busca garantizar la activación de los dispositivos cuando se presenta una sobretensión.

El elemento de desacople es una inductancia concentrada (bobina de desacople) o la inductancia propia de los conductores de conexión; su objetivo es generar una caída de tensión que garantice el reparto de energía.

Para los descargadores de sobretensiones de rayo más habituales son suficientes bobinas de desacople con una inductancia mayor que μH asegurando una correcta coordinación energética y una extensión de la vida útil.

Esta forma de coordinación no es efectiva cuando la forma de onda tiene un valor de pendiente bajo; en estos casos el elemento de desacople debe ser una resistencia. Las resistencias también se usan como elementos de desacople en los sistemas electrónicos sensibles que no soporten interferencia inductiva.

29

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Este método es usado en las siguientes situaciones:

- Coordinación con dos elementos de protección limitadores de tensión: cuando se instalan dos o más MOV en cascada es necesario utilizar bobinas de desacople que aseguren que la energía disipada por cada DPS no supere su nivel soportable de energía. En la figura 18 se muestra la disposición del circuito de protección usando una bobinada de desacople.

DIAGRAMA CIRCUITAL

DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ENTRE LOS VARISTORES

Figura 18 Coordinación de dos DPS limitadores de tensión
 Fuente: (Coordinación energética entre descargadores, 2010)

- Coordinación entre un DPS accionado por tensión y un DPS limitador de tensión: el circuito consiste en un primer DPS accionado por tensión, vía a chispas, una impedancia RL y un DPS limitador de tensión o MOV.

Su funcionamiento es el siguiente: si la tensión a través del vía chispas es suficientemente grande este conductor y puenteará la corriente para que no circule por el MOV; después de accionar el vía chispas la energía restante se disipará en la resistencia y en el MOV.

En la figura 19 se muestra el diagrama circuital de esta instalación:

30



PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Figura 19 Coordinación de un DPS activado por tensión y un DPS limitador de tensión
 Fuente: (Libro: Protección contra rayos, 2008, pág. 419)

31

PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
 PERFECTA COMBINACIÓN ENTRE ENERGÍA E INTELLECTO

Trabajos citados

Autores.
 Daln. (capítulo 5). *Manual de protección contra rayos*. Daln Solma.
 Dpto. Técnico Electropol, 1 (2009). Artículo: Especificaciones deseables de un DPS. *Ingeniería*, 20-21.
 Guía de diseño de instalaciones eléctricas Electric, S. (2008). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*. Schneider Electric.
 ICONTEC. (2008). *Norma NTC 4552-2*.
 Libro: Protección contra rayos, T. S. (2006). *Libro: Protección contra rayos*. Bogotá: ICONTEC.
 Mingula de sobretensión, Z. C. (2007). *Mingula de sobretensión*. España.
 Ospina, I. F. (28, 29 y 30 de noviembre de 2007). *Memorias conferencia "Rayos, vivir para admirarlos"*. Lima, Perú.
 S.A., D. I. (2010). *Coordinación energética entre descargadores*. Daln.
 SOHNE, D. (marzo de 2009). *Seminario Protección contra sobretensiones transitoria en redes de baja tensión*. Caracas, Venezuela.
www.directindustry.es/prod/nasnal/protector-de-sobretension-tipo-2-de-descarga-rapido-de-disipar-rapido-35105-215063.htm. (s.f.).
www.intersuprias.net/Construccion/PariaVirtual/Reserva/Producto.asp?R=39480. (s.f.).

32