

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE	
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE	
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014



FIGURA 99- PUESTA A TIERRA TEMPORAL EN BARRAJES

4.18 REQUISITOS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

Las descargas atmosféricas son eventos naturales cuyos parámetros son variables espacial y temporalmente. El control de la magnitud y ocurrencia de estos fenómenos escapa al alcance del hombre, pero el punto de impacto y la mitigación de sus efectos sobre la salud humana, animal, medio ambiente, así como la protección del funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos, sí hace parte de las medidas que pueden adoptarse desde la ingeniería.

La mayor incidencia de rayos en el mundo se da en las tres zonas de mayor convección profunda: América tropical, África central y norte de Australia. Colombia al estar situada en zona de confluencia intertropical, presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta y de allí la importancia de la protección contra dicho fenómeno, pues si bien los métodos desarrollados a nivel mundial se pueden aplicar, algunos parámetros del rayo son particulares para esta zona. Tales condiciones obligan a que se tomen las medidas para minimizar los riesgos por los efectos del rayo, tanto en las edificaciones como en las instalaciones eléctricas.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

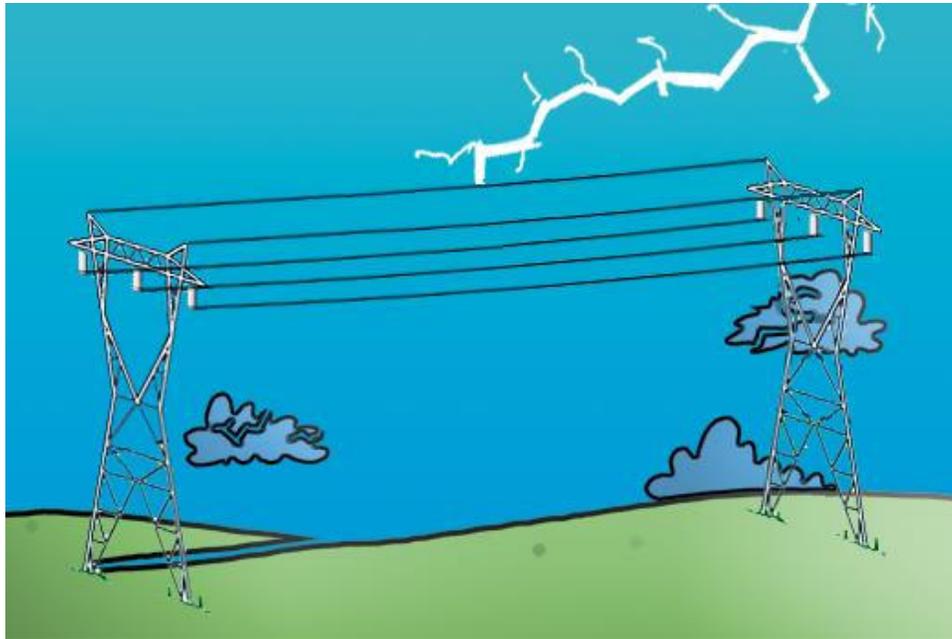


FIGURA 91 - FOTO ILUSTRATIVA DE UN RAYO

4.18.1 Evaluación del nivel de riesgo frente a rayos

La evaluación del nivel de riesgo por rayos, debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida del suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o graves daños de bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo para la zona tropical, donde está ubicada Colombia y las medidas de protección que mitiguen el riesgo; por tanto, debe basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la **IEC 62305-2**, de reconocimiento internacional o la **NTC 4552-2**.

Las instalaciones que hayan sido construidas dentro de la vigencia del RETIE, que les aplica este requisito y que requieran la implementación de medidas para controlarlo, deben darle cumplimiento en un periodo no superior a 12 meses de la entrada en vigencia de la resolución 90708 de agosto 30 de 2013.

Las centrales de generación, líneas de transmisión, redes de distribución en media tensión y las subestaciones construidas con posterioridad al 1º de mayo de 2005 deben tener un estudio del nivel de riesgo por rayos, soportado en norma técnica internacional, de reconocimiento internacional o NTC.

También deben contar con una evaluación del nivel de riesgo por rayo, las instalaciones de uso final donde se tenga alta concentración de personas, tales como: Edificaciones de viviendas multifamiliares, edificios de oficinas, hoteles, centros de atención médica, lugares de culto, centros educativos, centros comerciales, industrias, supermercados, parques de diversión, prisiones, aeropuertos, cuarteles, salas de juzgados, salas de baile o diversión, gimnasios, restaurantes, museos, auditorios, boleras, salas de clubes, salas de conferencias, salas de exhibición, salas de velación, lugares de espera de medios de

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

transporte masivo. Igualmente aplica a edificaciones aisladas, edificaciones con alturas que sobresalgan sobre las de su entorno y donde se tenga conocimiento de alta densidad de rayos.

La evaluación del riesgo es un elemento muy importante en el procedimiento para diseñar un sistema de protección contra rayos y especialmente en el procedimiento de selección del nivel de protección, por ello el método de evaluación debe ser efectivo y relativamente simple.

El estudio de evaluación del nivel de riesgo por rayo debe estar disponible para revisión de las autoridades de vigilancia y control.

4.18.1.1 Tipo de daño y tipo de pérdida según el punto de impacto de la descarga

De acuerdo con la norma internacional IEC 62305-2 de la Comisión Electrotécnica Internacional, en la evaluación del nivel de riesgo frente a rayos, se deben considerar cuatro aspectos importantes:

Daños

- Daños a seres vivos - D1
- Daños físicos - D2
- Fallas en sistemas eléctricos y electrónicos - D3

Pérdidas

- Pérdidas humanas - L1
- Pérdidas de servicio - L2
- Pérdidas de patrimonio cultural - L3
- Pérdidas de valor económico - L4

En la TABLA 32 tomada de la norma IEC 62305-2, se muestra cómo se interrelacionan los daños con las pérdidas.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 32- TIPO DE DAÑO Y TIPO DE PÉRDIDA SEGÚN EL PUNTO DE IMPACTO DE LA DESCARGA (TABLA TOMADA DE LA NORMA IEC 62305-2)

PUNTO DE IMPACTO	Fuente de daño	ESTRUCTURA		SERVICIO	
		Tipo de daño	Tipo de pérdidas	Tipo de daño	Tipo de pérdidas
	Descargas en una estructura	D1	L1	D1	L2,L4
		D2	L1,L2,L3,L4	D2	L2,L4
		D3	L1,L2,L4		
	Descargas cerca de una estructura	D3	L1,L2,L4		
	Descargas en un servicio	D1	L1,L4	D2	L2,L4
		D2	L1.L2.L3.L4	D3	L2,L4
		D3	L1,L2,L4		
	Descargas cerca de un servicio	D3	L1,L2,L4	D3	L2,L4

Riesgos

Valor de las pérdidas anuales probables (personas y bienes) debidas al rayo, respecto al valor total (personas y bienes) del objeto a proteger. Para cada tipo de pérdida, que puede presentarse en una estructura o servicio, debe evaluarse el riesgo correspondiente.

Los riesgos a evaluar en una estructura pueden ser los siguientes:

- Riesgo de pérdidas humanas.
- Riesgo de pérdidas de servicio público.
- Riesgo de pérdidas de patrimonio cultural.
- Riesgo de pérdidas de valor económico.

Los riesgos a valorar en un servicio pueden ser los siguientes:

- Riesgo de pérdida de servicio público.
- Riesgo de pérdida de valor económico.

4.18.1.2 Evaluación de riesgos

En la evaluación de riesgos deben ser considerados los siguientes elementos:

- Identificación del objeto a proteger (estructura o servicio) y sus características.
- Identificación de todos los tipos de pérdidas correspondientes a la estructura o al servicio a proteger.
- Identificación del riesgo tolerable.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

- Riesgo tolerable (RT): Valor máximo del riesgo que puede admitirse para el objeto a proteger, como se muestra en la TABLA 33. (Tomada de la norma IEC 62305-2)

TABLA 33- VALORES TÍPICOS DEL RIESGO TOLERABLE

TIPOS DE PÉRDIDAS	R _T
Pérdidas de vida humana o daños permanentes	10 ⁻⁵
Pérdida de servicio público	10 ⁻³
Pérdida de patrimonio cultural	10 ⁻³

4.18.2 Diseño e implementación de un sistema externo de protección contra rayos

La protección contra rayos se debe basar en la aplicación de un Sistema Integral de Protección, conducente a mitigar los riesgos asociados con la exposición directa e indirecta a los rayos.

El diseño e implementación, debe realizarse aplicando un metodologías reconocidas por normas técnicas internacionales como la IEC 62305-3 o la NFPA 780, o la norma nacional NTC 4552, las cuales se basan en el METODO ELECTROGEOMÉTRICO. El profesional competente, encargada de un proyecto, debe incluir unas buenas prácticas de ingeniería de protección contra rayos (realizar un diseño óptimo, aplicar criterios adecuados, sustentados en normas y guías, adelantar mediciones y análisis coherentes), con el fin de disminuir sus efectos, que pueden ser de tipo electromagnético, mecánico o térmico.

Las características de un SPCR (Sistema de Protección Contra Rayos) se determinan por las condiciones de la estructura a proteger y los tipos de riesgos.

4.18.2.1 Diseño

De acuerdo con la norma IEC 62305-3 es posible un diseño optimizado, técnica y económicamente de un SPCR, especialmente si las etapas de diseño y construcción del SPCR están coordinadas con las etapas de diseño y construcción de la estructura a proteger. En estructuras existentes, el diseño de la clase y colocación del SPCR debe tener en cuenta las limitaciones correspondientes a la situación existente.

4.18.2.2 Aplicación de un SPCR externo

La parte externa de un SPCR tiene como objeto interceptar las descargas directas de rayos a la estructura, incluyendo las descargas laterales, y conducir la corriente del rayo desde el punto de impacto a la tierra. La parte externa también tiene como objeto dispersar la corriente en tierra sin que se produzcan daños térmicos o mecánicos, chispas peligrosas que puedan dar lugar a incendios o explosiones o tensiones de toque y paso que pongan en riesgo la vida de las personas, los equipos y las instalaciones.

4.18.2.3 Sistemas de captura

Los sistemas de captura pueden estar formados por cualquier combinación de los elementos siguientes:

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

- Varillas o puntas (incluidos mástiles separados).
- Cables de guarda.
- Conductores enmallados.

Los captadores individuales tipo varilla deberían conectarse entre sí a nivel del techo para asegurar la equipotencialidad y la división de la corriente en las distintas bajantes.

4.18.2.4 Ubicación de elementos captadores

La instalación de los elementos captadores en una estructura, debe realizarse teniendo en cuenta los requerimientos del modelo electrogeométrico para lo cual se deben emplear metodologías determinísticas o preferiblemente probabilísticas.

4.18.3 Componentes del sistema de protección contra rayos

El sistema de protección contra rayos debe tener los siguientes componentes:

4.18.3.1 Terminales de captación o pararrayos

En la TABLA 34, adoptada de las normas IEC 62305 e IEC 61024-1, se presentan las características que deben cumplir los pararrayos o terminales de captación, construidos especialmente para este fin.

Nota: En el RETIE los terminales de captación no requieren certificación de producto, de tal manera que el constructor e inspector de la instalación verificarán solamente el cumplimiento de los requisitos dimensionales y de materiales.

Cualquier elemento metálico de la estructura que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, techos, torres de comunicación y cualquier tubería que sobresalga, puede ser tratado como un terminal de captación siempre que se garantice su capacidad de conducción y continuidad eléctrica (si no cumple debe protegerse sistema de captación adicional).

Para efectos del RETIE se considera que el comportamiento de todo terminal de captación debe tomarse como el de un terminal tipo Franklin, esto implica que los llamados pararrayos ionizantes, elementos de cebado, descargadores parciales, etc., deben ser considerados como puntas convencionales y no tratados bajo su principio de operación.

En otras palabras, los sistemas que pretenden ahorrar en número de puntas, no son admitidos por la normatividad nacional e internacional y no cumplen los requerimientos del RETIE en relación con la aplicación del Modelo Electrogeométrico.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 34- CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMINALES DE CAPTACIÓN Y BAJANTES

MATERIAL	CONFIGURACIÓN	ÁREA MÍNIMA ¹⁾ (mm ²)	DIÁMETROS Y ESPEORES MÍNIMOS ²⁾
Cobre	Cinta sólida	50	2 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cinta sólida	70	3 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
Aleación de aluminio 6201	Cinta sólida	50	2,5 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Acero galvanizado en caliente o acero recubierto de cobre	Cinta sólida	50	2,5 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro Espesor de la capa: 50 µm.
Acero inoxidable	Cinta sólida	50	2,5 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	70	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Bronce	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Tubo	50	4 mm de espesor
	Varilla	200	16 mm de diámetro

*Si aspectos térmicos y mecánicos son importantes, estas dimensiones se pueden aumentar a 60 mm² para cinta sólida y a 78 mm² para alambre.
En las dimensiones de espesor, ancho y diámetro se admite una tolerancia de ±10 %.
No se deben utilizar terminales de captación o pararrayos con elementos radiactivos.*

Nota: Los terminales de captación no requieren Certificación de Conformidad de Producto. El constructor e inspector de la instalación verificarán el cumplimiento de los requisitos dimensionales.

Para efectos de este reglamento, el comportamiento de todo pararrayos o terminal de captación debe tomarse como el de un pararrayos tipo Franklin.

4.18.3.2 Conductores de bajantes

a. El objeto de los conductores bajantes o simplemente bajantes, es conducir a tierra, en forma segura, la corriente del rayo que incide sobre la estructura e impacta en los pararrayos. Con el fin

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

de reducir la probabilidad de daños debido a las corrientes del rayo que circulan por el Sistema de Protección contra Rayos, las bajantes deben disponerse de tal manera que desde el punto de impacto hasta tierra existan varios caminos en paralelo para la corriente, la longitud de los caminos de corriente se reduzca al mínimo y se realicen conexiones equipotenciales a las partes conductoras de la estructura.

- b. En los diseños se deben considerar dos tipos de bajantes, unirlos directamente a la estructura a proteger o aislarlas eléctricamente de la misma. La decisión de cual tipo de bajante utilizar depende del riesgo de efectos térmicos o explosivos en el punto de impacto de rayo y de los elementos almacenados en la estructura. En estructuras con paredes combustibles y en áreas con peligro de explosión se debe aplicar el tipo aislado.
- c. La interconexión de bajantes se deben hacer en la parte superior; son opcionales la interconexión a nivel de piso y los anillos intermedios.
- d. La geometría de las bajantes y la de los anillos de unión afecta a la distancia de separación.
- e. En la TABLA 35 se dan las distancias típicas recomendadas entre los conductores bajantes y entre anillos equipotenciales, en función del Nivel de Protección contra Rayos (NPR).

TABLA 35- DISTANCIAS SUGERIDAS PARA SEPARACIÓN DE BAJANTES Y ANILLOS

NPR	DISTANCIA TÍPICA PROMEDIO [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

- f. La instalación de más bajantes, espaciadas de forma equidistante alrededor del perímetro y conectadas mediante anillos equipotenciales, reduce la probabilidad de que se produzcan chispas peligrosas y facilita la protección interna. Esta condición se cumple en estructuras totalmente metálicas y en estructuras de concreto en las que el acero de refuerzo es eléctricamente continuo.
- g. El número de bajantes no debe ser inferior a dos y deben ubicarse en el perímetro de la estructura a proteger, en función de las restricciones arquitectónicas y prácticas. Deben instalarse, en la medida de lo posible, en las esquinas opuestas de la estructura.
- h. Cada bajante debe terminar en una puesta tierra que tenga un camino vertical y otro horizontal a la corriente.
- i. Las bajantes deben instalarse, de manera que sean una continuación directa de los conductores del sistema de captación.
- j. Los conductores bajantes deben instalarse de manera rectilínea y vertical, siguiendo el camino más corto y directo a tierra. Debe evitarse la formación de bucles en el conductor bajante y de curvas de menos de 20 cm de radio.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

- k. Las bajantes no deben instalarse en canales de drenaje de aguas, incluso si tienen un aislamiento eléctrico.
- l. Los materiales deben cumplir las especificaciones dadas en la TABLA 34
- m. Los marcos o elementos de la fachada pueden ser utilizados como bajantes, si son perfiles o rieles metálicos y sus dimensiones cumplen con los requisitos para los conductores bajantes, es decir, para laminas o tubos metálicos su espesor no sea inferior a 0,5 mm y su equipotencialidad vertical sea garantizada de tal manera que fuerzas mecánicas accidentales (por ejemplo vibraciones, expansión térmica, etc.) no causen el rompimiento de los materiales o la pérdida de equipotencialidad.
- n. La puesta a tierra de protección contra rayos debe interconectarse con las otras puestas a tierra de la edificación.

4.18.3.3 Puesta a tierra para protección contra rayos

La puesta a tierra de protección contra rayos debe cumplir los requisitos que le apliquen del apartado de puestas a tierra de este MANUAL "MASE", especialmente en cuanto a materiales e interconexión.

La configuración debe hacerse con electrodos horizontales, verticales o una combinación de ambos, según criterio de la norma IEC 62305. En la TABLA 36 se presentan los materiales aceptados para el Sistema de protección contra rayos tomada de la IEC 62305-3.

TABLA 36- MATERIALES DE LOS SPCR Y CONDICIONES DE EMPLEO (TOMADO DE LA IEC 62305-3)

MATERIAL	UTILIZACIÓN			CORROSIÓN		
	Al aire libre	En tierra	En hormigón	Resistencia	Aumentada por	Puede ser destruida por acoplamiento o galvánico con
Cobre	Sólido Trenzado	Sólido trenzado como revestimiento o	Sólido trenzado como revestimiento o	Buenos en muchos ambientes	Compuestos sulfurosos Materiales orgánicos	-
Acero galvanizado o en caliente	Sólido Trenzado	sólido	Sólido Trenzado	Aceptable en aire, hormigón y en suelo normal	Alto contenido en cloruros	cobre
Acero inoxidable	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Bueno en muchos ambientes	Alto contenido en cloruros	-
Aluminio	Sólido	No	No	Bueno en	Soluciones	Cobre

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

MATERIAL	UTILIZACIÓN			CORROSIÓN		
	Al aire libre	En tierra	En hormigón	Resistencia	Aumentada por	Puede ser destruida por acoplamiento o galvánico con
	Trenzado	adecuado	adecuado	atmósferas con baja concentración en azufre y cloro	alcalinas	
Plomo	Sólido como revestimiento	Sólido como revestimiento	No adecuado	Bueno en atmósferas con alta concentración en sulfatos	Soluciones alcalinas	Cobre acero inoxidable

4.18.4 Diseño del sistema de protección interno

El diseño del sistema de protección interno considera dos aspectos, el primero la protección contra las sobretensiones generadas por el rayo y el segundo la protección contra el campo electromagnético producido por la circulación de la corriente del rayo en la instalación y que puede generar fallas en los equipos eléctricos por diferencias de tensión debidas a la inductancia de los sistemas de conexión a tierra.

4.18.4.1 Vulnerabilidad de los equipos en baja tensión

Los niveles de soportabilidad ante sobretensiones tipo impulso están definidos en la norma IEC 60664-1 de acuerdo con 4 categorías. Cada categoría agrupa equipos específicos teniendo en cuenta su utilización y la sensibilidad de componentes. En la TABLA 37 tomada del Anexo F de la norma IEC 60664-1, se presentan las categorías y la TABLA 38 se explican los equipos asociados con cada categoría.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 37- SOPORTABILIDAD DE EQUIPOS DE BAJO VOLTAJE ANTE SOBRETENSIONES TIPO IMPULSO

Voltaje nominal del sistema basado en IEC 60038		Voltaje línea neutro derivado de voltajes nominales A.C o D.C. hasta el valor indicado e incluido	Voltaje impulso			
			Categoría sobrevoltaje			
Trifásico	Monofásico		I	II	III	IV
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
		50	330	500	800	1500
		100	500	800	1500	2500
	120 - 240	150	800	1500	2500	4000
230/400 277/480		300	1500	2500	4000	6000
400/690		600	2500	4000	6000	8000
1000		1000	4000	6000	8000	12000

TABLA 38- EQUIPOS DE ACUERDO CON LA CATEGORÍA DE SOBRETENSIONES

Categoría	Descripción	Observaciones
I	Equipos con circuitos electrónicos sensibles: computadores, TV, HiFi, video, alarmas, electrodomésticos, etc.	Equipo para conectar a los circuitos donde se han tomado medidas de protección para reducir las sobretensiones
II	Electrodomésticos con programadores mecánicos, herramientas	Equipo de consumo de energía conectado a equipos fijos
III	Tableros de distribución, elementos de conmutación (suiches, aislantes, bases de conexión), conductos y sus accesorios (cables, barras de conexión, cajas de conexión, etc.)	Equipos de instalación fija
IV	Equipos para uso industrial y otros equipos como motores conectados permanentemente a la red. Equipo de medida, contadores, equipos de protección contra sobrecarga, dispositivos de medición remotos, etc.	Utilizados en el origen de la instalación o uso industrial

En general, de acuerdo con los niveles recomendados por la norma, los equipos son muy vulnerables dado que frecuentemente es escasa su adecuada protección contra sobretensiones. En Colombia por muchos años solo se ha protegido el transformador en el lado de alta tensión, pero con la entrada en vigencia del RETIE se ha mejorado el tema de la protección contra sobretensiones, sin embargo, la

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

tendencia actual es instalar solo un DPS en la entrada, y no se coordina la protección contra sobretensiones para los equipos de categoría I, con lo cual, ante eventos de rayo, normalmente sufren daños que representan pérdidas mayores debido a que corresponden a controles y equipos inteligentes, que generalmente son costosos o conducen a interrupciones largas.

4.18.4.2 Vulnerabilidad de los equipos en media y alta tensión

Generalmente los equipos de media y alta tensión se construyen con niveles de aislamiento normalizados, por encima de los valores señalados por el fabricante los equipos son vulnerables. La TABLA 39 y la TABLA 40 muestran los valores normalizados según la norma IEC 60071.

TABLA 39- NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS PARA RANGO I - IEC 60071

Máxima tensión asignada al equipo U_m (valor r.m.s)	Tensión estándar de soportabilidad de corta duración a frecuencia industrial KV (valor r.m.s.)	Tensión estándar de soportabilidad al impulso tipo rayo KVp
3.6		20
		40
7.2		40
		60
12		60
		75
		95
17.5		75
		95
24		95
		125
		145
36		145
		170
52		250
		325
72.5		325
		450
123		450
		550
145		185
		230
		275
170		230
		275
		325

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

Máxima tensión asignada al equipo Um (valor r.m.s)	Tensión estándar de soportabilidad de corta duración a frecuencia industrial KV (valor r.m.s.)	Tensión estándar de soportabilidad al impulso tipo rayo KVp
245	275	650
	325	750
	360	850
	395	950
	460	1050

TABLA 40- NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS PARA RANGO II - IEC 60071

Máxima tensión asignada al equipo Um (valor r.m.s)	Tensión estándar impulso maniobra			Soportabilidad al impulso estándar tipo rayo en KVp
	Aislamiento Longitudinal KVp	Fase tierra KVp	Fase Fase KVp (relación fase tierra)	
300	750	750	1.5	850
				950
	750	850	1.5	950
362	850	850	1.5	1050
				950
	850	950	1.5	1175
420	850	850	1.6	1050
				1175
	950	950	1.5	1175
				1300
525	950	1050	1.5	1300
				1425
	950	1175	1.5	1425
765	1175	1300	1.7	1550
				1675
				1800

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

Máxima tensión asignada al equipo Um (valor r.m.s)	Tensión estándar impulso maniobra			Soportabilidad al impulso estándar tipo rayo en KVp
	Aislamiento Longitudinal KVp	Fase tierra KVp	Fase Fase KVp (relación fase tierra)	
	1175	1425	1.7	1800
				1950
	1175	1550	1.6	1950
				2100

4.18.4.3 Dispositivos de protección contra sobretensiones DPS

Un dispositivo de protección contra sobretensiones es básicamente un limitador del voltaje, que tiene el objetivo de proteger el aislamiento de los equipos eléctricos. Las sobretensiones son inevitables en los sistemas eléctricos a cualquier nivel de tensión, es por esta razón que la aplicación de DPS es fundamental y constituye uno de los aspectos críticos de diseño en los sistemas eléctricos.

Se pueden dividir los DPS en dos grupos de acuerdo con la metodología de selección y sus características: DPS para baja tensión (< 1000 V) y DPS para media y alta tensión.

a) Tecnologías actuales

De acuerdo con el principio de funcionamiento, los DPS pueden ser del tipo limitadores de tensión, conmutación de tensión o una combinación de ambos. Los primeros usan elementos no lineales como varistores de ZnO, diodos supresores o de avalancha, y los de conmutación usan gaps de aire, tubos de descarga, tiristores y triacs, los cuales actúan como swiches cuando operan.

En baja, media y alta tensión, usualmente, se usan los DPS basados en varistores de ZnO; la aplicación de gaps depende del tipo de sistema y han caído en desuso con el desarrollo de los varistores de ZnO y se usa en casos especiales. Los elementos semiconductores como diodos supresores y derivados se aplican en equipos de bajo voltaje.

DPS de óxido de zinc (ZnO)

Estos utilizan como elementos activos varistores de óxido de zinc, ensamblados en serie, en una o más columnas. Eventualmente se usa también el óxido de Manganese MnO.

Usualmente los varistores de ZnO tienen un comportamiento enmarcado bajo una curva característica de tensión y corriente, tal como se ilustra en la FIGURA 92.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

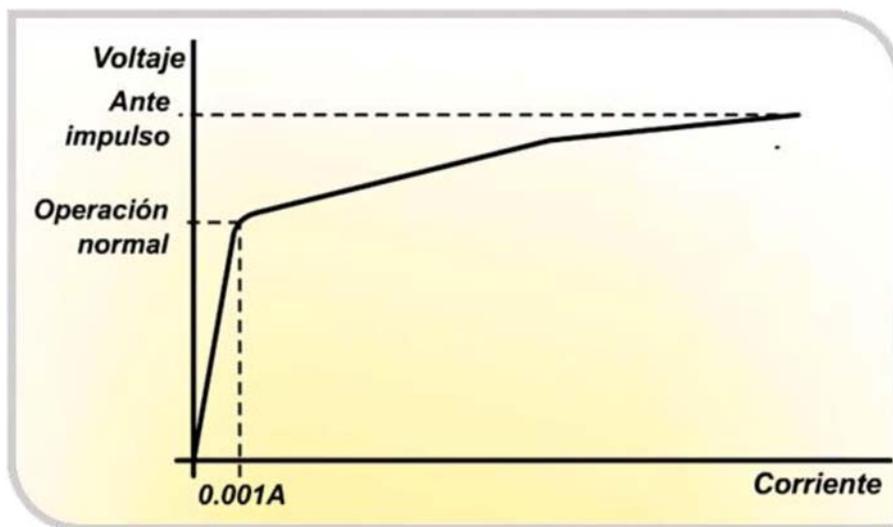


FIGURA 92 - CURVA CARACTERÍSTICA DE VARISTORES DE ZNO

La tensión asignada de estos DPS se selecciona teniendo en cuenta las sobretensiones encontradas durante las fallas a tierra, así como también la duración de la sobretensión y la tensión máxima del sistema. La tensión residual en los bornes del DPS depende de la magnitud de la corriente de la onda incidente.

En la FIGURA 93 se muestran DPS para media y alta tensión y en la FIGURA 94 se muestran varistores típicos utilizados en DPS de baja tensión.

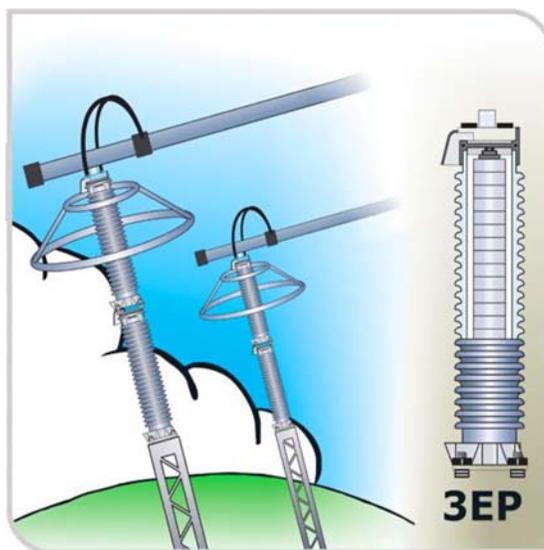


FIGURA 93 - DESCARGADORES DE SOBRETENSIONES DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

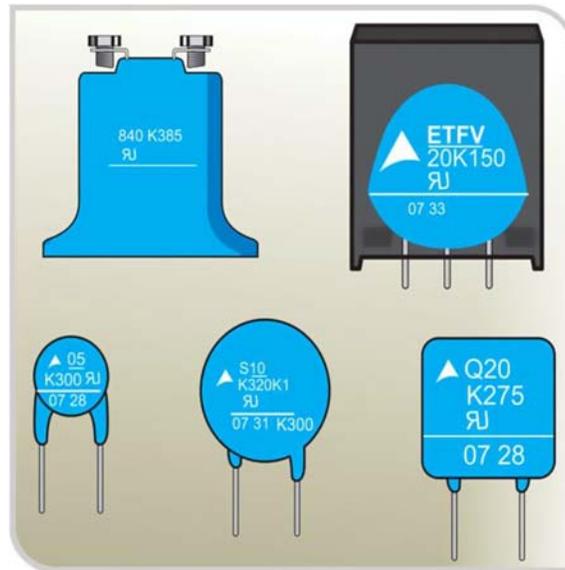


FIGURA 94 - DESCARGADORES DE SOBRETENSIONES DE BAJA TENSIÓN

b) Parámetros fundamentales

Los DPS han sido clasificados por diversas normas en las cuales se usan diferentes parámetros para su especificación. A continuación se hace una recopilación de los parámetros fundamentales de acuerdo con IEEE e IEC en la TABLA 41:

TABLA 41- PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE UN DPS

Parámetro	Descripción
Tensión máxima de operación continua	Valor máximo de tensión rms o dc que soporta continuamente en terminales el DPS en condiciones de operación normal
Nivel de protección – Tensión residual	Es el valor de tensión que garantiza el DPS en terminales para la prueba con onda 8/20 a corriente de descarga nominal
Característica temporal	Tensión máxima permisible rms a frecuencia industrial para la cual está diseñado el DPS para operar correctamente bajo sobretensión temporal por un tiempo determinado (10s)
Corriente nominal de descarga	Valor pico de impulso de corriente para el cual está dimensionado el DPS de acuerdo con el protocolo de pruebas que cumple
Corriente máxima de descarga - Energía	Valor pico de corriente máxima onda 8/20 - 10/350 que puede descargar el DPS de forma segura este parámetro está relacionado con la energía que puede disipar el DPS en un intervalo de tiempo.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

c) Clasificación de los dispositivos de protección contra sobretensiones

La clasificación de un DPS está ligada al esquema de selección y coordinación, los cuales definen cada norma en particular. Las principales referencias normativas en cuanto a DPS son la IEEE, IEC y UL. A continuación se presenta la clasificación de los DPS de acuerdo con las normas mencionadas.

➤ **Clasificación para DPS en baja tensión según norma IEC 61643-1**

La clasificación bajo IEC considera en primer lugar como aspecto fundamental la clase de prueba y en segundo lugar el tipo de tecnología y aspectos de montaje.

Las clases de prueba están relacionadas con el tipo de corriente que enfrentan los DPS y estas se relacionan con las zonas de protección.

✓ **DPS Clase I**

Los DPS de esta clase se usan en las interfases de una zona expuesta a corrientes directas o parciales de rayo y una zona no expuesta a corrientes directas o parciales de rayo.

Son probados con corriente de impulso con formas de onda 10/350 μ s y la prueba de tensión residual para los DPS de tipo limitación de tensión clase I se hace con onda 8/20 μ s.

✓ **DPS Clase II**

Para esta clase los DPS se prueban con impulso de corriente 8/20 μ s correspondiente. Los DPS de esta clase están diseñados para manejar corrientes inducidas o atenuadas por los DPS clase I.

El valor de la corriente de prueba depende del punto de instalación y del nivel de protección requerido en la instalación.

✓ **DPS Clase III**

Son probados con generador de onda combinada, tensión de circuito abierto 1.2/50 μ s y corriente de cortocircuito 8/20 μ s. Los DPS de esta clase están enfocados al equipo final.

➤ **Clasificación para DPS en baja tensión según norma IEEE C62.41**

Las normas IEEE frente al tema de DPS en baja tensión se enfocan en describir, parametrizar y hacer recomendaciones prácticas sobre las sobretensiones en los sistemas eléctricos de baja tensión y su control. Las normas definen dos escenarios que consideran los eventos con la corriente de rayo.

✓ **Escenario I**

Considera el evento de rayo que afecta la estructura desde eventos ocurridos en el cableado externo. De acuerdo con el escenario I, se establecen las categorías de localización producto de una identificación basada en registros de las sobretensiones en diferentes puntos de una instalación. En la FIGURA 95 se ilustra el concepto de las zonas de localización.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

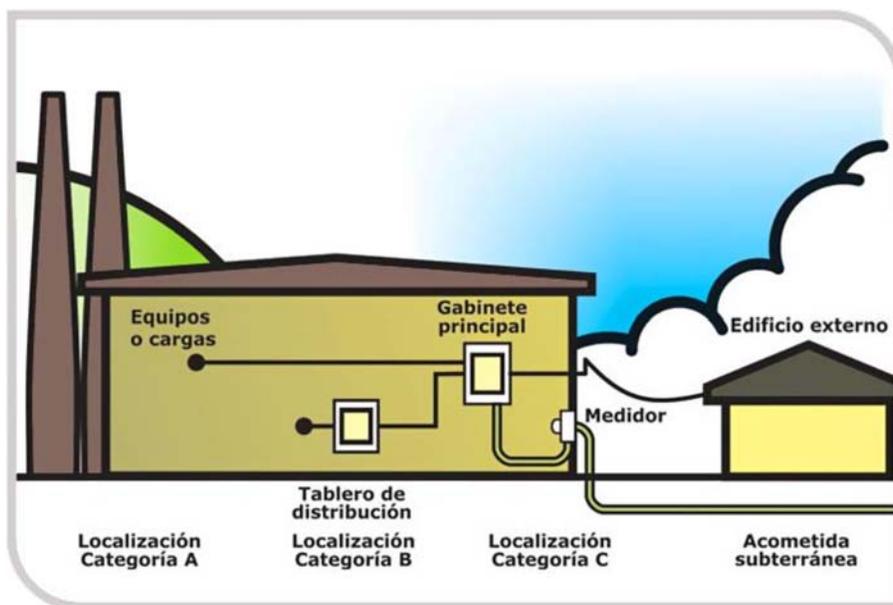


FIGURA 95 - IDENTIFICACIÓN DE LUGARES DE ACUERDO CON CATEGORÍAS DE LOCALIZACIÓN IEEE

Categoría A

Se refiere a equipo final, todas las salidas de más de 10 m de la categoría B y más de 20 m de la categoría C. En la TABLA 42 y en la TABLA 43 se muestran los parámetros recomendados para prueba y selección de DPS de esta categoría.

Categoría B

Comprende tableros secundarios, circuitos alimentadores y circuitos ramales cortos, barrajes y alimentadores en sistemas industriales, salidas de alta potencia cercanas a los tableros principales, sistemas de alumbrado en edificios o instalaciones grandes. En la TABLA 42 y en la TABLA 43 se muestran los parámetros recomendados para prueba y selección de DPS de esta categoría.

**TABLA 42- VALORES MÁXIMOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE ESPERADOS EN CATEGORÍAS DE LOCALIZACIÓN A Y B PARA FORMA DE ONDA OSCILATORIA 0.5 μ s – 100 kHz (RING WAVE)
GUÍA PARA PRUEBA Y SELECCIÓN DE DPS**

Categoría de Localización	Valores pico	
	Voltaje [KV]	Corriente [kA]
A	6	0.2
B	6	0.5

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 43- VALORES MÁXIMOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE ESPERADOS EN CATEGORÍAS DE LOCALIZACIÓN A Y B PARA FORMA DE ONDA COMBINADA 1.2/50 μ s – 8/205 μ s GUÍA PARA PRUEBA Y SELECCIÓN DE DPS

Categoría de Localización	Valores pico	
	Voltaje [KV]	Corriente [kA]
A	6	0.5
B	6	3

Categoría C

Esta categoría se enfoca en el punto de entrada de la acometida o tablero principal proveniente del transformador de la red de media tensión, comprende los conductores y equipo de entrada como contador, líneas subterráneas y alimentadores que van hacia otras estructuras y hacia tableros principales. Esta categoría presenta dos niveles de exposición los cuales consideran el nivel de riesgo dependiente de la actividad atmosférica del área.

En la TABLA 44 se presenta los parámetros recomendados para prueba y selección de DPS de esta categoría.

TABLA 44- PRUEBAS PARA ESCENARIO I PARA DPS CATEGORÍA DE LOCALIZACIÓN C

Exposición	Pruebas estándar		Prueba opcional 100 kHz onda oscilatoria (ring wave)
	Generador voltaje 1.2/50 μ s	Generador de corriente 8/20 μ s	
	Mínimo voltaje de circuito abierto aplicado al DPS	Corriente que debe manejar el DPS	
Baja	6 KV	3 kA	6 KV
Alta	10 KV	10 kA	6 KV

✓ Escenario II

Este escenario es tratado con detalle en el Anexo A de la norma IEEE C62.41.2 y considera el evento de impacto de impacto directamente sobre la estructura o muy cerca de ella.

La norma IEEE hace una propuesta basada en pruebas llevadas a cabo por fabricantes, en las cuales se ha encontrado un factor de 10 en relación con la prueba de impulso para evaluación de la capacidad energética.

En la TABLA 45 se muestra lo propuesto por IEEE en el Anexo A de la IEEE C62.41.2.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 45- PRUEBAS PARA DPS EN LUGARES DE SALIDA ESCENARIO II

Exposición	Todas las tecnologías DPS con onda de prueba 10/350 μ s	Alternativa DPS con onda de prueba ^c 8/20 μ s
1	2 kA	20 kA
2	5 kA	50 kA
3	10 kA	100 kA
X	Menor o mayor en acuerdo entre las partes	
a El alcance de esta prueba está limitado a DPSs en los lugares de salida. b Los valores indicados aplican por fase c Un factor de escala de 10 ha sido empíricamente establecido para valores pico de ondas 10/350 y 8/20 en el caso de DPSs tipo MOV. Para las otras tecnologías no han sido determinados factores.		

➤ **Clasificación para DPS en media y alta tensión según norma IEC 60099**

La norma IEC 60099-4 clasifica los pararrayos según las corrientes nominales de descarga de acuerdo con lo indicado en la TABLA 46.

TABLA 46- CLASIFICACIÓN DE PARARRAYOS SEGÚN IEC 60099-4

Corriente nominal de descarga [kA]	Tensión asignada Ur [KVrms]
20	360 <Ur ≤756
10	3<Ur ≤360
5	Ur ≤132
2.5	Ur ≤36
1.5	bajo consideración

➤ **Clasificación para DPS en media y alta tensión según norma IEEE C62.11**

La norma IEEE Std. C62.11 clasifica los pararrayos de acuerdo con la corriente de descarga al impulso tipo rayo de acuerdo con lo indicado en la TABLA 47.

TABLA 47- CLASIFICACIÓN DE PARARRAYOS SEGÚN IEEE STD. C62.11

Clasificación (tensión máxima del sistema)	Valor del impulso [kA]
Estación (800 KV)	20
Estación (550 KV)	15
Estación (< 550 KV)	20
Intermedio (3 – 120 KV)	5

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

Clasificación (tensión máxima del sistema)	Valor del impulso [kA]
Distribución: (1 – 30 KV) <ul style="list-style-type: none"> • Trabajo pesado • Trabajo normal • Trabajo liviano 	10 5 5
Secundarios	1,5

Clasificación de DPS de distribución

Los DPS de distribución se clasifican en tres clases:

- Trabajo pesado: DPS usado para proteger sistemas de distribución aéreos expuestos a altas corrientes de rayo.
- Trabajo ligero: DPS generalmente instalado y usado para proteger sistemas de distribución subterráneos, donde la mayor parte de la corriente rayo es descargada por un pararrayos localizado en el punto de unión entre la línea aérea y el cable.
- Trabajo normal: DPS generalmente usado para proteger sistemas de distribución aéreos expuestos a corrientes normales de rayo.

En la siguiente tabla se presenta una comparación de los requerimientos básicos para la clasificación de los pararrayos.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 48- COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PARARRAYOS

Característica	Clase de pararrayos			
	Distribución		Intermedio	Subestación
Rango de Voltaje Nominal	1 – 30 KV		3 – 12 KV	3 – 664 KV
Característica de protección aprox. (a 10 kA) [p.u. del rango del pararrayos]	3.5 p.u.		3.0 p.u.	2.17 p.u.
Corriente de descarga	Trabajo Normal	Trabajo Duro		
Alta corriente, corta duración	65 kA	100 kA	65 kA	65 kA
Ciclo de trabajo	5 kA	10 kA	5 kA	10 kA (>550 KV) 15 kA (550 KV) 20 kA (800 KV)
Baja corriente, larga duración	75 A	250 A	Realizar prueba de descarga de línea	
Alivio de presión: Alta corriente Baja corriente	No se requiere		16.1 kA 400 – 600 A	40 – 65 kA 400 – 600 A

4.18.5 Requerimientos para protecciones contra sobretensiones

Se establecen los siguientes requisitos para instalación de DPS, tomados del RETIE en el apartado 17.6.

4.18.5.1 Requisitos de instalación

- Toda subestación (transformador) y toda transición de línea aérea a cable aislado de media, alta o extra alta tensión, deben disponer de DPS. En los demás equipos de media, alta o extra alta tensión o en redes de baja tensión o de uso final, la necesidad de DPS dependerá del resultado de una evaluación técnica objetiva del nivel de riesgo por sobretensiones transitorias a que pueda ser sometido dicho equipo o instalación. Tal evaluación técnica, deberá hacerla el responsable del diseño de la instalación, para lo cual deberá tener en cuenta entre otros los siguiente factores:
 - El uso de la instalación,
 - La coordinación de aislamiento,
 - La densidad de rayos a tierra,
 - Las condiciones topográficas de la zona,
 - Las personas que podrían someterse a una sobretensión
 - Los equipos a proteger.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

En subestaciones de distribución al interior de edificios, el diseñador evaluará y justificará la posibilidad de instalar sólo los DPS en la transición a la acometida subterránea y no en el transformador.

Para la instalación de un DPS se debe tener en cuenta que la distancia entre los bornes del mismo y los del equipo a proteger debe ser lo más corta posible, de tal manera que la inductancia sea mínima.

- Para efectos de seguridad, la instalación de los DPS debe ser en modo común, es decir, entre conductores activos y tierra.
- Cuando se requieran DPS, se debe dar preferencia a la instalación en el origen de la red interna, es decir, en la fuente de suministro eléctrico. Se permite instalar DPS en interiores o exteriores, pero deben ser inaccesibles para personas no calificadas.
Se permite que un bloque o juego de DPS proteja varios circuitos. Cuando se instalen varias etapas de DPS, debe aplicarse una metodología de zonificación y deben coordinarse por energía y no sólo por corriente.
- No se deben instalar en redes eléctricas de potencia DPS contruidos únicamente con tecnología de conmutación de la tensión (tipo gap).
- La capacidad de cortocircuito del DPS debe estar coordinada con la capacidad de falla en el nodo donde va a quedar instalado.
- En baja tensión los conductores de conexión a la red y a tierra no deben ser de calibre inferior a 14 AWG en cobre. En media, alta y extra alta tensión los conductores de conexión a la red y a tierra no deben ser de calibre inferior a 6 AWG.

4.18.5.2 Requisitos de producto

Los siguientes requisitos para DPS, que deben ser respaldados con una certificación, fueron adaptados de las normas IEC 61643-1, IEC 60099-1, IEC60099-4, UL 1449, IEEE C62.41-1, IEEE C62.41-2 e IEEE C62.45:

- Los DPS utilizados en media, alta y extra alta tensión con envolvente en material de porcelana, deben contar con algún dispositivo de alivio de sobrepresión automático que ayude a prevenir la explosión del equipo.
- Los DPS utilizados en media tensión con envolvente en material polimérico, deben contar con algún dispositivo externo de desconexión en caso de quedar en cortocircuito.
- Bajo ninguna condición los materiales constitutivos de la envolvente del DPS deben entrar en ignición.
- En caso de explosión del DPS, el material aislante no debe lanzar fragmentos capaces de hacer daño a las personas o equipos adyacentes. En baja tensión, este requisito se puede reemplazar por un encerramiento a prueba de impacto.
- Marcación: Los parámetros básicos que debe cumplir un DPS de baja tensión y que deben estar a disposición del usuario, en el equipo o en catálogo, son:
 - Corriente nominal de descarga, que en ningún caso será menor a 5 kA por módulo, para DPS instalados en el inicio de la red interna.
 - Tensión nominal, según la red eléctrica en que se instalará.
 - Máxima tensión de operación continua, que debe ser mayor o igual a 1,1 veces la tensión máxima del sistema en régimen permanente.
 - El nivel de protección en tensión, que debe ser menor que el nivel básico de aislamiento.

Parágrafo 1: Para DPS de tensión nominal superior a 66 KV, el certificado de producto expedido por un organismo de certificación de producto, se podrá sustituir por la declaración escrita del

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

fabricante, donde señale que cumple los requisitos exigidos en el RETIE, acompañada de las pruebas tipo realizadas en un laboratorio reconocido.

Parágrafo 2: Las puntas o terminales de captación del rayo, las bayonetas y cuernos de arco, clasificadas como dispositivos de protección de sobretensiones, no requieren demostrar la conformidad con certificado de producto, el constructor y el inspector de la instalación verificará que se cumplan los requisitos dimensionales y de materiales contemplados en el Artículo 18º del RETIE.

4.18.6 Selección y coordinación de dispositivos de protección contra sobretensiones

4.18.6.1 Selección de DPS para baja tensión

La selección de un DPS para baja tensión está relacionada con la filosofía de la norma que se aplique, sin embargo, los parámetros fundamentales son similares independientemente del tipo de ensayos que cumpla el DPS, a continuación en la FIGURA 96 se dan las pautas generales para la selección.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

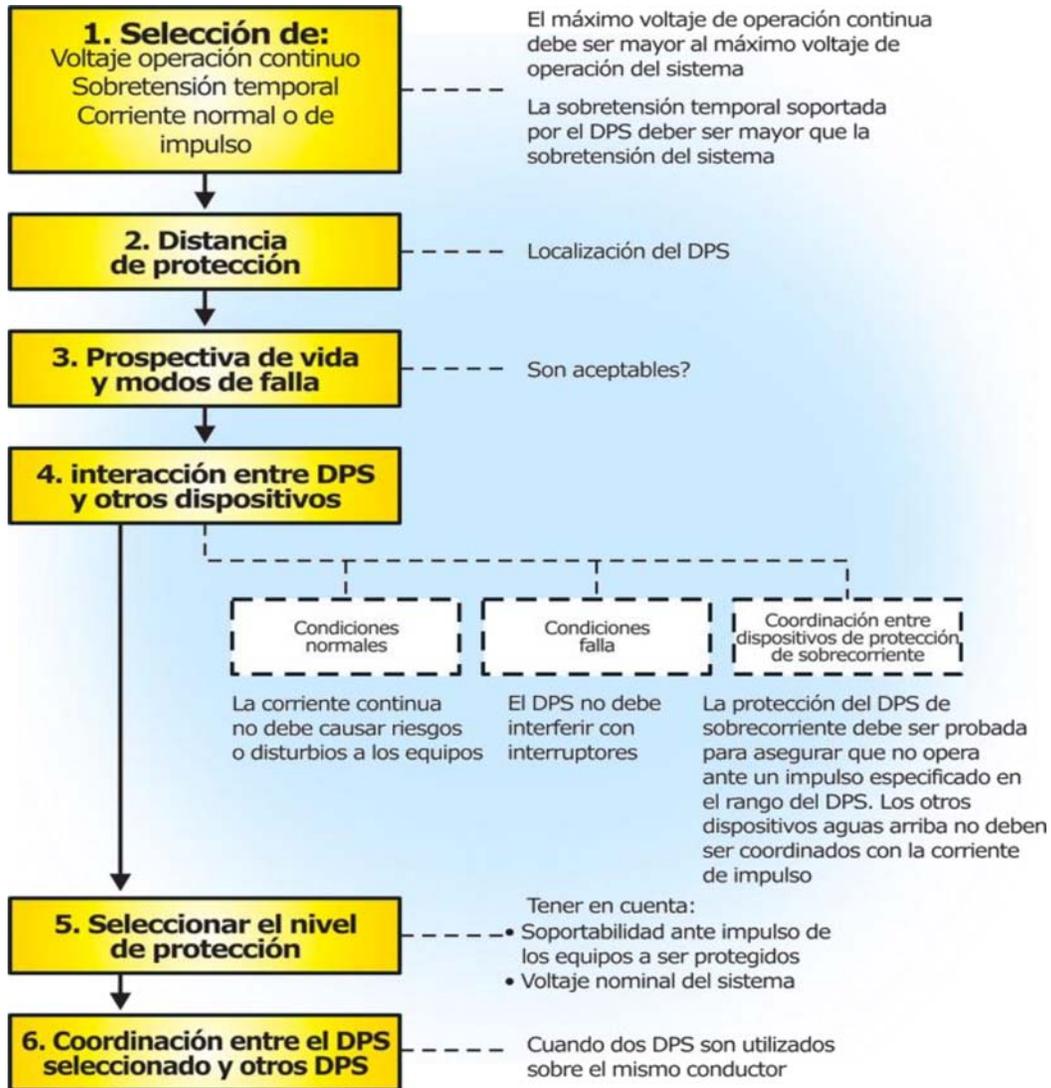


FIGURA 96 - PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE DPS IEC 61643-12

a) Tensión de operación continua

En general se debe escoger el voltaje de operación continuo teniendo en cuenta el tipo de conexión de neutro del sistema. Para sistemas sólidamente aterrizados es usual escoger como 1.1 veces la tensión máxima de operación del sistema, para sistemas aislados, debe ser superior a la tensión máxima línea del sistema. En la TABLA 49 se presentan los valores recomendados de acuerdo al tipo de sistema.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 49- MÍNIMO VOLTAJE DE OPERACIÓN CONTINUO DE DPS PARA VARIOS TIPOS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

DPS conectado entre:	Configuración del sistema				
	TT	TT-C	TN-S	IT con neutro distribuido	IT con neutro distribuido
Cada fase y neutro	1.1 U _o	NA	1.1 U _o	1.1 U _o	NA
Cada fase y tierra	1.1 U _o	NA	1.1 U _o	$\sqrt{3} \times U_o$ ver nota 3	Voltaje línea a línea ver nota 3
Neutro y tierra	U _o ver nota 3	NA	U _o ver nota 3	U _o ver nota 3	NA
Cada fase y el conductor de tierra-neutro PEN	NA	1.1 U _o	NA	NA	NA

NA: no aplica
Nota 2 U_o es el voltaje línea neutro del sistema de baja tensión
Nota 3 Estos valores están asociados al peor caso de falla, la tolerancia de 10% no se considera
Nota 4 En sistemas tipo IT extensos, valores elevados de U_c pueden ser necesarios

b) Sobretensión temporal

Debido a que en baja tensión la operación de las protecciones es más lenta, se recomienda que el DPS tenga un valor tolerable a sobretensiones temporales superior a los tipos de sobretensiones con mayor probabilidad que en general son por fallas a tierra. Debe tenerse en consideración que la sobretensión temporal por pérdida del neutro no se considera para selección de DPS. En la TABLA 50 se presentan los valores recomendados para sobretensiones temporales de acuerdo al tipo de sistema.

TABLA 50- VALORES DE PRUEBA TÍPICOS TOV

Aplicación DPSs conectado a sistema	Valores de prueba típicos	
	para 5s	para 200ms
TN		
Conectado entre L - PE ó L-N	1.32 U _{cs}	
Conectado entre N - PE		
TT		
Conectado L - PE	1.55 U _{cs}	1200+U _{cs}
Conectado L -N	1.32 U _{cs}	
Conectado N - PE		1200
IT		

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

Aplicación DPSs conectado a sistema	Valores de prueba típicos	
	para 5s	para 200ms
Conectado L - PE		1200+U _{CS}
Conectado L - N	1.32 U _{CS}	
Conectado N - PE		1200
U _{CS} =1.1 U ₀ = 1.1 x Voltaje línea neutro del sistema		

c) Corriente nominal o de impulso

Para DPS en escenario II de acuerdo con la norma IEC 62305 el valor de la corriente de impulso depende del nivel de protección que arroja la evaluación del riesgo en la cual se habla de 5 y 10 kA con onda 10/350 μ s y cuando se tiene acometida apantallada los valores se reducen a la mitad. En la norma IEC 61643 se recomienda asumir 12.5 kA cuando se tiene sistema de apantallamiento externo y no es posible determinar la corriente por fase que manejará el DPS.

En la norma NFPA 780-2008, en el numeral 4.18.3.1.2, se recomienda que el DPS en la entrada de la acometida debe tener una I_{max} como mínimo de 40 kA 8/20 μ s ó una corriente nominal de 20 kA 8/20 μ s, ambos valores son por fase. Para los equipos de comunicaciones se recomienda como mínimo 10 kA 8/20 μ s de corriente máxima.

Para DPS en escenario I, la norma IEC presenta valores de acuerdo al nivel de protección para impactos cercanos a la acometida o estructura desde 1 kA 8/20 μ s hasta 5 kA 8/20 μ s, la norma IEEE por su parte para la categoría B recomienda 3 kA 8/20 μ s como parámetro máximo esperado y en la categoría C recomienda 3 kA 8/20 μ s para baja exposición y 10 kA 8/20 μ s para alta exposición.

En la TABLA 51 se presenta una recomendación basada en la experiencia para la selección de la corriente nominal.

TABLA 51- VALORES PRÁCTICOS RECOMENDADOS PARA CORRIENTE NOMINAL 8/20 μ s

Riesgo		Categoría de Localización		
		C	B	A
Riesgo por tipo de instalación y apantallamiento acometidas	Riesgo IEC 62305	Corriente nominal/máxima 8/20 μ s por fase		
Alto	Alto NPR I Medio NPR II Bajo NPR III y IV	100kA/200kA	40kA/80kA	20kA/40kA
		60kA/125kA	30kA/60kA	10kA/20kA
Medio		40kA/80kA	20kA/40kA	7kA/15kA
		25kA/50kA	15kA/30kA	5kA/10kA
Bajo		20kA/40kA	10kA/20kA	2kA/4kA

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

		10kA/20kA	5kA/10kA	1kA/2kA
--	--	-----------	----------	---------

d) Distancia de protección

Si bien el RETIE exige que la instalación del DPS debe ser como se indica en la FIGURA 97, lo cual da la "ventaja técnica" del nivel de protección, aplicar el esquema para cada equipo puede resultar muy costoso por lo cual normalmente se instalan los DPS para proteger varios equipos de acuerdo a una distancia de protección que puede ser estimada por simulaciones o fórmulas simplificadas. Cuando se protegen varios equipos con un solo DPS se tiene la "ventaja económica" (Ver FIGURA 98), sin embargo, se puede disminuir el nivel de protección.

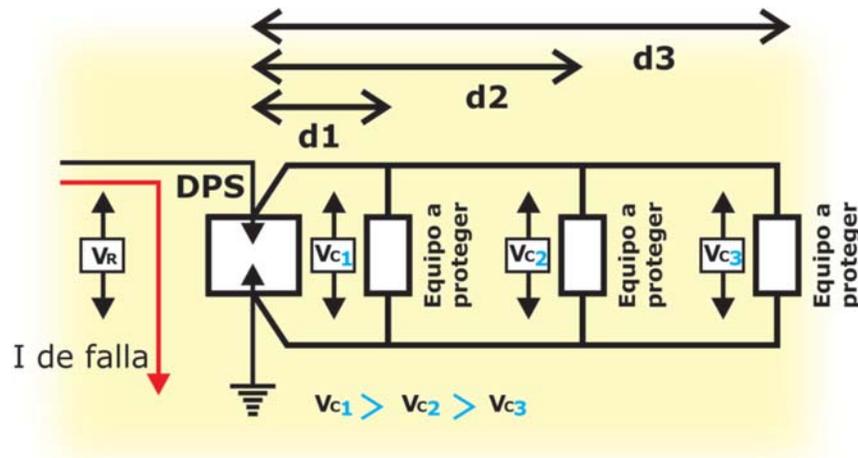


FIGURA 97 - MONTAJE DE DPS, VENTAJA TÉCNICA

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

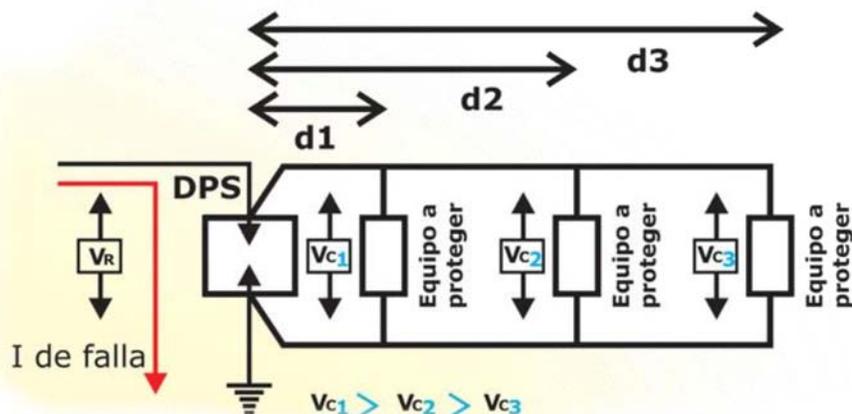


FIGURA 98 - MONTAJE DE DPS, VENTAJA ECONÓMICA

e) Nivel de protección

El nivel de protección debe seleccionarse por debajo del nivel de protección del sistema o equipo considerado para la protección. Cuando un DPS proteja varios equipos se debe calcular la máxima distancia en la que el DPS garantiza una sobretensión por debajo del BIL del equipo. El nivel de protección está especificado para la corriente nominal del DPS y usualmente se expresa en voltios.

f) Protección contra cortocircuito

En un DPS al ocurrir una falla no se debe interferir con el sistema, es decir, afectar la confiabilidad, por lo tanto, deben estar equipados con protección de sobrecorriente, la cual debe ser coordinada con las protecciones aguas arriba para no causar disparo de los dispositivos de protección del sistema. Adicionalmente es muy importante que los conductores entre el DPS y el sistema soporten las condiciones de cortocircuito, lo cual significa que si el DPS queda en falla no exista riesgo de incendio del cableado. Esta característica debe ser verificada para evitar problemas o deficiencias en la instalación del DPS.

4.18.6.2 Coordinación de DPS en baja tensión

La coordinación de DPS debe realizarse por dos razones que se describen a continuación.

- En general en redes de baja tensión hay diferentes tensiones de soportabilidad para cada grupo de equipos desde el contador, barras, conductores, tomacorrientes y equipo final, condición que hace que se requieran otros DPS para garantizar los niveles de protección adecuados. Por lo descrito es generalmente poco útil instalar solamente DPS en la entrada de la instalación, porque seguramente éstos protegerán las barras del tablero de circuitos a unos metros aguas abajo pero los equipos finales estarán desprotegidos.
- Se podría argumentar que sólo es necesario instalar DPS en el equipo final de la instalación, sin embargo, esto permite que grandes corrientes circulen por los cableados, lo cual no es apropiado.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

Se busca con los DPS drenar la mayor cantidad de corriente en la entrada y disminuir las corrientes que se filtran hacia el cableado interno.

La norma IEC 61643 - 12 presenta las siguientes conclusiones para efectuar coordinación entre dos DPS tipo ZnO, descritas a continuación en 4 pasos:

- Identificar las sobretensiones esperadas en ausencia de DPS.
- Seleccionar el DPS1 (fuente de alimentación) para que soporte los esfuerzos. Cuando no es posible obtener información en el numeral 1, se debe dimensionar el DPS de manera que satisfaga las consideraciones de riesgo y consideraciones de seguridad, se sugiere considerar los máximos valores recomendados por las normas.
- El DPS2 (equipo) debe ser seleccionado de acuerdo con las características de protección deseadas.
- Para la coordinación por corriente y energía, se debe usar preferiblemente un programa de simulación de sistemas de potencia que incluya el análisis de distintos escenarios de sobretensiones en la red eléctrica.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE	
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE	
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014

4.18.6.3 Selección de DPS para media y alta tensión

En la FIGURA 99 se resume el procedimiento para seleccionar un descargador de sobretensiones para media y alta tensión.

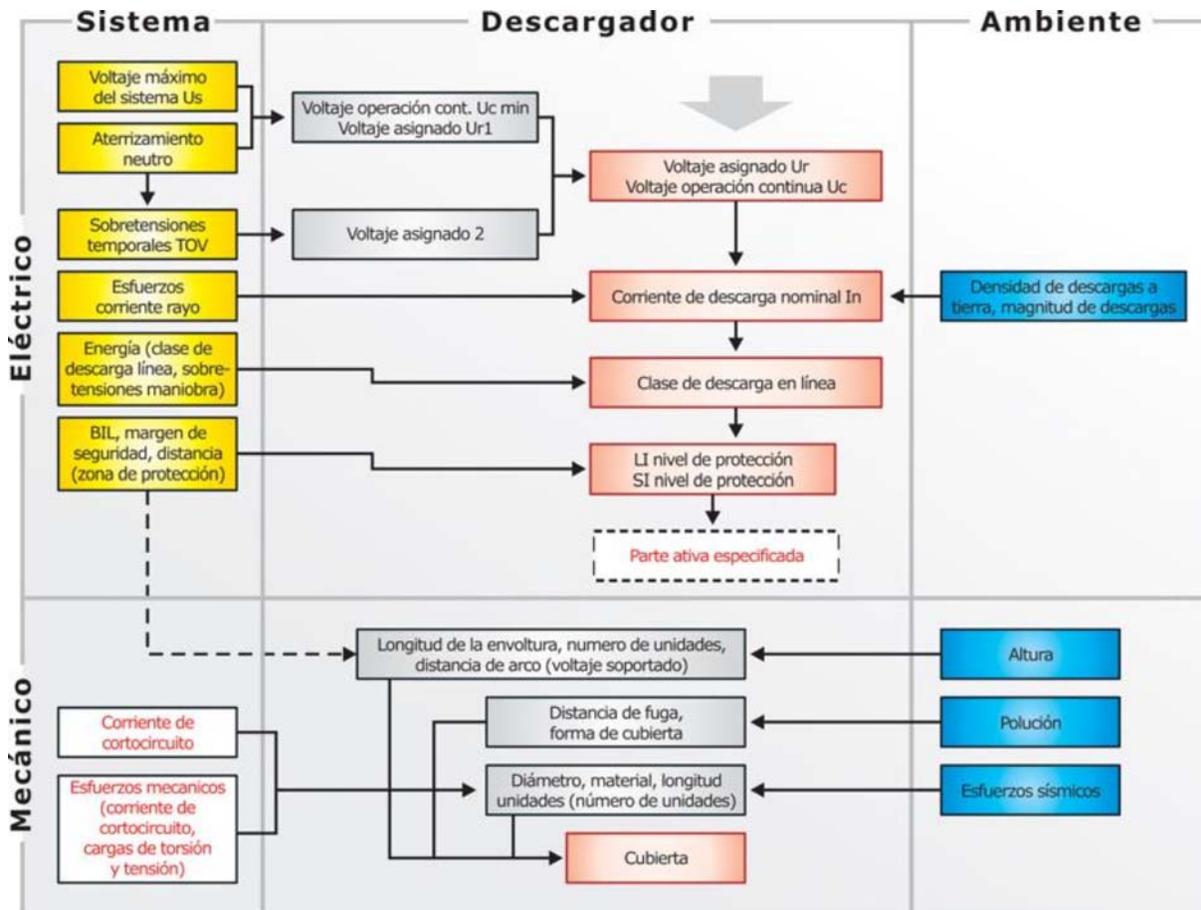


FIGURA 99 - SELECCIÓN DE DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN PARA MEDIA Y ALTA TENSIÓN

La selección de los descargadores de media y alta tensión difiere respecto al caso de baja tensión en varios aspectos:

- En general se tiene un BIL uniforme, por lo que para cada zona de BIL se usan descargadores con características similares, tanto en nivel de protección como en corriente nominal.
- Se requiere protección contra sobretensiones por maniobra, por lo tanto, no se habla solamente de nivel de protección contra rayo sino que también se requiere un nivel de protección para maniobra.
- Los descargadores se seleccionan teniendo en cuenta los mayores esfuerzos (energía) de acuerdo a la clase de descarga de línea y las distancias de separación son muy amplias y por tanto se tienen desacoples inductivos importantes.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

a) Tensión de operación continuo Uc

El voltaje de operación continuo se calcula:

- Para sistemas con neutro sólidamente aterrizado.
- Para sistemas con neutro resonante o aislado.

b) Corriente de descarga nominal y clase de descarga de línea

La norma IEC describe en la TABLA 46 las corrientes estándar a usar de acuerdo al nivel de tensión, estos valores son de referencia y su objetivo principal es especificar requerimientos para pruebas. Debe tenerse en cuenta que siempre es necesario hacer el análisis de los parámetros del rayo en la zona de aplicación de los descargadores.

De acuerdo a la norma IEC 60099-5 se deben considerar los siguientes aspectos para la selección de la corriente nominal de descarga:

- Grado de protección requerido, mayores corrientes de descarga aumentan la confiabilidad de la protección.
- Número de líneas conectadas durante la operación del descargador.
- Aislamiento de la línea.
- Probabilidad de los parámetros del rayo en la zona, específicamente corriente.

4.18.6.4 Coordinación de DPS para media y alta tensión

Para la coordinación en alta tensión se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Los descargadores ubicados en la entrada de los campos de línea deben ser siempre dimensionados considerando los parámetros más críticos y generalmente éstos deben tener más capacidad energética que los descargadores al interior de la subestación.
- La soportabilidad a frecuencia industrial es vital debido a la gran probabilidad de fallas a tierra, por lo cual se debe considerar el tiempo de falla más crítico en el sistema cuando se calcula la energía que consumirán los descargadores. Para este aspecto no interesan las distancias y todos los descargadores, sin importar su corriente nominal, deben ser verificados en este aspecto.
- Se recomienda siempre hacer una verificación de la coordinación mediante simulaciones en un programa de simulación de sistemas eléctricos de potencia con parámetros críticos en cuanto a interruptores abiertos a fin de que los descargadores experimenten mayores esfuerzos, tanto en maniobras como en rayos.

4.18.7 Consideraciones especiales para áreas clasificadas

En áreas clasificadas el riesgo de explosión es latente y es necesario adoptar medidas muy rigurosas para su control debido principalmente a que no se pueden admitir chispas. Todo equipo o sistema orientado a protección en estas áreas debe ser diseñado para que no se presenten chispas que puedan originar incendios o explosiones.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

4.18.7.1 Sistema de protección externo

a) Puesta a tierra

Se recomienda que el esquema de puesta a tierra sea el de interconexión de los electrodos a nivel de suelo formando anillos equipotenciales y que el valor de resistencia de puesta a tierra sea el menor posible.

b) Equipotencialización

Se debe implementar un fuerte esquema de equipotencialización entre todos los componentes del sistema de protección y todo elemento conductivo teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- En zonas donde se tengan atmósferas explosivas se debe implementar la equipotencialización de todo elemento metálico.
- En las zonas donde hay atmósferas explosivas es requerido que todo elemento metálico esté equipotencializado sin falta, cuando se tenga elementos metálicos móviles deberá implementarse un sistema de descarga de carga electrostática o bien equipotencialización con elementos conductores flexibles.
- Los tanques de almacenamiento de líquidos inflamables deben ser unidos al sistema de puesta a tierra, en un punto para tanques menores a 20 m en altura o diámetro y en dos puntos extremos opuestos para tanques mayores a 20 m.

c) Bajantes y cableado del sistema de protección externo

Las bajantes deber ser instaladas teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Deben estar a más de 1 m de las áreas clasificadas, donde no sea posible los conductores deberán ser continuos y en caso de uniones deberán ser soldadas o realizadas mediante conectores certificados de tipo compresión instalados con el equipo adecuado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Cuando las bajantes y los cableados del sistema de protección se deban instalar sobre techos o paredes con materiales combustibles deberá garantizarse una separación de 0.1 m mediante elementos no conductores y se recomienda usar cableado aislado como mínimo a 600 V.

d) Elementos de captación

Los elementos de captación deben cumplir con los requisitos de materiales expuestos en la Tabla 34, no se recomienda usar sistemas no convencionales para la captación debido al riesgo de falla.

Cuando existan chimeneas y estructuras que requieran cables a modo de viento para su estabilidad se debe verificar que estos cables cumplan con las tablas indicadas, en caso de no poseer el espesor mínimo recomendado deben ser cambiados o reforzados para evitar que puedan ser fundidos por la corriente de rayo y ocasionar una explosión o fuego en la instalación.

Para la protección de zonas con atmósferas combustibles es deseable utilizar un esquema de cables captadores de manera que se evite la circulación de corriente de rayo por las estructuras de las zonas, en especial para la protección de tanques en los cuales se generan en sus alrededores vapores inflamables este es el esquema deseable.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

4.18.7.2 Sistema de protección interno

Para el diseño de protección interno deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

- En caso de requerir instalar DPS tipo gap debe evitarse su ubicación en las áreas clasificadas y debe limitarse solamente a zonas externas preferiblemente donde no haya presencia de vapores inflamables. Cuando sea requerido su instalación en áreas clasificadas deben ser diseñados con cerramiento tal que no permita la ignición de los vapores a su alrededor.
- Los DPS ubicados en áreas clasificadas no deben generar chispas y su cerramiento debe ser tal que en caso de generarse falla de los componentes no genere chispas a su alrededor.
- Todo equipo o sistema que use electricidad y que se ubique en un área clasificada debe tener DPS cuyas características están dadas por un estudio de selección y coordinación de DPS.
- Se debe realizar una adecuada coordinación de protecciones en conjunto con el equipo que protege el DPS para minimizar el riesgo de generación de chispas por cortocircuito.
- En áreas con riesgo de explosión, los DPS deben ser seleccionados con parámetros del nivel de protección I para garantizar la máxima protección.

4.18.8 Recomendaciones de comportamiento frente a rayos

Para prevenir accidentes con rayos, es conveniente tener en cuenta las siguientes recomendaciones, en caso de presentarse una tormenta:

- a. A menos que sea absolutamente necesario no salga al exterior ni permanezca a la intemperie.
- b. Busque refugio en estructuras que ofrezcan protección contra el rayo, tales como:
 - Edificaciones bajas que no tengan puntos sobresalientes.
 - Viviendas y edificaciones con un sistema adecuado de protección contra rayos.
 - Refugios subterráneos.
 - Automóviles y otros vehículos cerrados, con carrocería metálica
- c. De ser posible, evite los siguientes lugares, que ofrecen poca o ninguna protección:
 - Bajo los árboles con mayor riesgo de impacto de rayos, es decir, los más altos.
 - Campos deportivos abiertos.
 - Tiendas de campaña y refugios temporales en zonas despobladas.
 - Vehículos descubiertos o no metálicos.
 - Torres de comunicaciones o de energía eléctrica.
- d. En los siguientes lugares extreme precauciones:
 - Terrazas de edificios.
 - Terrenos deportivos y campo abierto.
 - Piscinas y lagos.
 - Cercanías de líneas eléctricas, cables aéreos, cercas ganaderas, mallas eslabonadas, vías de ferrocarril y tenderos de ropa.
 - Árboles aislados.
 - Torres metálicas (de comunicaciones, de líneas de alta tensión, de perforación, etc.).

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

e. Si debe permanecer en un lugar con alta densidad de rayos a tierra:

- Busque zonas bajas.
- Busque zonas pobladas de árboles, pero evitando árboles aislados.
- Busque edificaciones y refugios seguros.
- Si tiene que escoger entre una ladera y el filo de una colina, sitúese en el filo.

f. Si se encuentra aislado en una zona donde se esté presentando una tormenta eléctrica:

- No se acueste sobre el suelo.
- Junte los pies.
- Adopte la posición de cuclillas.
- No coloque las manos sobre el suelo.
- No se escampe bajo un árbol.

g. Atienda las señales de alarma y siga las órdenes que impartan los brigadistas de emergencias, cuando se cuente con detectores de tormentas.

h. Desconecte los equipos electrónicos que no posean dispositivos de protección contra rayos.

4.18.9 Mantenimiento e inspección de un sistema de protección

4.18.9.1 Objetivo

El objetivo de las inspecciones es determinar que:

- a) El sistema de protección esté de acuerdo con el diseño basado en esta norma
- b) Todos los componentes del sistema de protección estén en buena condición, aptos para realizar las funciones para las cuales fueron diseñados y evitar la presencia de corrosión.
- c) Estén incorporados dentro del sistema de protección de la edificación las construcciones o servicios adicionados recientemente.

4.18.9.2 Orden de las inspecciones

Las inspecciones deben ser realizadas de acuerdo a la norma NTC 4552 como sigue:

- Durante la construcción de la estructura, con el fin de verificar los electrodos embebidos
- Después de la instalación del sistema de protección.
- Después de alteraciones o reparaciones, o cuando se tiene conocimiento que la estructura ha sido impactada por el rayo.
- Periódicamente a intervalos determinados con respecto a la naturaleza de la estructura a ser protegida, por ejemplo dependiendo de los problemas de corrosión y la clase del sistema de protección, tal como se indica en la TABLA 52.

	MANUAL MANEJO SEGURO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ECOPETROL MASE		
	GESTIÓN HSE DIRECCION DE HSE		
	Código GHS-M-001	Elaborado 21/12/2014	Versión: 1

TABLA 52- MÁXIMO PERÍODO ENTRE INSPECCIONES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN TOMADA DE LA TABLA E.2 DE LA NTC 4552

Nivel de Protección	Inspección Visual (año)	Inspección Completa (año)	Sistemas críticos Inspección completa (año)
I y II	1	2	1
III y IV	2	4	1
<p>NOTA Los sistemas de protección contra rayos utilizados en estructuras con alto riesgo de explosión deben ser inspeccionadas visualmente cada 6 meses. Las pruebas eléctricas deben ser realizadas una vez al año.</p> <p>Una excepción aceptable para la programación anual de pruebas puede ser realizarlas en ciclos de 14 o 15 meses donde se considera el beneficio de la conductividad de las pruebas de resistencia de puesta a tierra debido a su poca variación con el tiempo.</p>			

- Durante la inspección periódica es importante verificar lo siguiente:
 - Deterioro y corrosión de elementos del sistema de captación, conductores y conexiones;
 - Corrosión de los electrodos de puesta a tierra
 - Valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra
 - Condiciones de conexión, unión equipotencial y fijación.
- Para recomendaciones adicionales de mantenimiento y métodos de inspección del sistema de protección contra descargas atmosféricas, seguir el numeral E.7 de norma NTC 4552-3.

4.19 INSTALACIONES PROVISIONALES

4.19.1 Definición

Para efectos de cumplimiento del **RETIE**, se entenderá como instalación provisional aquella que se hace para suministrar el servicio de energía a un proyecto en construcción, con un tiempo de vigencia hasta la energización definitiva de la construcción o la terminación de la construcción, o para el suministro de energía en instalaciones transitorias a ferias o espectáculos, la cual tendrá una utilización no mayor a seis meses(prorrogables según el criterio del OR que preste el servicio), previa solicitud del usuario o el Operador de Red podrá suspenderse el servicio provisional.

La instalación provisional debe cumplir con lo especificado en la sección 305 del Código Eléctrico Colombiano (**NTC 2050** Primera Actualización) y con los siguientes requisitos:

- a. Debe tener un tablero o sistema de distribución provisional con protección de falla a tierra, excepto para los equipos que no lo permitan porque la protección diferencial puede causar mayor riesgo.
- b. El servicio de energía a instalaciones provisionales debe estar condicionado a que un profesional competente presente un procedimiento escrito de control de los riesgos eléctricos de esta