

# REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES

<b>Fecha</b>	2021-05-20	
<b>Revisión</b>	1	
<b>Naturaleza del cambio</b>	<p>Requerimientos técnicos con alcance para las empresas del Grupo EPM relacionadas en elaboró y para los siguientes aspectos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actualización de requisitos técnicos para redes ubicadas en zonas contaminadas/costeras y de alta densidad de descargas atmosféricas (DDT).</li> <li>2. Se incluyen tablas con la DDT y flameos/año, como datos de referencia para la toma de decisiones y validar la efectividad de las medidas.</li> </ol>	
<b>Elaboró</b>		Área Proyectos – CET <sup>1</sup>
		Área Proyectos – CET <sup>2</sup>
		Área Gestión Operativa – CET <sup>3</sup>
		Área Proyectos – CET <sup>4</sup>
		Unidad CET Normalización y Laboratorios <sup>5</sup>
<b>Revisó</b>	Unidad CET Normalización y Laboratorios <sup>6</sup>	
<b>Aprobó</b>	Gerencia Centros de Excelencia Técnica <sup>7</sup>	
<p>1: José Narces Orozco Galeano, 2: Lady Johana Ortiz Lizcano, 3: Orlando Iván Ramírez Morales, 4: Álvaro Ayala Rodríguez, 5: Johan Sebastian Higueta Higueta, 6: Ramón Héctor Ortiz Tamayo – Jefe de Unidad, 7: Luis Fernando Aristizábal Gil – Gerente CET.</p>		

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 1 de 61

# CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	4
INDICE DE FIGURAS .....	5
1. OBJETIVO.....	7
2. ALCANCE .....	7
3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	7
4. DEFINICIONES.....	8
5. ANTECEDENTES .....	9
5.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS COSTERAS O CONTAMINADAS.....	9
5.2. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CON ALTA DENSIDAD DE RAYOS.....	11
6. SELECCIÓN DE MATERIALES EN ZONAS COSTERAS O CONTAMINADAS.....	13
6.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES.....	13
6.2. CARACTERÍSTICAS DEL AISLAMIENTO EN ZONAS CONTAMINADAS .....	14
6.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS POSTES .....	17
6.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS HERRAJES Y CRUCETAS EN ZONAS CONTAMINADAS .....	17
6.4.1. Herrajes .....	17
6.4.2. Crucetas.....	18
6.5. TRANSFORMADORES EN ZONAS CONTAMINADAS.....	19
6.6. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y SECCIONAMIENTO EN ZONAS CONTAMINADAS .....	20
6.7. PUESTA A TIERRA EN ZONAS CONTAMINADAS.....	20
7. MEDIDAS Y SELECCIÓN DE MATERIALES REQUERIDOS EN ZONAS DE ALTA DENSIDAD DE RAYOS .....	21
7.1. ASPECTOS GENERALES.....	21
7.2. AISLAMIENTO EN ZONAS CON ALTA DDT.....	23
7.2.1. Crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV).....	26
7.3. INSTALACIÓN DE CABLE DE GUARDA.....	27
7.4. INSTALACIÓN DE DPS.....	28
7.5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y SECCIONAMIENTO EN ZONAS DE ALTA DDT .....	29
7.6. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.....	30
8. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO ELEMENTOS QUE MEJORAN EL CFO DE LAS ESTRUCTURAS .....	30
ANEXO I SUBREGIONES Y MUNICIPIOS DE REFERENCIA POR DEPARTAMENTO CON DDT > 20 [RAYOS/KM <sup>2</sup> X AÑO].....	40
ANEXO II FLAMEOS/AÑO EN FUNCIÓN DE LA DDT, LA LONGITUD DEL CIRCUITO, RESISTIVIDAD DEL SUELO, CFO DE LA ESTRUCTURA E INSTALACIÓN DE DPS.....	45

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 2 de 61



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 3 de 61

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nivel de contaminación y distancias de fuga recomendadas [mm/kV] .....	10
Tabla 2. Aisladores que mejoran el comportamiento de las redes en zonas contaminadas/costeras.....	16
Tabla 3. Recubrimiento mínimo de zinc para herrajes .....	18
Tabla 4. Elementos de protección y seccionamiento requeridos según el nivel de contaminación .....	20
Tabla 5. CFO del aislamiento primario, secundario y terciario. Tomado de la IEEE 1410 Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.....	23
<b>Tabla 6.</b> Aisladores que mejoran el CFO y el comportamiento de las redes en zonas de alta DDT <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> .....	25
Tabla 7. Crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> .....	26
Tabla 8. Alternativas de instalación/montaje de elementos de protección y seccionamiento que permiten mejorar el CFO de la estructura .....	29
Tabla 9. Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO de la estructura a partir del cambio de los aisladores en redes de 7.62 kV .....	30
Tabla 10. Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO en redes de 13.2 kV .....	31
Tabla 11. Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO de la estructura en redes de 34.5 kV .....	34
Tabla 12. Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO de la estructura en redes de 44 kV .....	36
Tabla 13. Subregiones y municipios de referencia para Antioquia con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	40
Tabla 14. Subregiones y municipios de referencia para Bolívar con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	41
Tabla 15. Subregiones y municipios de referencia para Caldas con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	42
Tabla 16. Subregiones y municipios de referencia para César con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	42
Tabla 17. Subregiones y municipios de referencia para Córdoba con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	42
Tabla 18. Subregiones y municipios de referencia para Norte de Santander con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	42
Tabla 19. Subregiones y municipios de referencia para Santander con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	43
Tabla 20. Subregiones y municipios de referencia para Sucre con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	43
Tabla 21. Subregiones y municipios de referencia para Quindío con DDT > 20 [rayos/km <sup>2</sup> x año] .....	44
Tabla 22. DDT de referencia en municipios con mayores impactos por rayos.....	44
Tabla 23. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 105 kV .....	45
Tabla 24. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 120 kV .....	46
Tabla 25. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y	

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	<small>REV.</small> <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
<small>CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS</small>			<small>PÁGINA: 4 de 61</small>

CFO de la estructura 140 kV .....	47
Tabla 26. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 175 kV .....	48
Tabla 27. . Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 214 kV .....	49
Tabla 28. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 250 kV .....	50
Tabla 29. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 290 kV .....	51
Tabla 30. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 105 kV .....	52
Tabla 31. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 120 kV .....	53
Tabla 32. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 140 kV .....	54
Tabla 33. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 175 kV .....	55
Tabla 34. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 214 kV .....	56
Tabla 35. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 250 kV .....	57
Tabla 36. Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 290 kV .....	58
Tabla 37. Flameos/año instalando DPS en los circuitos cada 600 m, 450 m o 300 m en relación con descargas indirectas .....	59
Tabla 38. Subregiones y municipios de referencia para Antioquia con nivel de contaminación C5 .....	61
Tabla 39. Subregiones y municipios de referencia para Córdoba con nivel de contaminación C5 .....	61
Tabla 40. Subregiones y municipios de referencia para Sucre con nivel de contaminación C5. 61	
Tabla 41. Subregiones y municipios de referencia para Bolívar con nivel de contaminación C561	

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de los recubrimientos galvanizados teniendo en cuenta la clasificación de los ambientes .....	10
Figura 2. Mapa de densidad de descargas a tierra. Tomado de First data of the Colombia Lightning Mapping Array – COLMA, figura 2. ....	12
Figura 3. Protección del galvanizado (años) en función del espesor de la capa de zinc. Tomado de Galco, 2021 .....	19
Figura 4. Número de flameos por sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas indirectas. Tomado de la IEEE 1410 .....	22
Figura 5. Representación gráfica uso de aisladores y otros elementos redes en delta configuración en suspensión .....	38

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
 <b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>			
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 5 de 61



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
Grupo·epm®	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 6 de 61

## 1. OBJETIVO

Establecer los lineamientos fundamentales de los elementos que deben ser instalados en zonas de alta densidad de descargas atmosféricas, contaminadas o costeras, para garantizar la continuidad y calidad del servicio de energía eléctrica en dichos sectores.

## 2. ALCANCE

Los criterios establecidos en el presente documento deben ser aplicados en la construcción, reposición y mantenimiento de las redes de distribución de energía que se localizan en zonas de alta de densidad de rayos a tierra, contaminadas y costeras del área de influencia del Grupo EPM, considerando definiciones técnicas normativas de referencia, parámetros y características de las redes y parámetros ambientales del entorno.

## 3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

IEEE 1410	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines Gamma Boletín N° 05. (2005). Consideraciones en la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación atmosférica. A. Nisar, H. Sujeewa. (2014). Corrosion Detection in Steel Reinforced Aluminium Conductor Cables. IEEE. W. J. Nicholls, F. G. McDonald. (1967). Aluminium conductors for overhead lines. IEEE Sarmiento M., Lacoursiere B. (2016). State of the Art Overview: Composite Utility Poles for Distribution and Transmission Applications, Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America. TDC '06. IEEE/PES. Resolución CREG 075. (2015). Por la cual se decide sobre la solicitud de revisión de los cargos aprobados mediante la Resolución CREG 054 de 2003, presentada por ELECTROCOSTA. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI, Instituto de Desarrollo Urbano – IDU (2014). Guía práctica de galvanizado por inmersión en caliente.
IEC 60815	Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 7 de 61

J. A. López, J. Montanyà, O. Van Der, D. Aranguren, H. Torres, J. Taborda, & J. Martínez. (2016). First data of the Colombia Lightning Mapping Array - COLMA. Estoril, Portugal: International Conference Lightning Protection. Galco. Galvanizado en caliente. Recuperado de <https://galco.com.co/catalogos/catalogo-galvanizado-en-caliente-galco>. 2021.

EPM. Guía Metodológica: Análisis del nivel de riesgo por rayos. 2019

EPM. Guía Metodológica: coordinación de aislamiento para redes de distribución. 2019

#### 4. DEFINICIONES

**Zona costera:** zona donde los activos están expuestos a altos niveles de contaminación salina, definida como una franja de 30 km contigua al mar y medida desde el borde de la costa.

**Zona contaminada:** áreas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de plantas industriales que producen contaminación.

**Corrosión galvánica:** la corrosión corresponde al deterioro de los metales cuando interactúan con el medio que los rodea, de manera concreta, la corrosión galvánica es aquella que aparece cuando dos metales diferentes y diferente potencial electroquímico, están en contacto y rodeados de un medio húmedo (Agua, soluciones salinas o la humedad de la atmósfera).

**Voltaje de Flameo Crítico (CFO):** valor de tensión que bajo ciertas condiciones causa un flameo a través de la superficie del aislamiento con una probabilidad de ocurrencia del 50% de las veces que se aplique.

**Nivel Básico de Aislamiento al impulso (BIL):** valor de cresta de un impulso tipo rayo para el cual el aislamiento presenta una probabilidad de resistirlo del 90% o lo que es lo equivalente, una probabilidad de falla del 10% en condiciones específicas.

**Aislamiento primario:** es aquel que está determinado por medio de los aisladores convencionales y su valor se define como el CFO de la referencia seleccionada para la construcción de las redes.

**Aislamiento secundario:** es el aislamiento adicional al aislamiento primario que aportan elementos o estructuras de soporte fabricados con materiales dieléctricos, por ejemplo, postes y crucetas de PRFV o madera. El valor del CFO asociado a este aislamiento está definido en la Tabla 5, según lo definido por la IEEE 1410.

**Aislamiento terciario:** es el aislamiento adicional a los aislamientos primario y secundario que aportan los postes fabricados con materiales dieléctricos como el PRFV y la madera.

**PRFV:** Poliéster reforzado con fibra de vidrio.

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
		REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 8 de 61

**Descarga directa:** Descarga atmosférica con una o más descargas de retorno que impacta directamente cualquier parte de una red o instalación eléctrica.

**Tensiones inducidas:** Tensiones que se inducen en las redes de distribución producto de la ondas y energía que generan las descargas atmosféricas que no impactan directamente las redes, pero que caen en su cercanía. Las tensiones inducidas dan lugar a sobretensiones que afecta el funcionamiento de las redes y pueden generar fallas en los elementos que la constituyen (Ej: aisladores, equipos).

**Descarga atmosférica:** es 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, al interior de una nube o de las nubes hacia la ionósfera [2].

**Densidad promedio de descargas a tierra DDT:** es la cantidad de descargas atmosféricas nube a tierra por unidad de área por unidad de tiempo; generalmente, la densidad de descargas atmosféricas a tierra está dada para un área de 1 km<sup>2</sup> durante un año [10].

## 5. ANTECEDENTES

De acuerdo con el RETIE los elementos empleados en las redes eléctricas deben corresponder a un diseño adecuado para su función mecánica y eléctrica, además deben resistir la acción corrosiva durante su vida útil, según las características o condiciones ambientales de la zona donde serán instalados.

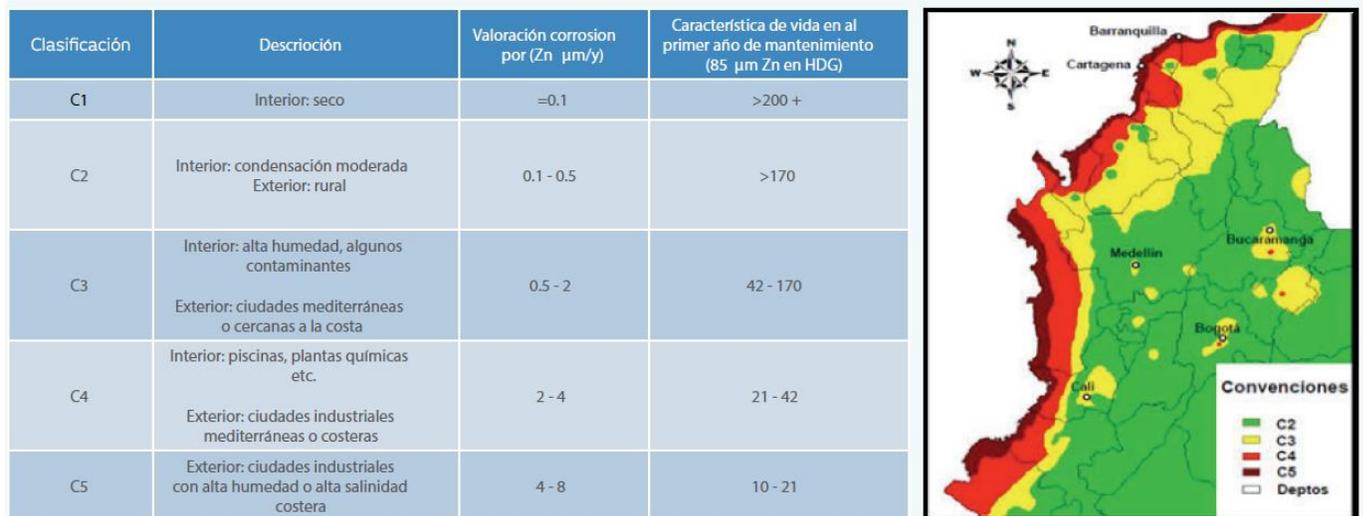
En consecuencia, se ha identificado en algunas regiones una disminución de la vida útil de los elementos que conforman las redes aéreas de distribución, asimismo, se ha identificado un valor nivel de aislamiento inferior al recomendado por la guía IEEE Std. 1410, causando una afectación a la calidad en la prestación del servicio por fallas en los materiales o desviaciones respecto a un adecuado desempeño. Lo anterior exige que, se establezcan las características técnicas que deben reunir los materiales y equipos que componen las redes construidas en zonas contaminadas, costeras o de alta densidad de descargas atmosféricas.

### 5.1. Identificación de zonas costeras o contaminadas

La siguiente figura, tomada de ANDI, IDU (2014), muestra que los materiales en acero galvanizado tales como postes metálicos, herrajes, entre otros, su vida útil está entre 10 y 21 años para los ambientes C5 (Turbo, Necolí, San Juan de Urabá y Arboletes) y entre 21 y 42 años para los ambientes C4 (Apartadó y San Pedro de Urabá). Esta afectación de la vida útil es causada por la corrosión valorada como la pérdida de la masa de zinc año tras año.

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
	REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 9 de 61

**Figura 1.** Comportamiento de los recubrimientos galvanizados teniendo en cuenta la clasificación de los ambientes. Tomado de ANDI – IDU, 2014



Además de la corrosión que se da en elementos metálicos galvanizados, otro agravante, según la Resolución CREG 075 (2005), es que en los sistemas de aislamiento de las redes eléctricas que están expuestos a ambientes agresivos, principalmente ambientes costeros, empiezan a perder su función aislante por la formación de una capa sobre la superficie del aislador. Esta capa se puede formar debido a la presencia de lluvia salina o la deposición de una capa de polución seca con su subsiguiente humectación debido a la lluvia, humedad o niebla. En consecuencia, la selección de los aisladores debe hacerse considerando el nivel de tensión, el nivel de contaminación y la distancia de fuga específica nominal mínima para el nivel de contaminación de la zona [mm/kV], definida en la norma IEC 60815-1 (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Nivel de contaminación y distancias de fuga recomendadas [mm/kV]

Nivel de contaminación	Descripción de ambientes típicos	Distancia de fuga específica nominal mínima [mm/kV]
II - Ligera	<ul style="list-style-type: none"> <li>Áreas con baja densidad de industrias y sometidas a vientos y/o lluvias frecuentes; agrícolas y montañosas, ubicadas a una distancia entre 5 y 10 kilómetros de la fuente de contaminación.</li> <li>Áreas que están ubicadas a una distancia entre 10 y 50 kilómetros del mar, zonas desérticas o secas abiertas.</li> </ul>	12.7
III - Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>Áreas urbanas o industriales cuya fuente de contaminación está ubicada a una distancia entre 1 y 5 kilómetros respecto al punto de interés.</li> <li>Áreas que están ubicadas a una distancia entre 3 y 10 kilómetros del mar, zonas desérticas o secas abiertas.</li> </ul>	16

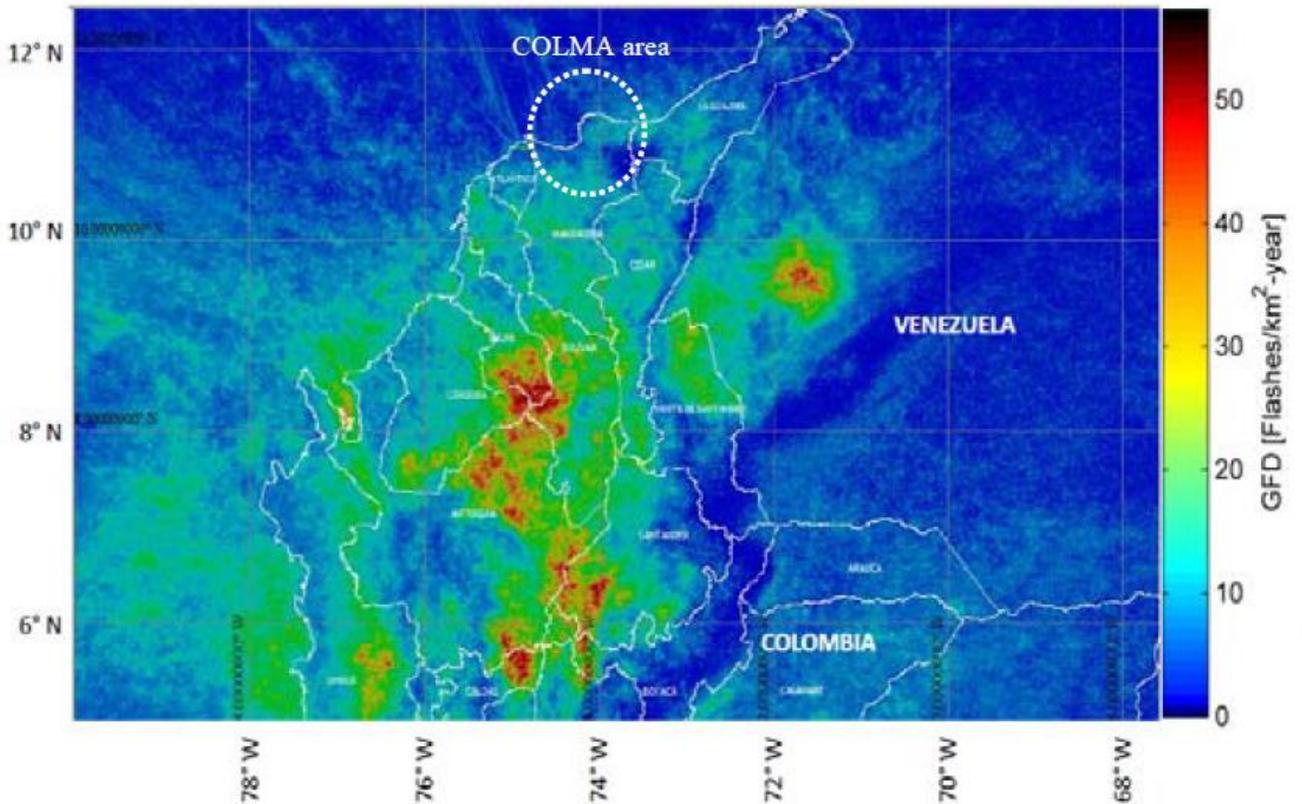
Nivel de contaminación	Descripción de ambientes típicos	Distancia de fuga específica nominal mínima [mm/kV]
IV - Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Áreas con alta densidad de industria, grandes ciudades, entre otras que generan contaminación, en todo caso, con fuentes de contaminación ubicadas a 1 kilómetro de distancia respecto al punto de interés.</li> <li>Áreas cercanas al mar, desérticas o secas abiertas, o en cualquier caso expuestas a vientos relativamente fuertes provenientes del mar, en todo caso, ubicadas a 3 kilómetros.</li> </ul>	25
V – Muy fuerte	<p>Áreas de extensión moderada con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Áreas muy cercanas a la costa, sometidas directamente a la niebla del mar, niebla salina densa y, en general, vientos muy fuertes y contaminantes provenientes del mar.</li> <li>Áreas sometidas directamente a polvos o contaminantes con alta conductividad y densidad, humo industrial que, producen depósitos conductores particularmente espesos.</li> <li>Áreas desiertas o secas, caracterizadas por largos períodos sin lluvia, expuestas a vientos fuertes que transportan arena y sal, y sometidas a condensación regular.</li> </ul>	31

## 5.2. Identificación de zonas con alta densidad de rayos

En la Figura 2 se muestra la variable DDT (densidad de descargas eléctricas a tierra) definida por la guía IEEE Std. 1410 como la variable más importante para caracterizar y evaluar los riesgos de los rayos en los sistemas eléctricos. A diferencia de las líneas de transmisión, que poseen torres de alturas considerables y que operan a elevados valores de tensión, en las redes de distribución, de acuerdo con la experiencia y observaciones, consolidadas en la guía IEEE Std 1410, un número considerable de los casos de fallas del aislamiento de las estructuras soporte, es provocado por tensiones inducidas causadas por rayos que impactan indirectamente la red.

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
		REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 11 de 61

**Figura 2.** Mapa de densidad de descargas a tierra. Tomado de First data of the Colombia Lightning Mapping Array – COLMA, figura 2.



En el [Anexo I](#), se presentan los subregiones y municipios de referencia por departamento sobre los que se debe hacer gestión puesto que su DDT es mayor o igual a 20 [rayos/km<sup>2</sup>-año] y, de manera puntual, en la Tabla 22 se encuentran una DDT promedio de referencia para las zonas más críticas en el área de influencia del Grupo EPM, lo cual permite identificar las redes de distribución sobre las cuales es necesario implementar las medidas propuestas en este documento. De otro lado, en el [Anexo II](#) se muestran los flameos/años estimados considerando las condiciones constructivas actuales o bajo aquellas que se logran cuando el CFO de la estructura se mejora, lo cual obtenida con base en la IEEE Std. 1410 y en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura.

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
		REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 12 de 61

## 6. SELECCIÓN DE MATERIALES EN ZONAS COSTERAS O CONTAMINADAS

El diseño y la construcción de las redes de distribución deben ejecutarse considerando el impacto que genera la contaminación en zonas costeras o con altos niveles de contaminación sobre el aislamiento y los elementos estructurales y de sujeción. Por lo tanto, a continuación, se establecen los requisitos técnicos y los materiales que deben ser considerados para mejorar el desempeño en zonas costeras o contaminadas. Mientras que, en el numeral 7 se presentan los requisitos técnicos que deben ser considerados en zonas de alta densidad de rayos según la definición de zonas definidas en los numerales 5.1 y 5.2 del presente documento, que se deben ajustarse de acuerdo con los siguientes requisitos técnicos que les aplique.

### 6.1. Características de los conductores

Las redes de transmisión y distribución pueden ser construidas con conductores de cobre o aluminio. En los últimos años se tiene un mayor uso de conductores de aluminio y su prevalencia respecto a los de cobre, es debido a su menor costo y peso, además de tener características eléctricas similares.

Entre los conductores de aluminio pueden encontrarse diferentes tipos, entre ellos, conductor de aluminio (AAC), conductor de aleación de aluminio (AAAC), Conductor de aluminio con núcleo de acero (ACSR). Cada uno de ellos puede guardar características similares respecto al otro (propiedades eléctricas, propiedades mecánicas, capacidad de conducción) o simplemente presentar ventajas según sean las condiciones bajo las cuales estarán expuestos.

En atmosferas contaminadas, los conductores con hilos de aluminio y acero son afectados por la corrosión galvánica que tiene lugar en la interfaz entre los hilos de aluminio y los hilos de acero, lo cual es un factor que genera fallas en el conductor, llegando a ser mayores cuando se alcanza una fase crítica por la pérdida de zinc de los hilos de acero galvanizado y como consecuencia de ello, la exposición de los hilos de aluminio a una corrosión acelerada.

En atmosferas industriales y con presencia de humo, los conductores de aluminio rápidamente llegan a oscurecerse, pero a menos que exista una alta concentración de dióxido de azufre existirá una pequeña corrosión. Adicionalmente, en atmosferas húmedas, el dióxido de azufre forma ácido sulfúrico el cual puede atacar la capa de óxido y producir pequeñas marcas de corrosión sobre el conductor.

Teniendo en cuenta lo anterior y las características de los conductores, se identifica una alta resistencia a la corrosión en los conductores de aluminio y sus aleaciones (AAC, AAAC, entre otros), frente a una baja resistencia en aquellos cuyos hilos son de materiales diferentes, como es el caso de los ACSR/GA. En consecuencia, en las redes eléctricas aéreas debe cumplirse lo siguiente, según los requerimientos de la red:

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 13 de 61

- a. En zonas costeras o de alta contaminación salina se deben instalar conductores del tipo AAC, AAAC o aleación de aluminio.
- b. En zonas industriales se debe seleccionar el conductor de acuerdo con el tipo de industria que se atiende y las condiciones atmosféricas del lugar. Para aquellas industrias ubicadas en zonas húmedas y donde se identifique contaminación por compuestos químicos como el azufre, se recomienda el uso de conductores de aluminio o de aleación de aluminio (AAC, AAAC, entre otros).
- c. Deben usarse conductores acero recubierto de aluminio o aluminizados, que ofrecen mayor resistencia a la corrosión que los conductores acero galvanizado. Según el contexto este puede aplicar para el cable de guarda o para el cable mensajero en redes compactas sin neutro.
- d. En redes compactas donde el cable mensajero o portante también cumple la función de neutro, el conductor debe ser uno del tipo ACSR/AW.

## 6.2. Características del aislamiento en zonas contaminadas

Gamma (2005) establece que una forma efectiva de prevenir problemas de flameo en zonas contaminadas consiste en aumentar la distancia de fuga sobre la superficie del aislador, para la cual, una manera directa consiste en utilizar aisladores sobredimensionados, por ejemplo: aisladores de 34.5 kV en circuitos de 13.2 kV (cuando se trata de aisladores tipo pin, "line post", entre otros) o aumentar el número de unidades cuando se trata de una cadena de aisladores de suspensión.

Desde el punto de vista del material de fabricación de los aisladores, se recomienda el uso de aisladores poliméricos por sus características y mejor comportamiento en zonas contaminadas.

En las redes distribución deben cumplirse con las siguientes disposiciones de acuerdo con el nivel de tensión y en zonas con nivel de contaminación fuerte (IV) y muy fuerte (V):

- a. En redes desnudas de 13.2 kV, las normas deben ser implementadas utilizando los siguientes aisladores:
  - Aisladores tipo line-post polimérico, 15 kV, ANSI C29.18 clase 51-2F o en su defecto, aisladores tipo line post 57-1 clase ANSI C29.7. Estos deben ser utilizados en lugar de los aisladores tipo pin.
  - Cadena de aisladores de porcelana, constituida por 3 aisladores suspensión 15 kV 6 1/2" ANSI C29.2 clase 52-1 clevis-lengüeta o utilizar aisladores tipo suspensión poliméricos 23 kV ANSI C29.13 clase DS-28 clevis-lengüeta.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
 <b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>			
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 14 de 61

Excepción: En estructuras tipo H en suspensión o retención, debido al comportamiento electromecánico, el aislamiento debe corresponder a cadenas de aisladores de porcelana constituida por 5 aisladores suspensión 15 kV 6 1/2" ANSI C29.2 clase 52-1 clevis-lengüeta.

b. En redes compactas de 13.2 kV, las normas deben ser implementadas utilizando los siguientes aisladores:

- El espaciador poligonal polimérico 35 kV 16 kA para cable cubierto será el elemento de características mínimas que se debe utilizar. En su defecto, podrá considerarse el uso de un espaciador poligonal polimérico 48 kV 16 kA.
- Aisladores tipo pin polimérico 25 kV ANSI C29.5 clase 55-5.
- Aisladores tipo suspensión poliméricos 23 kV ANSI C29.13 clase DS-28 clevis-lengüeta.

c. En redes desnudas de 34.5 kV, las normas deben ser implementadas utilizando los siguientes aisladores:

- Aisladores tipo line post poliméricos, 48KV 18.1" ANSI C29.18 clase 51-4F.
- Cadena de aisladores de porcelana, constituida por 4 aisladores suspensión 48 kV 10 3/4" ANSI C29.2 clase 52-4 clevis-lengüeta o utilizar aislador de suspensión polimérico para 48kV ANSI C29.13 clase DS-46 clevis-lengüeta

Excepción: En estructuras tipo H en suspensión o retención, debido al comportamiento electromecánico, el aislamiento debe corresponder a cadenas de aisladores de porcelana constituida por 5 aisladores suspensión 48 kV 10 3/4" ANSI C29.2 clase 52-4 clevis-lengüeta.

d. En redes desnudas de 44 kV, las normas deben ser implementadas utilizando los siguientes aisladores:

- Aisladores tipo line post polimérico, 46kV, 25.9" ANSI C29.18 clase 51-16 grapa vertical.
- Cadena de aisladores de porcelana, constituida por 4 aisladores suspensión 48 kV 10 3/4" ANSI C29.2 CLASE 52-4 clevis-lengüeta o utilizar aislador polimérico para 69 kV.

Excepción: En estructuras tipo H en suspensión o retención, debido al comportamiento electromecánico, el aislamiento debe corresponder a cadenas de aisladores de porcelana constituida por 5 aisladores suspensión 48 kV 10 3/4" ANSI C29.2 clase 52-4 clevis-lengüeta.

e. En redes compactas de 34.5 kV y 44 kV, las normas deben ser implementadas utilizando los siguientes aisladores:

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
 <b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>			
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 15 de 61

- Espaciador poligonal polimérico 48 kV 20 kA para cable cubierto.
  - Aisladores tipo pin polimérico 38 - 48 kV ANSI C29.5 clase 55-6.
  - Aisladores tipo suspensión poliméricos de 48 kV ANSI C29.13 clase DS-46 clevis-lengüeta y de 72.5 kV ANSI 29.13 clase DS-69 clevis-lengüeta para 34.5 kV y 44 kV respectivamente.
- f. En zonas donde el nivel de contaminación es muy fuerte (V), la selección del aislamiento debe ir acompañada con un programa de lavado de líneas periódico, acorde con la frecuencia de las lluvias.

**Tabla 2.** Aisladores que mejoran el comportamiento de las redes en zonas contaminadas/costeras

Descripción Técnica	Referencia	Código JDE	Distancia de fuga (mm)	Representación gráfica
Aislador poste polimérico 15KV 14.7" ANSI C29.18 clase 51-2F	ET-TD-ME02-04	267641	356	
Aislador poste porcelana 15 kV 9" ANSI C29.7 clase 57-1	ET-TD-ME02-01	200154	356	
Aisladores tipo pin polimérico 25 kV ANSI C29.5 clase 55-5	ET-TD-ME02-04	200169	304	
Aislador pin polimérico 38-48 kV ANSI C29.5 clase 55-6	ET-TD-ME02-04	200136	381	
Aislador suspensión polimérico 23 kV ANSI C29.13 clase DS-28 clevis-lengüeta	ET-TD-ME02-04	200167	550	
Aislador suspensión polimérico 48kV ANSI C29.13 clase DS-46 clevis-lengüeta	ET-TD-ME02-04	200141	900	
Aislador suspensión polimérico 72.5 kV ANSI C29.13 clase DS-69 clevis-lengüeta	ET-TD-ME02-04	200168	1190	

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 16 de 61

Descripción Técnica	Referencia	Código JDE	Distancia de fuga (mm)	Representación gráfica
Espaciador poligonal polimérico 38 kV 16 kA cable cubierto	ET-TD-ME26-03	210934	440	
Espaciador poligonal polimérico 48 kV 16 kA cable cubierto	ET-TD-ME26-03	210936		
Espaciador poligonal polimérico 48 kV 20 kA cable cubierto	ET-TD-ME26-03	226019	720	

### 6.3. Características de los postes

Los postes deben soportar las condiciones ambientales de la zona donde serán instalados, por lo tanto, en zonas costeras o contaminadas debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Deben instalarse postes de concreto o postes de PRFV, siendo los segundos, aquellos que tienen un mejor desempeño y vida útil en ambientes con altos niveles de contaminación.
- De acuerdo con la NTC 1329, los postes de concreto deben tener un recubrimiento de concreto mínimo de 25 mm.
- Los postes de concreto deben cumplir la especificación técnica de EPM ET-TD-ME04-01
- Los postes de PRFV deben cumplir la especificación técnica de EPM ET-TD-ME04-02

### 6.4. Características de los herrajes y crucetas en zonas contaminadas

#### 6.4.1. Herrajes

De acuerdo con el numeral 20.20 “Herrajes de líneas de transmisión y redes de distribución” del RETIE, los herrajes usados deben estar protegidos contra la acción corrosiva y elementos contaminantes; para lo cual deben utilizarse técnicas probadas tales como galvanizado en caliente, galvanizado electrolítico o recubrimiento organometálico. De igual manera, establece que, debe hacerse una selección de herrajes teniendo en cuenta las características ambientales predominantes de la zona donde se requieren instalar.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 17 de 61

Según las exigencias mencionadas, los herrajes empleados para zonas contaminadas deben ser seleccionados de acuerdo con el nivel de contaminación de la zona donde serán instalados y en todo caso, bajo cualquiera de las tecnologías mencionadas:

- Se deben utilizar tornillos en acero inoxidable.
- Los demás herrajes (Tuercas de ojo, Eslabones, entre otros) deben ser galvanizados en caliente, galvanizado electrolítico o recubrimiento organometálico.

**Tabla 3.** Recubrimiento mínimo de zinc para herrajes

Promedio		Mínimo	
gr/m <sup>2</sup>	micras	gr/m <sup>2</sup>	micras
825	116	750	105

#### 6.4.2. Crucetas

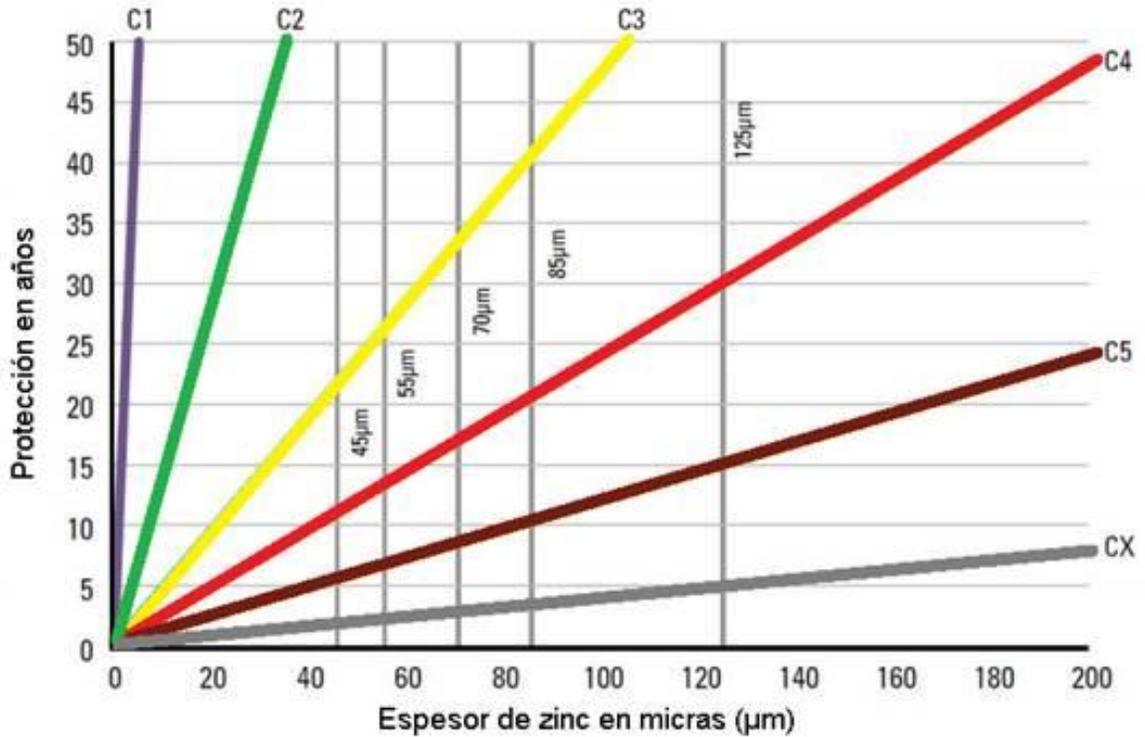
En zonas donde los ambientes son altamente corrosivos los contaminantes presentes producen una pérdida de vida útil significativa en elementos metálicos galvanizados, caso crucetas metálicas, puesto que en ellas la salinidad o la contaminación en ciudades industriales con altos niveles de humedad generan una pérdida entre 4 y 8  $\mu\text{m}$  al año de la capa de recubrimiento de zinc en el acero galvanizado (Ver Figura 1, Clasificación C5), lo que permite estimar para estas una vida útil entre 10 y 12 años (Ver Figura 3, Curva C5). En consecuencia, la cruceta de PRFV se configura en el elemento sustituto para las crucetas metálicas o de madera y en el elemento que se debe utilizar en zonas contaminadas y costeras clasificadas como C5, puesto que, con el uso de recubrimientos para la protección UV y otros aditivos en la resina se contrarresta la degradación y, por tanto, según Sarmiento (2006) se estima una vida útil de 60 años para este material.

En el [Anexo III](#) se encuentran algunas zonas de referencia por tener un nivel de contaminación C5. Se presentan por departamento y municipio, considerando el mapa de la Figura 1.

En zonas clasificadas como de contaminación C4 e inferior, es viable el uso de crucetas metálicas, puesto que con un espesor de la capa de zinc (100  $\mu\text{m}$ ) del galvanizado es posible estimar una protección de 25 años.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 18 de 61

**Figura 3.** Protección del galvanizado (años) en función del espesor de la capa de zinc. Tomado de Galco, 2021



### 6.5. Transformadores en zonas contaminadas

Los transformadores de distribución instalados en zonas con ambientes costeros o de alta contaminación deben ser fabricados con tanques con un nivel de protección que mitigue los problemas que pueden presentarse en dichos ambientes:

- a. Opción 1: la pintura del tanque debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma *NTC 3396 Electrotecnia. Pintura para tanques de transformadores de distribución. Preparación de superficies y aplicación de pintura* y, puntualmente, aquellos que corresponden a la aplicación de pintura que garantiza un desempeño adecuado para una exposición en ambiente 2: atmósferas marinas con moderado nivel de salinidad y/o industrial severas.
- b. Opción 2: el tanque del transformador debe ser fabricado en acero inoxidable y con un acabado en pintura para ambiente 1: atmósferas rural, urbana e industrial, según la NTC 3396. Esta se considera la mejor solución cuando la instalación de los equipos se debe realizar en lugares donde hay alta exposición a alta humedad salina.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
 <b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>			
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 19 de 61

## 6.6. Elementos de protección y seccionamiento en zonas contaminadas

Los elementos de protección y seccionamiento como cortacircuitos y cuchillas de seccionamiento instalados en zonas de contaminación fuerte y muy fuerte deben ser de mayor distancia de fuga, por lo tanto, estos deben responder a las características de la Tabla 4 según el nivel de tensión y el nivel de contaminación.

**Tabla 4.** Elementos de protección y seccionamiento requeridos según el nivel de contaminación

Descripción Técnica	Referencia	Código JDE	Tensión de uso (kV)	Nivel de contaminación	Distancia de fuga mínima (mm)	CFO (kV)
Cortacircuito monopolar 15 kV, In:100-200 A, lcc: 12-20 kA	ET-TD-ME05-06	200981 200982 200983	13.2 7.62	Ligera, Media	> 216	114
Cortacircuito monopolar 100 A 27 kV 12 kA BIL 150 kV	ET-TD-ME05-06	283060	13.2 7.62	Fuerte, Muy Fuerte	> 420	156
Seccionador monopolar tipo cuchilla 600-630 A 27 kV BIL 125 kV	ET-TD-ME05-03	283059	13.2 7.62	Fuerte, Muy Fuerte	≥ 400	130
Cortacircuito monopolar 38 kV 8kA BIL 150 kV, In:100-200 A; instalado en complemento con un aislador tipo estación TR 205 (Código JDE 200161)	ET-TD-ME05-06	200988 200989	34.5 44	Fuerte, Muy Fuerte	1004	280
Seccionador monopolar tipo cuchilla 600-630 A 48 kV BIL 250 kV	ET-TD-ME05-03	217376	34.5 44	Fuerte, Muy Fuerte	1092	260

## 6.7. Puesta a tierra en zonas contaminadas

Las condiciones ambientales del lugar de instalación de las redes eléctricas también afectan los elementos utilizados en los sistemas de puesta a tierra, por lo tanto, para controlar los problemas de la corrosión atmosférica, suelos ácidos y la corrosión galvánica, los elementos de puesta a tierra para ambientes corrosivos deben ser en acero inoxidable o acero recubierto de cobre.

En la norma RA6 – 010 se establecen los requisitos específicos asociados a las características, la selección y construcción de los sistemas de puesta a tierra en redes de distribución.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 20 de 61

## 7. MEDIDAS Y SELECCIÓN DE MATERIALES REQUERIDOS EN ZONAS DE ALTA DENSIDAD DE RAYOS

El desempeño de las redes de distribución se ve afectado por las descargas atmosféricas directas e indirectas según las características del entorno y las propias de la red, pero son las tensiones inducidas generadas por las descargas indirectas, con magnitudes que alcanzan hasta 300 kV, las que producen un mayor impacto y, por consiguiente, muchas salidas en redes de distribución con bajo nivel aislamiento y ubicadas en zonas de altas DDT. En consecuencia, en este capítulo se presentan las recomendaciones a seguir para mejorar el desempeño de las estructuras en zonas de altas DDT, teniendo como base la teoría de aislamientos complementarios y el CFO de los elementos que componen la estructura, todo esto, según lo presenta la IEEE 1410 “Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines”.

### 7.1. Aspectos generales

La Tabla 5, tomada de la guía IEEE Std. 1410, muestra los valores de aislamiento primario y secundario (cruceas - postes) que es posible alcanzar con materiales alternos a los que componen las estructuras conductivas (metal y concreto), con las que comúnmente se construyen las redes. Los valores que presenta la tabla son de referencia y, por lo tanto, siempre se deben validar los elementos que compra el Grupo EPM de acuerdo con las características técnicas de la red a construir, como son los indicados para el aislamiento en la Tabla 6 y para las cruceas en la numeral 6.4.2.

En consecuencia, las características de los componentes de la estructura son la base para dimensionar el CFO de la estructura llevando a cabo un cálculo que se desarrolla de acuerdo con una indicado en la Ecuación 1 y Ecuación 2 , cuya aplicación tiene por objetivo establecer un CFO cercano a los valores recomendados por la IEEE 1410, que sugiere la construcción de redes de distribución con un CFO de 300 kV para suelos de baja resistividad y de 420 kV para suelos de alta resistividad, valores que representan un beneficio en el desempeño de las redes, evaluado por la cantidad de flameos/año, como puede deducirse de la gráfica presentada en la Figura 4.

Ecuación 1. Cálculo del CFO para cuando se tiene aislamiento secundario

$$CFO_{Total} = CFO_{Aislador} + CFO_{secundario}$$

Ecuación 2. Cálculo CFO para cuando se tiene aislamiento terciario o mayor

$$CFO_{Total} = CFO_{Aislador} + CFO_{secundario} + CFO_{terciario} + \dots + CFO_{enésimo}$$

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
	REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 21 de 61

CFO<sub>Total</sub>: Voltaje de flameo crítico total de aislamiento en serie

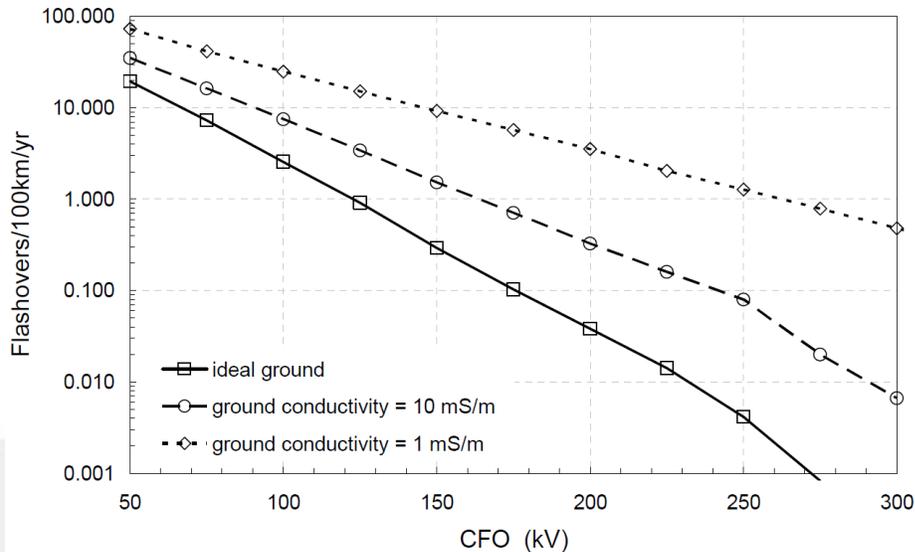
CFO<sub>Aislador</sub>: Voltaje de flameo crítico del aislamiento primario

CFO<sub>Secundario</sub>: CFO sumado por el aislamiento secundario

CFO<sub>Terciario</sub>: CFO sumado por el aislamiento terciario

CFO<sub>Enésimo</sub>: CFO sumado por el aislamiento secundario

**Figura 4.** Número de flameos por sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas indirectas. Tomado de la IEEE 1410



De acuerdo con lo anterior, las redes de distribución que se construyan en zonas de alta densidad de rayos se deben diseñar y construir mínimo con un aislamiento primario que garantice un CFO que soporte la magnitud de las descargas o en su defecto, con la combinación de aislamiento primario y secundario. Es decir, las redes deben construirse considerando lo siguiente para la selección del aislamiento:

- Aislamiento primario de mayor CFO
- Combinación de aislamiento primario y secundario:
- Combinación de aislamiento primario, secundario y terciario:

Aisladores + Cruceta en PRFV

Aisladores + Cruceta en PRFV + Poste en PRFV (\*)

Entre otras combinaciones que apliquen según el material utilizado.

(\*) Se debe tener presente que, en estructuras con cable de guarda o neutro superior y fase central instalada directamente sobre el poste (ejemplo redes en delta o trillizos), el aporte del poste en PRFV al CFO es nulo o poco significativo, esto debido a la cercanía entre el bajante de puesta a tierra y la fase central, por cual, se configura en el punto que limita el mejoramiento del CFO en ese tipo de estructuras.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 22 de 61

- d. En todos los casos, para las retenidas, se deberán emplear aisladores tensores de PRFV.
- e. Por sus características técnicas las crucetas y postes metálicos, y los postes de concreto no ofrecen un nivel aislamiento, por lo tanto, son consideradas como materiales conductivos que no aportan al aislamiento secundario o terciario.

**Tabla 5.** CFO del aislamiento primario, secundario y terciario. Tomado de la IEEE 1410 Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines

CFO <sup>1,2</sup> del aislamiento primario			CFO del aislamiento secundario adicional	
Descripción	Tipo <sup>3</sup>	CFO (kV)	Descripción	CFO (kV/m)
Aislador polimérico	15 kV hasta 35 kV		Poste PFRV	410
Aislador de porcelana tipo pin	ANSI 55-4	105	Poste PFRV	400
	ANSI 55-5	120	Cruceta PFRV	250
	ANSI 55-6	140		
Cadena vertical de aisladores de porcelana	1 x 102 mm	75	Cruceta PFRV	250
	2 x 102 mm	165		
	3 x 102 mm (4")	250		
Cadena horizontal de aisladores de porcelana	1 x 102 mm	75	Cruceta PFRV	250
	2 x 102 mm	165		
	3 x 102 mm (4")	250		
Descripción	Tipo	CFO (kV/m)		
PRFV	Poste o aislador tensor	470		
Aire		600		
<p>Nota 1: Todos los valores son niveles de CFO obtenidos en pruebas estándar hechas en húmedo.</p> <p>Nota 2: Los valores son los mínimos de los valores de polaridad negativa y positiva.</p> <p>Nota 3: Los aisladores son presentados como un ejemplo, se deben consultar los valores requeridos en la ficha técnica del fabricante.</p>				

## 7.2. Aislamiento en zonas con alta DDT

De acuerdo con una evaluación costo-riesgo-desempeño <sup>(1)</sup>, las estructuras ubicadas en zonas con DDT > 20 [rayos/km<sup>2</sup>-año] deben tener como mínimo un CFO de 250 kV en redes de 7.62 kV, 13.2 kV y 34.5 kV, mientras que será de 290 kV en redes de 44 kV, en configuraciones verticales, en delta, trillizos y haches que, deben ser implementadas o construidas contemplando alguna de las siguientes alternativas:

- a. Utilizando los aisladores indicados en la Tabla 6 y conservando el resto de los componentes de la estructura (postes, crucetas metálicas, herrajes).

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 23 de 61

b. Utilizando crucetas en fibra de vidrio (ver Tabla 7) en combinación con aisladores de menor CFO para las fases externas y los aisladores de la Tabla 6 para la fase central, puesto que esta última corresponde al punto que limita el mejoramiento del CFO de la estructura, por su cercanía con el bajante de puesta a tierra, en redes con neutro superior o cable de guarda.

(1) Del análisis de los flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad del suelo y CFO de la estructura y, la experiencia de las organizaciones en el mantenimiento de las redes en lugares con alta incidencia de las descargas atmosféricas se establece implementar el mejoramiento del CFO y otras medidas de la protección contra rayos en las redes que están ubicadas en zonas con  $DDT > 20$  [rayos/km<sup>2</sup>-año], puesto que es allí donde de captura el mayor beneficio en el desempeño de las redes y, por consiguiente, en la reducción significativa en la cantidad de flameos.

En zonas con  $DDT < 20$  [rayos/km<sup>2</sup>-año] la recomendación es implementar las condiciones estándar definidas en las normas para la construcción de las redes. En caso de identificarse, la selección de circuitos cuyas estructuras requieren ser construidas con elementos que mejoran su CFO, de acuerdo con el lineamiento indicado, debe ser proyectada por el responsable que diseñe u opere el tramo red o circuito, bajo un criterio que debe considerar o vigilar el nivel de DDT, así como la longitud de los circuitos y la resistividad del suelo. Para ello, con base en la IEEE 1410 se construyeron las tablas 23 a la 36 (ver [Anexo II](#)), las cuales permiten asociar el número de flameos/año en los circuitos y establecer la condición a partir del cual se debe mejorar/reponer/seleccionar el aislamiento o determinar la efectividad de las medidas y, la necesidad de utilizar DPS o elementos con funciones similares. Esto en función del número de salidas máximas permitidas de referencia:

Nivel de tensión II: 15 Salidas -año

Nivel de tensión III: 11 Salidas -año

En el anexo I, se presentan las subregiones y municipios de referencia por departamento sobre los que se debe hacer gestión puesto que su DDT es mayor o igual a 20 [rayos/km<sup>2</sup>-año].

De otro lado, en el numeral 8 se presentan las alternativas que pueden ser implementadas para mejorar el CFO de las estructuras y sus respectivas configuraciones, considerando el lineamiento indicado en cuanto al CFO obtenido y materiales utilizados.

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
		REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 24 de 61

**Tabla 6.** Aisladores que mejoran el CFO y el comportamiento de las redes en zonas de alta DDT <sup>(1) (2)</sup>

Descripción Técnica	Referencia	Código JDE	Tensión de uso (kV)	Representación gráfica	CFO (kV)
Aislador poste polimérico 48kV 18.1" ANSI C29.18 clase 51-4F	ET-TD-ME02-04	200166	7.62/13.2, 34.5		250
Aislador poste polimérico 46kV 25.9" ANSI C29.18 clase 51-16 grapa vertical.	ET-TD-ME02-04	266301	44		300
Aislador suspensión polimérico 38kV ANSI C29.13 clase DS-35 clevis-lengüeta	ET-TD-ME02-04	200140	7.62/13.2, 34.5		265
Aislador suspensión polimérico 48kV ANSI C29.13 clase DS-46 clevis-lengüeta	ET-TD-ME02-04	200141	44		290
Aislador suspensión porcelana 15 kV 6 1/2" ANSI C29.2 clase 52-1 clevis-lengüeta <sup>(3)</sup>	ET-TD-ME02-01	200149	7.62/13.2, 34.5		3: 250 5: 400
Aislador suspensión porcelana 48 kV 10 3/4" ANSI C29.2 CLASE 52-4 clevis-lengüeta <sup>(4)</sup>	ET-TD-ME02-01	200147	34.5/44		3: 315 4: 410 5: 500
Descripción Técnica	Referencia	Código JDE	Tensión de uso (kV)	Representación gráfica	CFO (kV/m)
Aislador tensor polimérico 15kV 12" ANSI C29.14B clase GI-30 rodillo-rodillo <sup>(5)</sup>	ET-TD-ME02-04	257141	7.62/13.2		470
Aislador tensor polimérico 48kV 24" ANSI C29.14B clase GI-30 rodillo-rodillo <sup>(5)</sup>	ET-TD-ME02-04	257142	34.5/44		470

(1) En redes de 7.62 kV, 13.2 kV y 34.5 kV el CFO mínimo será de 250 kV, por medio de los aisladores poliméricos line post 51-4F (CFO = 250 kV) y suspensión poliméricos DS-35 (CFO = 265 kV). En redes de 34.5 kV, el CFO de 250 kV se logra producto del aislamiento requerido para este nivel de tensión y, podrán construirse con un CFO de 290 kV utilizando aislamiento de 44 kV.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 25 de 61

(2) En redes de 44 kV se llegaría a un CFO de 290 kV producto de las características de los aisladores que por nivel de tensión es necesario instalar: aisladores poliméricos line post 51-16 (CFO = 300 kV) y suspensión poliméricos DS-46 (CFO = 290 kV).

(3) Cuando las redes de 13.2 kV son construidas con cadenas de aisladores de porcelana, el CFO mínimo requerido de 250 kV se logra con cadena de 3 aisladores.

Debe tenerse presente que, en estructuras tipo H en suspensión y en retención, debido a los ángulos de balanceo y los ángulos de deflexión, la cadena debe contar con 5 aisladores para garantizar condiciones seguras en cuanto a la distancia a la estructura.

(4) Cuando las redes de 34.5 kV y 44 kV son construidas con cadenas de aisladores de porcelana, el CFO mínimo requerido de 250 kV o 290 kV se logra con cadenas de 3 aisladores (315 kV).

Debe tenerse presente que, por condiciones de mantenimiento se utilizan mínimo cadenas de 4 aisladores (410 kV) y que en estructuras tipo H en suspensión y en retención, debido a los ángulos de balanceo y los ángulos de deflexión, la cadena debe contar con 5 aisladores para garantizar condiciones seguras en cuanto a la distancia entre el conductor y la estructura.

(5) Los aisladores tipo tensor son requeridos para la instalación de los templetos (retenidas).

### 7.2.1. Crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV)

Además de su resistencia a la intemperie, las crucetas de PRFV aportan un aislamiento secundario cuyo CFO es de 250 kV/m, de esta manera, con el uso de este tipo de cruceta se tiene un aislamiento que sumado al aislamiento primario aportado por el aislador convencional, permite el cumplimiento de las recomendaciones de la IEEE 1410, mejorando la confiabilidad de la red de distribución frente al comportamiento ante a descargas atmosféricas como se indica en los numerales 7.2 y 8.

**Tabla 7.** Crucetas en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV) <sup>(1)(2)(3)</sup>

Descripción Técnica	Referencia	Código JDE
Cruceta PRFV 1500 mm retención	ET-TD-ME03-07	211282
Cruceta PRFV 1500 mm suspensión	ET-TD-ME03-07	211283
Cruceta PRFV 2400 mm retención	ET-TD-ME03-07	211284
Cruceta PRFV 2400 mm suspensión	ET-TD-ME03-07	211285
Cruceta PRFV 4500 mm suspensión	ET-TD-ME03-07	275672
Cruceta PRFV 4500 mm retención	ET-TD-ME03-07	275673
Diagonal recta PRFV 1500 mm para cruceta de 2400 mm <sup>(3)</sup>	ET-TD-ME03-07	275674

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 26 de 61

- (1) Las crucetas en PRFV en combinación con los aisladores tipo suspensión, pin o line post con CFO menor a 140 kV contribuyen a elevar el CFO de la estructura, lo cual mejora su confiabilidad en zonas de alta densidad de descargas atmosféricas (DDT).
- (2) En zonas de altas DDT se debe implementar el uso de crucetas en PRFV para la instalación de cortacircuitos y cuchillas, debido a que mejora el CFO requerido en las estructuras para estas zonas.
- (3) En estructuras semibandera o bandera la diagonal recta en PRFV es requerida para garantizar los valores de CFO que se obtienen cuando se utiliza cruceta en PRFV, por el contrario, utilizar diagonales metálicas va en detrimento de este.
- (4) Aportan también en la protección a vida silvestre, puesto que su aislamiento previene la electrocución de animales por contactos accidentales. No obstante, se deben utilizar las cubiertas para protección de vida silvestre, según el tipo de dispositivo y condiciones de la instalación.

### 7.3. Instalación de cable de guarda

En zonas rurales y/o con alta densidad de descargas atmosféricas se debe implementar la instalación de cable de guarda (conductor de guarda/neutro, redes con neutro corrido), puesto que es una medida efectiva para reducir los impactos directos de las descargas atmosféricas sobre los conductores de fase. Es de precisar que, la corriente de rayo que se drena por los sistemas de puesta a tierra y la diferencia de tensión que esta genera entre el bajante de puesta a tierra y los conductores de fase, puede provocar flameo inverso, por lo tanto, para garantizar una protección efectiva en redes con cable de guarda, la medida debe estar acompañada de:

Un valor de CFO suficientemente alto entre los bajantes de los sistemas de puesta a tierra y los conductores de fase. En las redes de distribución del Grupo EPM el CFO será de 250 kV y 290 kV según en nivel tensión, como se indica en los numerales 7.2 y 8.

Los sistemas de puesta a tierra de las bajantes deben poseer valores de resistencia bajos, siendo máximo de 25  $\Omega$  y propender para que en las zonas de alta DDT los valores asociados sean de 10  $\Omega$ . Esto es importante, puesto que, el rendimiento de los cables de guarda depende en gran medida de los valores de resistencia de puesta a tierra que se presenten a lo largo del sistema de distribución. En la norma RA6 – 010 se establecen los requisitos específicos asociados a las características, la selección y construcción de los sistemas de puesta a tierra en redes de distribución.

El ángulo de apantallamiento será menor o igual a 30°, puesto que permite un apantallamiento efectivo y garantizar un grado de protección frente a descargas atmosféricas directas. Este es un aspecto que es considerado en las normas técnicas de construcción.

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
		REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 27 de 61

## 7.4. Instalación de DPS

Los DPS son utilizados para la protección de equipos como transformadores y reguladores, pero en el contexto de las redes, estos también son implementados para proteger el aislamiento de las líneas de distribución, lo cual tiene por objetivo reducir la ocurrencia de flameos sobre este y las interrupciones en los circuitos.

En particular, el uso de DPS estará orientado a la protección contra tensiones inducidas debido a descargas indirectas, como medida complementaria al mejoramiento del CFO de las estructuras que, debe ser implementada en circuitos rurales y/o ubicados en zonas con altas DDT y para los cuales se establece que incrementar el CFO puede llegar a ser insuficiente considerando valores de DDT, resistividad del suelo, longitud del circuito y por supuesto, cantidad flameos/año permisible para el sistema de distribución bajo análisis. Al respecto es de tener presente que la reducción en el número de flameos/año depende del espaciamiento entre DPS contiguos, el cual puede variar entre 300 m, 450 m y 600 m, dependiendo del requerimiento de la red y en función del valor de flameos/año inicial que garantiza el CFO de las estructuras del circuito (Ver Tabla 37). A continuación se presenta un ejemplo que permite comprender su aplicación:

Un circuito de 13.2 kV bajo condiciones estándar es construido con aislamiento cuyo CFO es de 105 o 120 kV lo que implica para un circuito de 40 km un valor de 320 o 256 flameos/año respectivamente (circuito ubicado en una zona donde la resistividad del suelo es de 1000  $\Omega$ /m y la DDT es de 40 [Rayos/km<sup>2</sup> x Año], ver Tabla 30 y Tabla 31), lo que representa un valor alto para lo que se espera hablando de índices de calidad. Acudiendo al mejoramiento del CFO de la estructura, el circuito tendrá 20 flameos/año si el CFO de las estructuras es de 250 kV, valor que está por encima del valor de referencia aceptable (15 flameos/año), esto indica que a pesar de una reducción en la tasa de flameos con la instalación de DPS podrá obtenerse un nivel de flameos/año aceptable, por lo tanto, considerando la Tabla 37 se tiene que 20 flameos/año se pueden reducir a 12 flameos/año < 15 flameos/año cuando en el circuito se instalan DPS cada 600 m. Si se quisiera mejorar en mayor proporción respecto al valor inicial, se pueden obtener 10 y 6 flameos/año, cuando los DPS son instalados cada 450 m y 300 m respectivamente.

Cabe destacar que, para lograr la reducción de los flameos/año las medidas mencionadas deben estar acompañadas de otras condiciones dentro de la red, puntualmente, de valores de resistencia a puesta a tierra adecuados. Por lo tanto, se deben garantizar valores de resistencia de puesta a tierra de máximo 25  $\Omega$  y propender para que en las zonas de alta DDT los valores asociados sean de 10  $\Omega$ . En la norma RA6 – 010 se establecen los requisitos específicos asociados a las características, la selección y construcción de los sistemas de puesta a tierra en redes de distribución.

De otro lado, es de mencionar que, los DPS también se deben instalar en los puntos donde se realicen derivaciones de la red, transiciones de red aérea a subterránea, transiciones de red desnuda a red compacta y viceversa y, en donde se instalen transformadores y equipos de maniobra, como cortacircuitos y cuchillas.

La protección de los cortacircuitos con DPS debe considerar la forma de conexión del DPS, el cual debe hacerse en el lado de carga.

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
		REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 28 de 61

## 7.5. Elementos de protección y seccionamiento en zonas de alta DDT

Las disposiciones para la instalación y montaje de los elementos de protección y seccionamiento afectan el CFO de toda la estructura en la que se ubican, por lo que, según sean las condiciones definidas, las estructuras pueden ver reducido su CFO hasta un valor igual al garantizado para los elementos de protección y seccionamiento (Por ejemplo, podría llegar a ser de 114 kV cuando se tienen cortacircuitos con BIL 110 kV). En la Tabla 8 se presenta las alternativas de instalación/montaje para estos elementos, que permite obtener valores de CFO que son consecuentes con las otras características de la infraestructura y garantizan el desempeño de la red en zonas de alta DDT.

**Tabla 8.** Alternativas de instalación/montaje de elementos de protección y seccionamiento que permiten mejorar el CFO de la estructura

Tensión de uso (kV)	Alternativa	CFO de la alternativa
7.62 / 13.2	Cortacircuitos y cuchillas de seccionamiento instalados sobre crucetas en PRFV	250 kV utilizando cortacircuitos y cuchillas de seccionamiento 15 kV con BIL 110 kV (Ver Tabla 4) instalados sobre crucetas en PRFV, ubicados a mínimo 550 mm del eje del poste.
		250 kV utilizando cortacircuitos 27 kV con BIL 150 kV (Ver Tabla 4) instalados sobre crucetas en PRFV, ubicados a mínimo 380 mm del eje del poste. Además, es la solución requerida cuando también se tienen niveles de alta contaminación fuerte y muy fuerte.
7.62 / 13.2	Cortacircuitos instalados en complemento con aislador tipo estación.	260 kV utilizando cortacircuitos 27 kV con BIL 150 kV (Ver Tabla 4) instalados en complemento con aisladores tipo estación TR 202 con BIL 95 kV, cuando se instalan directamente sobre el poste.
34.5	Cortacircuitos y cuchillas de seccionamiento instalados sobre crucetas en PRFV	250 kV utilizando cortacircuitos y cuchillas de seccionamiento con BIL 150 kV (Ver Tabla 4) instalados sobre crucetas en PRFV, ubicados a mínimo 380 mm del eje del poste.
	Cuchillas de seccionamiento del nivel de tensión superior o mayor CFO	260 kV utilizando cuchillas de seccionamiento de 48 kV con BIL 250 (Ver Tabla 4), cuando se instalan directamente sobre el poste o sobre crucetas metálicas. Además, es la solución requerida cuando también se tienen niveles de alta contaminación fuerte y muy fuerte.
44	Cortacircuitos y cuchillas de seccionamientos implementadas para el nivel de tensión	270 kV utilizando cortacircuitos 38 kV con BIL 150 kV (Ver Tabla 4) instalados en complemento con aisladores tipo estación TR 205 con BIL 110 kV.
		260 kV utilizando cuchillas de seccionamiento de 48 kV con BIL 250 kV (Ver Tabla 4).
	Cortacircuitos y cuchillas de seccionamiento instalados sobre crucetas en PRFV	300 kV utilizando cortacircuitos 38 kV con BIL 150 kV (Ver Tabla 4) + complemento con aisladores tipo estación TR 205 con BIL 110 kV instalados sobre cruceta en PRFV, ubicados a mínimo 100 mm del eje del poste.
		300 kV utilizando cuchillas de seccionamiento de 48 kV con BIL 250 kV (Ver Tabla 4), instaladas sobre cruceta en PRFV, ubicadas a mínimo 140 mm del eje del poste.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 29 de 61

## 7.6. Protección de transformadores de distribución

La protección del transformador debe realizarse bajo un esquema de protección total, por lo tanto, en la instalación debe incluirse un fusible tipo expulsión, un DPS primario de Óxido de Zinc (ZnO) y un DPS secundario instalado en bornes secundarios del transformador, puesto que incrementa la protección del transformador y reduce la tasa de fallas por descargas atmosféricas.

En zonas rurales y para obtener una reducción significativa del índice global de fallas de transformadores en el sistema de distribución debido a sobretensiones y sobrecargas, la recomendación obedece a la instalación de transformadores autoprotegidos. Se exceptúa de esta condición los transformadores instalados en la ESSA, donde por regla general, todos los transformadores monofásicos instalados son del tipo autoprotegido.

## 8. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO ELEMENTOS QUE MEJORAN EL CFO DE LAS ESTRUCTURAS

En consecuencia, con lo indicado en el numeral 7.2 “Aislamientos”, en la Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 se presentan las alternativas constructivas que permiten mejorar el desempeño de las redes utilizando los elementos de la Tabla 6 y Tabla 7. Es de anotar que, en las configuraciones en retención y terminal se deben emplear aisladores tensores de PRFV.

**Tabla 9.** Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO de la estructura a partir del cambio de los aisladores en redes de 7.62 kV

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
Normas de 7.62 kV	Cambiar el aislamiento	<b>Disposición en suspensión</b>
		250 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-4F.
		<b>Disposición en retención/terminal</b>
		250 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-1). 265 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-35

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 30 de 61

**Tabla 10.** Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO en redes de 13.2 kV

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
Configuración en Delta, Neutro superior, 13.2 kV	Opción 1: Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)	<b>Disposición en suspensión</b>
		250 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-4F.
		<b>Disposición en retención/terminal</b>
		250 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-1). 265 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-35
		<b>Disposición en ángulo</b>
		250 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-4F (fases externas) + cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-1) para la fase central.  250 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-4F para las fases externas) + aislador de suspensión polimérico DS-35 para la fase central.
Configuración en Delta, Neutro superior, 13.2 kV	Opción 2: Utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación aisladores de porcelana y/o poliméricos	<b>Disposición en suspensión</b>
		250 kV, utilizando aisladores de porcelana pin 55-4 para las fases externas + aislador line post polimérico 51-4F para la fase central.  250 kV, utilizando aisladores line post de porcelana 57-1 para las fases externas + aislador line post polimérico 51-4F para la fase central.  250 kV, utilizando aisladores de line post poliméricos 51-2F para las fases externas + aislador line post polimérico 51-4F para la fase central.
	Opción 2: Utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación aisladores de porcelana y/o poliméricos	<b>Disposición en ángulo</b>
		250 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post porcelana 57-1 para las fases externas + cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-1) para la fase central.  265 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post poliméricos 57-1 para las fases externas + aislador de suspensión polimérico DS-35 para la fase central

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 31 de 61

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
		<p style="text-align: center;"><b>Disposición en retención/terminal</b></p> <p>250 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + cadenas de aisladores de porcelana (2 X Aisladores de suspensión 52-1) para las fases externas + cadena de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-1) para la fase central.</p> <p>265 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores de suspensión poliméricos DS-15 para las fases externas + aisladores de suspensión poliméricos DS-35 para la fase central.</p>
	<p>Opción 3: En las estructuras con aislamiento de porcelana y en las cuales se identifique que se encuentra en buen estado, se podrá adicionar un aislador tipo suspensión 51-2 por fase.</p>	<p>Adicionar un aislador por fase permite obtener un CFO de 250 kV para las cadenas.</p>
<p>Configuración semibandera, 13.2 kV</p>	<p>Estructuras en configuración semibandera, utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación con aisladores de porcelana y/o poliméricos</p>	<p style="text-align: center;"><b>Disposición en suspensión</b></p> <p>290 kV, utilizando una cruceta de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-2F.</p> <p>280 kV, utilizando una cruceta de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-2F.</p>
<p>Configuración semibandera, 13.2 kV</p>	<p>Estructuras en configuración semibandera, utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación con aisladores de porcelana y/o poliméricos</p>	<p style="text-align: center;"><b>Disposición en retención</b></p> <p>290 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + cadenas de aisladores de porcelana (2 X Aisladores de suspensión 52-1) + aislador line post poliméricos 51-2F.</p> <p>260 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores de suspensión poliméricos DS-35 + aislador line post poliméricos 57-1.</p> <p style="text-align: center;"><b>Disposición en ángulo</b></p> <p>290 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-2F.</p> <p>260 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post porcelana 57-1</p> <p style="text-align: center;"><b>Disposición en terminal</b></p> <p>315 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + cadenas de aisladores de porcelana (2 X Aisladores de suspensión 52-1).</p> <p>280 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores de suspensión poliméricos DS-15.</p>

<p><b>ENERGÍA</b></p>	<p><b>NORMAS TÉCNICAS</b></p>	<p><b>RA8- 022</b></p>	<p>REV. <b>1</b></p>
		<p><b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b></p>	
<p>CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS</p>			<p>PÁGINA: 32 de 61</p>

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
Configuración en Hache 13.2 kV	Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)	Disposición en suspensión
		400 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (5 X Aisladores de suspensión 52-1)
		Disposición en retención
		400 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (5 X Aisladores de suspensión 52-1)
		Disposición en terminal
		250 kV, utilizando cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-1). 265 kV, utilizando aisladores de suspensión polimérico DS-35.
Configuración trillizos 13.2 kV	Cambiar el aislamiento o utilizar cadenas de un mayor número de aisladores	250 kV, utilizando cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-1). 265 kV, utilizando aisladores de suspensión polimérico DS-35.

Grupo 

ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
	REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 33 de 61

**Tabla 11.** Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO de la estructura en redes de 34.5 kV

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
<p>Configuración en Delta, Neutro superior, 34.5 kV</p>	<p>Opción 1: Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)</p>	<p>Disposición en suspensión</p>
		<p>250 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-4F</p> <p><i>Utilizando aislamiento de 44 kV:</i></p> <p>300 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-16</p>
		<p>Disposición en retención/terminal</p>
		<p>250 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) + Aislador line post polimérico 51-4F para el puente.</p> <p>250 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-35 + Aislador line post polimérico 51-4F para el puente.</p> <p><i>Utilizando aislamiento de 44 kV:</i></p> <p>300 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) + Aislador line post polimérico 51-16 para el puente.</p> <p>290 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-46 + Aislador line post polimérico 51-16 para el puente.</p>
		<p>Disposición en ángulo</p>
		<p>250 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-4F (fases externas) + cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) para la fase central.</p> <p>250 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-4F para las fases externas) + aislador de suspensión polimérico DS-35 para la fase central.</p> <p><i>Utilizando aislamiento de 44 kV:</i></p> <p>300 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-16 (fases externas) + cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) para la fase central.</p> <p>290 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-16 para las fases externas) + aislador de suspensión polimérico DS-46 para la fase central.</p>

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 34 de 61

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa	
Configuración en Delta, Neutro superior, 34.5 kV	Opción 2: Utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación aisladores de porcelana y/o poliméricos	<b>Disposición en suspensión</b>	
		<p>250 kV, utilizando aisladores line poste de porcelana 57-3 para las fases externas + aislador line post polimérico 51-4F para la fase central.</p> <p><i>Utilizando aislamiento de 44 kV:</i></p> <p>300 kV, utilizando aisladores line poste de porcelana 57-3 para las fases externas + aislador line post polimérico 51-16 para la fase central.</p>	
		<b>Disposición en ángulo</b>	
		<p>315 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post porcelana 57-3 para las fases externas + cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) para la fase central.</p>	
		<p>265 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post poliméricos 57-3 para las fases externas + aislador de suspensión polimérico DS-35 para la fase central</p> <p><i>Utilizando aislamiento de 44 kV:</i></p>	
		<p>290 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post poliméricos 57-3 para las fases externas + aislador de suspensión polimérico DS-46 para la fase central</p>	
Configuración semibandera, 34.5 kV	Estructuras en configuración semibandera, utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación con aisladores de porcelana y/o poliméricos	<b>Disposición en suspensión</b>	
		<p>336 kV, utilizando una cruceta de PRFV + aisladores line post poliméricos 57-3</p>	
		<b>Disposición en retención</b>	
		<p>336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) + aislador line post poliméricos 57-3.</p>	
		<p>336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores de suspensión poliméricos DS-35 + aislador line post poliméricos 57-3.</p>	
		<b>Disposición en ángulo</b>	
		<p>336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post poliméricos 57-3.</p>	
		<p>336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-2F</p>	
<b>Disposición en terminal</b>			
<p>336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4).</p> <p>336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores de suspensión poliméricos DS-35.</p>			
<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 35 de 61

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
Configuración en Hache, 34.5 kV	Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)	Disposición en suspensión
		500 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (5 X Aisladores de suspensión 52-4)
		Disposición en retención
		500 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (5 X Aisladores de suspensión 52-4)
		Disposición en terminal
Configuración trillizos 34.5 kV	Conservando el aislamiento requerido para este nivel de tensión o utilizando aisladores poliméricos de 44 kV	315 kV, utilizando cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4).
		265 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-35
		Utilizando aislamiento de 44 kV:
		290 kV, utilizando aisladores de suspensión polimérico DS-46.
		315 kV, utilizando cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4)
Configuración trillizos 34.5 kV	Conservando el aislamiento requerido para este nivel de tensión o utilizando aisladores poliméricos de 44 kV	265 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-35
		Utilizando aislamiento de 44 kV:
		290 kV, utilizando aisladores de suspensión polimérico DS-46.

**Tabla 12.** Alternativas constructivas que permiten mejorar el CFO de la estructura en redes de 44 kV

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
Configuración en Delta, Neutro superior, 44 kV	Opción 1: Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)	Disposición en suspensión
		300 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-16.
		Disposición en retención
		300 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) + Aislador line post polimérico 51-16 para el puente.
		290 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-46 + Aislador line post polimérico 51-16 para el puente.
		Disposición en ángulo
		300 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-16 (fases externas) + cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) para la fase central.
		290 kV, utilizando aisladores line post poliméricos 51-16 para las fases externas) + aislador de suspensión polimérico DS-46 para la fase central.

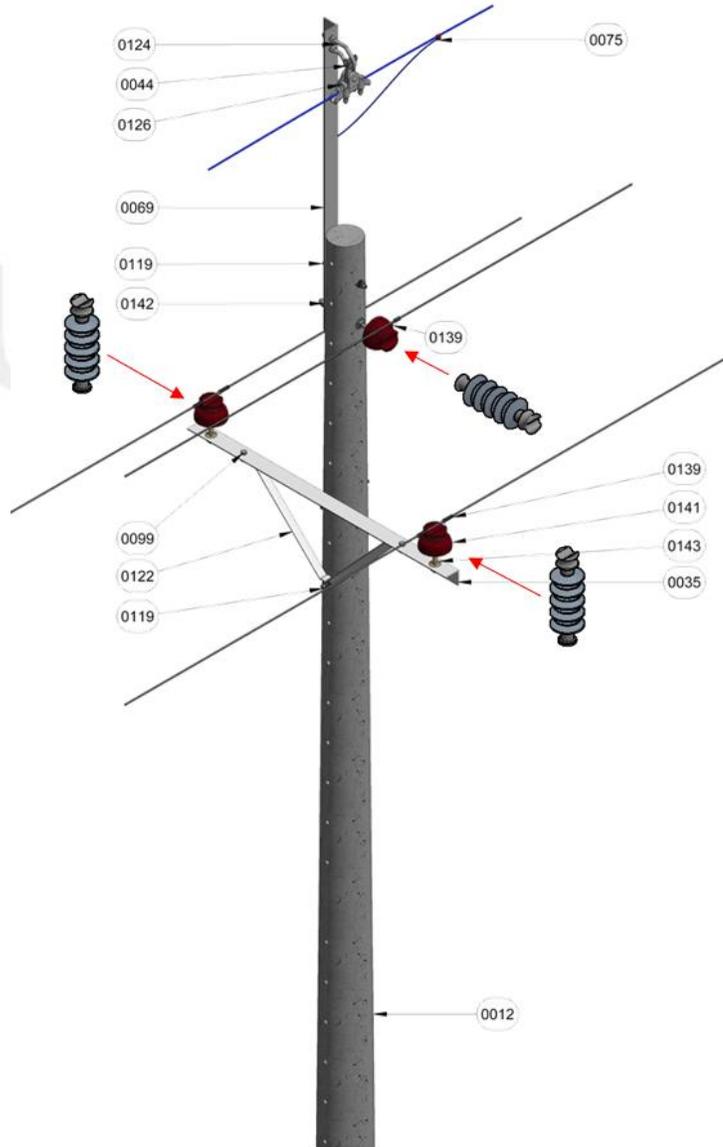
<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 36 de 61

Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
Configuración en Delta, Neutro superior, 44 kV	Opción 1: Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)	<b>Disposición en terminal</b>
		300 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4). 290 kV, utilizando aisladores de suspensión poliméricos DS-46.
Configuración en Delta, Neutro superior, 44 kV	Opción 2: Utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación con aisladores de porcelana y/o poliméricos	<b>Disposición en suspensión</b>
		300 kV, utilizando aisladores de porcelana line post polimérico 51-16 para las fases externas + aislador line post polimérico 51-16 para la fase central.
		<b>Disposición en ángulo</b>
		300 kV, utilizando dos Cruceta de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-16 para las fases externas + cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) para la fase central. 290 kV, utilizando dos Cruceta de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-16 para las fases externas + aislador de suspensión polimérico DS-46 para la fase central
Configuración semibandera, 44 kV	Estructuras en configuración semibandera, utilizando crucetas en fibra de vidrio en combinación con aisladores de porcelana y/o poliméricos	<b>Disposición en suspensión</b>
		336 kV, utilizando una cruceta de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-16.
		<b>Disposición en retención</b>
		336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) + aislador line post poliméricos 51-16.
		336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores de suspensión poliméricos DS-46 + aislador line post poliméricos 51-16.
		<b>Disposición en ángulo</b>
		336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores line post poliméricos 51-16.
		<b>Disposición en terminal</b>
336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + cadenas de aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4). 336 kV, utilizando dos crucetas de PRFV + aisladores de suspensión poliméricos DS-46.		
Configuración en Hache, 44 kV	Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)	<b>Disposición en suspensión</b>
		500 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (5 X Aisladores de suspensión 52-4)
		<b>Disposición en retención</b>
		500 kV, utilizando cadenas de aisladores de porcelana (5 X Aisladores de suspensión 52-4)

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 37 de 61

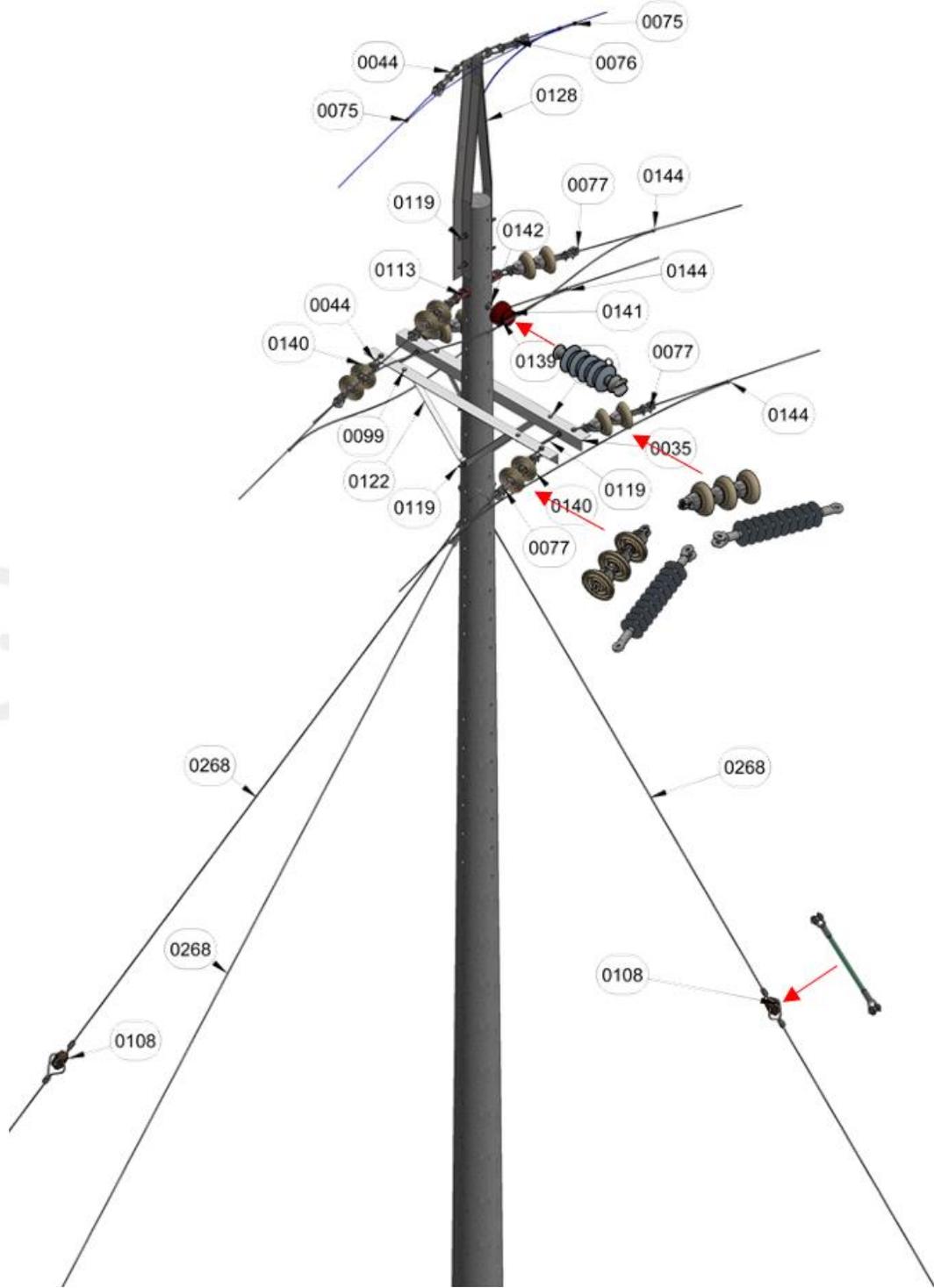
Grupo de normas	Alternativa	CFO de la alternativa
Configuración en Hache, 44 kV	Cambiar el aislamiento y conservar el resto de los elementos de la estructura (poste, crucetas y herrajes)	<b>Disposición en terminal</b>
		410 kV, utilizando cadena aisladores de porcelana (4 X Aisladores de suspensión 52-4). 290 kV, utilizando aisladores de suspensión polimérico DS-46.
Configuración trillizos 44 kV	-----	315 kV, utilizando cadena aisladores de porcelana (3 X Aisladores de suspensión 52-4) 290 kV, utilizando aisladores de suspensión polimérico DS-46.

**Figura 5.** Representación gráfica uso de aisladores y otros elementos redes en delta configuración en suspensión



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
<b>Grupo·epm®</b>		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 38 de 61

**Figura 6.** Representación gráfica uso de aisladores y otros elementos redes en delta configuración en retención



ENERGÍA	NORMAS TÉCNICAS	RA8- 022	REV. 1
		REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 39 de 61

## ANEXO I SUBREGIONES Y MUNICIPIOS DE REFERENCIA POR DEPARTAMENTO CON DDT > 20 [rayos/km<sup>2</sup> x año]

**Tabla 13.** Subregiones y municipios de referencia para Antioquia con DDT > 20 [rayos/km<sup>2</sup> x año]

Subregión	Municipio	Observación
Área Metropolitana	Caldas	-----
	Itagüí	-----
	La Estrella	-----
	Medellín	Zonas ubicadas en el Suroccidente
	Sabaneta	-----
Bajo Cauca	Cáceres	-----
	Caucasia	-----
	El Bagre	-----
	Nechí	-----
	Tarazá	-----
	Zaragoza	-----
Magdalena Medio	Caracolí	-----
	Maceo	-----
	Puerto Berrío	-----
	Puerto Nare	-----
	Puerto Triunfo	-----
	Yondó	-----
Nordeste	Amalfi	Zonas ubicadas en el Norte
	Anorí	Zonas ubicadas en desde el centro hasta el Norte, de occidente a oriente
	Cisneros	-----
	Remedios	-----
	San Roque	-----
	Santo Domingo	Zonas ubicadas Suroriente y Nororiente
	Segovia	-----
	Vegachí	Zonas ubicadas en el Norte y Oriente
	Yalí	Zonas ubicadas en el Oriente
	Yolombó	Zonas ubicadas en el Centro – Sur, Suroccidente y Oriente
Norte	Briceño	Zonas ubicadas en el Norte
	Campamento	Zonas ubicadas en el Norte
	Carolina	-----
	Don Matías	Zonas ubicadas en el Norte
	Gómez Plata	-----
	Ituango	Zonas ubicadas en el Nororiente
	Santa Rosa de Osos	Zonas ubicadas en el Suroriente
	Yarumal	Zonas ubicadas en el Norte
	Valdivia	-----
Occidente	Ebéjico	Zonas ubicadas en el Sur
Oriente	Alejandría	-----
	Argelia	-----
	Cocorná	-----
	Concepción	Zonas ubicadas en el Oriente
	El Carmen de Viboral	-----
	El Retiro	Zonas ubicadas en el Suroriente

**ENERGÍA**

**NORMAS TÉCNICAS**

**RA8- 022**

REV.  
**1**



**REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES**

Subregión	Municipio	Observación
Oriente	Granada	Zonas ubicadas en el Centro y Suroriente
	La Unión	Zonas ubicadas en la franja Suroriental
	Nariño	-----
	San Carlos	-----
	San Francisco	-----
	San Luis	-----
	San Rafael	-----
	Sonsón	-----
Suroeste	Amagá	-----
	Fredonia	Zonas ubicadas en la franja Norte
	Heliconia	-----
	Montebello	Zonas ubicadas en el Noroccidente
	Santa Bárbara	Zonas ubicadas en el Norte
	Venecia	Zonas ubicadas en el Oriente
Urabá	Carepa	Zonas ubicadas en el occidente
	Chigorodó	Zonas ubicadas en el occidente
	Mutatá	Zonas ubicadas en el Centro - Occidente y Noroccidente
	Turbo	Algunas zonas del sur y suroccidente de Turbo

**Tabla 14.** Subregiones y municipios de referencia para Bolívar con DDT > 20 [rayos/km2 x año]

Subregión	Municipio	Observación
Depresión Momposina	Cicuco	Zonas ubicadas en el Sur
	Hatillo de Loba	-----
	Margarita	Zonas ubicadas en el Suroriente
	Mompós	-----
	San Fernando	Zonas ubicadas en la franja Sur
Loba	Altos del Rosario	-----
	Barranco de Loba	-----
	El Peñón	-----
	Norosí	-----
	Regidor	-----
	Río Viejo	-----
	San Martín de Loba	-----
La Mojana	Achí	-----
	Magangué	Zonas ubicadas desde el Centro hasta el Sur
	Montecristo	-----
	Pinillos	-----
	San Jacinto del Cauca	-----
	Tiquisio	-----
Magdalena Medio	Arenal	Zonas ubicadas en el Suroccidente y en el Norte
	Cantagallo	-----
	Morales	Zonas ubicadas en el Suroriente
	San Pablo	-----
	Santa Rosa del Sur	Zonas ubicadas en el Nororiente, Suroccidente y Centro - Oriente
	Simití	-----

ENERGÍA

NORMAS TÉCNICAS

RA8- 022

REV.  
1

Grupo **epm**

REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES

**Tabla 15.** Subregiones y municipios de referencia para Caldas con DDT > 20 [rayos/km2 x año]

Subregión	Municipio	Observación
Magdalena Caldense	La Dorada	Zonas ubicadas en el Occidente de Norte a Sur
	Norcasia	-----
	Samaná	-----
	La Victoria	-----
Alto Oriente	Pensilvania	Zonas ubicadas en el Oriente de Norte a Sur, límite con el municipio de Samaná

**Tabla 16.** Subregiones y municipios de referencia para César con DDT > 20 [rayos/km2 x año]

Subregión	Municipio	Observación
Centro	Tamalameque	Zonas ubicadas en el Suroccidente
Sur	Aguachica	Zonas ubicadas desde el centro hasta el Sur
	Gamarra	Zonas ubicadas en el Sur
	La Gloria	Zonas ubicadas desde el centro hasta el Occidente
	Pelaya	Zonas ubicadas desde el centro hasta el Sur
	Río de Oro	Zonas ubicadas en el Sur
	San Alberto	Excepto la franja oriental, límite con los municipios de Abrego y La Esperanza – Norte de Santander
	San Martín	Excepto la franja oriental, límite con los municipios de Abrego y Ocaña – Norte de Santander

**Tabla 17.** Subregiones y municipios de referencia para Córdoba con DDT > 20 [rayos/km2 x año]

Subregión	Municipio	Observación
Alto Sinú	Tierralta	Zonas ubicadas en el Sur
Sabanas	Chinú	Zonas ubicadas en el Sur
	Sahagún	Zonas ubicadas en el Sur
San Jorge	Ayapel	-----
	Buenavista	Zonas ubicadas en el Sur
	La Apartada	-----
	Montelíbano	Zonas ubicadas en el Sur
	Puerto Libertador	Zonas ubicadas en el Noroccidente y Nororiente
	San José de Uré	-----

**Tabla 18.** Subregiones y municipios de referencia para Norte de Santander con DDT > 20 [rayos/km2 x año]

Subregión	Municipio	Observación
Occidente	Convención	Zonas ubicadas en el Nororiente
	El Carmen	Zonas ubicadas en el Nororiente
	Hacarí	Zonas ubicadas en el Nororiente
	San Calixto	Zonas ubicadas en el Nororiente
	Teorama	Zonas ubicadas en el oriente
Norte	El Tarra	-----
	Sardinata	Zonas ubicadas en el Norte
	Tibú	-----
Oriente o Metropolitana	Cúcuta	Zonas ubicadas en el Norte
	El Zulia	Zonas ubicadas en el Norte
	Puerto Santander	Zonas ubicadas en el Noroccidente

**ENERGÍA****NORMAS TÉCNICAS****RA8- 022**REV.  
**1**Grupo **epm****REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES**

**Tabla 19.** Subregiones y municipios de referencia para Santander con DDT > 20 [rayos/km2 x año]

Subregión	Municipio	Observación
Guanentá	Charalá	Zonas ubicadas en el Occidente, entre el Centro y el Sur
	Coromoro	Zonas ubicadas en el Sur - Occidente
	Curití	Zonas ubicadas en el Centro - Sur
	Encino	Zonas ubicadas en el Noroccidente
	Mogotes	Zonas ubicadas en el Centro y Centro Norte
Comunera	Chima	Zonas ubicadas en el Occidente
	Contratación	Zonas ubicadas en el Norte
	El Guacamayo	Zonas ubicadas en el Norte
	Gámbita	Zonas ubicadas en el Centro - Sur
	Oiba	Zonas ubicadas en el Suroccidente
	Santa Helena del Opón	-----
Suaita	Suaita	Zonas ubicadas en el Centro – Oriente, entre el Norte y el Sur
	Rionegro	Zonas ubicadas en el Noroccidente
Metropolitana	Rionegro	Zonas ubicadas en el Noroccidente
Vélez	Bolívar	Zonas ubicadas en el Centro hasta el Occidente de Norte a Sur y extremo sur
	Cimitarra	-----
	Guavatá	-----
	El Peñón	Zonas ubicadas en el Occidente de Norte a Sur
	Jesús María	Zonas ubicadas en el Nororiente
	La Belleza	Zonas ubicadas en el Occidente de Norte a Sur
	La Paz	Zonas ubicadas en el Norte
	Landázuri	-----
	Puente Nacional	Zonas ubicadas en el Noroccidente
	Puerto Parra	-----
	Sucre	Zonas ubicadas en franja occidental de Norte a Sur, Centro y Centro - Oriente
	Vélez	Zonas ubicadas en el Centro hasta el Sur, incluyendo el extremo del Sur - Occidente
Yariguíes	Barrancabermeja	Zonas ubicadas en el Centro - Occidente hasta el Noroccidente y Suroccidente
	El Carmen de Chucurí	Zonas ubicadas en el Centro - Occidente
	Puerto Wilches	-----
	Sabana de Torres	Zonas ubicadas en el Centro - Occidente
	San Vicente de Chucurí	Zonas ubicadas en el Suroccidente

**Tabla 20.** Subregiones y municipios de referencia para Sucre con DDT > 20 [rayos/km2 x año]

Subregión	Municipio	Observación
La Mojana	Guaranda	-----
	Majagual	-----
	Sucre	-----
San Jorge	Caimito	-----
	La Unión	-----
	San Benito Abad	-----
	San Marcos	-----

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
	<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 43 de 61

**Tabla 21.** Subregiones y municipios de referencia para Quindío con DDT > 20 [rayos/km<sup>2</sup> x año]

Subregión	Municipio	Observación
Fría	Filandia	Zonas ubicadas en el Nororiente
	Salento	Zonas ubicadas en el Noroccidente

**Tabla 22.** DDT de referencia en municipios con mayores impactos por rayos

Municipios	Densidad de descargas DDT (rayos/km <sup>2</sup> x año)
Argelia, San Francisco, Samaná, Norcasia, Yondó, Puerto Berrio, Ayapel, Guaranda, Majagual, San Benito Abad, San Marcos, San Jacinto del Cauca, Montecristo, Cimitarra, Bolívar	42 - 48
Nariño, Puerto Triunfo, Puerto Nare	42
Anorí, Cáceres, Taraza, Remedios, Segovia, Caucasia, Zaragoza, Nechí, Ayapel, San Marcos, Sucre, Montecristo	25 - 42
Sonsón, Cocorná, Granada, Guatapé, San Carlos, Alejandría, Concepción, Santo Domingo, San Roque, Cisneros, Caracolí, Maceo, Yalí, Vegachí, Yolombó, Yondó, El Bagre, San Carlos, San Luis, San Rafael, Tibú, El Tarra, Sardinata, Teorama, Convención, Cimitarra, Puerto Wilches, Landázuri, Vélez, San Martín	25 - 36
Itagüí, La Estrella, Caldas, Heliconia, Armenia, Angelópolis, Montebello, Gómez Plata, Carolina, Guadalupe, Anorí, Valdivia y Briceño	20 - 24

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 44 de 61

## ANEXO II FLAMEOS/AÑO EN FUNCIÓN DE LA DDT, LA LONGITUD DEL CIRCUITO, RESISTIVIDAD DEL SUELO, CFO DE LA ESTRUCTURA E INSTALACIÓN DE DPS

**Tabla 23.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 105 kV

CFO (kV)	105																				
Flameos/100 km-año	5.6																				
Resistividad Suelo Ω/m	100																				
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	3	5	7	9	12	14	16	18	21	23	25	27	45	68	90	112	135	157	180	202	224
9	3	6	8	11	13	16	18	21	23	26	28	31	51	76	101	126	152	177	202	227	252
10	3	6	9	12	14	17	20	23	26	28	31	34	56	84	112	140	168	196	224	252	280
11	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	62	93	124	154	185	216	247	278	308
12	4	7	11	14	17	21	24	27	31	34	37	41	68	101	135	168	202	236	269	303	336
13	4	8	11	15	19	22	26	30	33	37	41	44	73	110	146	182	219	255	292	328	364
14	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	79	118	157	196	236	275	314	353	392
15	5	9	13	17	21	26	30	34	38	42	47	51	84	126	168	210	252	294	336	378	420
16	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45	50	54	90	135	180	224	269	314	359	404	448
17	5	10	15	20	24	29	34	39	43	48	53	58	96	143	191	238	286	334	381	429	476
18	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	101	152	202	252	303	353	404	454	504
19	6	11	16	22	27	32	38	43	48	54	59	64	107	160	213	266	320	373	426	479	532
20	6	12	17	23	28	34	40	45	51	56	62	68	112	168	224	280	336	392	448	504	560
21	6	12	18	24	30	36	42	48	53	59	65	71	118	177	236	294	353	412	471	530	588
22	7	13	19	25	31	37	44	50	56	62	68	74	124	185	247	308	370	432	493	555	616
23	7	13	20	26	33	39	46	52	58	65	71	78	129	194	258	322	387	451	516	580	644
24	7	14	21	27	34	41	48	54	61	68	74	81	135	202	269	336	404	471	538	605	672
25	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	140	210	280	350	420	490	560	630	700
26	8	15	22	30	37	44	51	59	66	73	81	88	146	219	292	364	437	510	583	656	728
27	8	16	23	31	38	46	53	61	69	76	84	91	152	227	303	378	454	530	605	681	756
28	8	16	24	32	40	48	55	63	71	79	87	95	157	236	314	392	471	549	628	706	784
29	9	17	25	33	41	49	57	65	74	82	90	98	163	244	325	406	488	569	650	731	812
30	9	17	26	34	42	51	59	68	76	84	93	101	168	252	336	420	504	588	672	756	840
31	9	18	27	35	44	53	61	70	79	87	96	105	174	261	348	434	521	608	695	782	868
32	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	180	269	359	448	538	628	717	807	896
33	10	19	28	37	47	56	65	74	84	93	102	111	185	278	370	462	555	647	740	832	924
34	10	20	29	39	48	58	67	77	86	96	105	115	191	286	381	476	572	667	762	857	952
35	10	20	30	40	49	59	69	79	89	98	108	118	196	294	392	490	588	686	784	882	980
36	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101	111	121	202	303	404	504	605	706	807	908	1008
37	11	21	32	42	52	63	73	83	94	104	114	125	208	311	415	518	622	726	829	933	1036
38	11	22	32	43	54	64	75	86	96	107	118	128	213	320	426	532	639	745	852	958	1064
39	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132	219	328	437	546	656	765	874	983	1092
40	12	23	34	45	56	68	79	90	101	112	124	135	224	336	448	560	672	784	896	1008	1120
45	13	26	38	51	63	76	89	101	114	126	139	152	252	378	504	630	756	882	1008	1134	1260
50	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400
55	16	31	47	62	77	93	108	124	139	154	170	185	308	462	616	770	924	1078	1232	1386	1540
60	17	34	51	68	84	101	118	135	152	168	185	202	336	504	672	840	1008	1176	1344	1512	1680

**Tabla 24.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 120 kV

CFO (kV)		120																			
Flameos/100 km-año		3																			
Resistividad Suelo Ω/m		100																			
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	14	15	24	36	48	60	72	84	96	108	120
9	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	15	17	27	41	54	68	81	95	108	122	135
10	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	30	45	60	75	90	105	120	135	150
11	2	4	5	7	9	10	12	14	15	17	19	20	33	50	66	83	99	116	132	149	165
12	2	4	6	8	9	11	13	15	17	18	20	22	36	54	72	90	108	126	144	162	180
13	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	39	59	78	98	117	137	156	176	195
14	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	24	26	42	63	84	105	126	147	168	189	210
15	3	5	7	9	12	14	16	18	21	23	25	27	45	68	90	113	135	158	180	203	225
16	3	5	8	10	12	15	17	20	22	24	27	29	48	72	96	120	144	168	192	216	240
17	3	6	8	11	13	16	18	21	23	26	29	31	51	77	102	128	153	179	204	230	255
18	3	6	9	11	14	17	19	22	25	27	30	33	54	81	108	135	162	189	216	243	270
19	3	6	9	12	15	18	20	23	26	29	32	35	57	86	114	143	171	200	228	257	285
20	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	60	90	120	150	180	210	240	270	300
21	4	7	10	13	16	19	23	26	29	32	35	38	63	95	126	158	189	221	252	284	315
22	4	7	10	14	17	20	24	27	30	33	37	40	66	99	132	165	198	231	264	297	330
23	4	7	11	14	18	21	25	28	32	35	38	42	69	104	138	173	207	242	276	311	345
24	4	8	11	15	18	22	26	29	33	36	40	44	72	108	144	180	216	252	288	324	360
25	4	8	12	15	19	23	27	30	34	38	42	45	75	113	150	188	225	263	300	338	375
26	4	8	12	16	20	24	28	32	36	39	43	47	78	117	156	195	234	273	312	351	390
27	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	81	122	162	203	243	284	324	365	405
28	5	9	13	17	21	26	30	34	38	42	47	51	84	126	168	210	252	294	336	378	420
29	5	9	14	18	22	27	31	35	40	44	48	53	87	131	174	218	261	305	348	392	435
30	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45	50	54	90	135	180	225	270	315	360	405	450
31	5	10	14	19	24	28	33	38	42	47	52	56	93	140	186	233	279	326	372	419	465
32	5	10	15	20	24	29	34	39	44	48	53	58	96	144	192	240	288	336	384	432	480
33	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	99	149	198	248	297	347	396	446	495
34	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	57	62	102	153	204	255	306	357	408	459	510
35	6	11	16	21	27	32	37	42	48	53	58	63	105	158	210	263	315	368	420	473	525
36	6	11	17	22	27	33	38	44	49	54	60	65	108	162	216	270	324	378	432	486	540
37	6	12	17	23	28	34	39	45	50	56	62	67	111	167	222	278	333	389	444	500	555
38	6	12	18	23	29	35	40	46	52	57	63	69	114	171	228	285	342	399	456	513	570
39	6	12	18	24	30	36	41	47	53	59	65	71	117	176	234	293	351	410	468	527	585
40	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	120	180	240	300	360	420	480	540	600
45	7	14	21	27	34	41	48	54	61	68	75	81	135	203	270	338	405	473	540	608	675
50	8	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83	90	150	225	300	375	450	525	600	675	750
55	9	17	25	33	42	50	58	66	75	83	91	99	165	248	330	413	495	578	660	743	825
60	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	180	270	360	450	540	630	720	810	900

**Tabla 25.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 140 kV

CFO (kV)		140																			
Flameos/100 km-año		2.1																			
Resistividad Suelo Ω/m		100																			
		Longitud circuito (km)																			
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	17	26	34	42	51	59	68	76	84
9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	19	29	38	48	57	67	76	86	95
10	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21	32	42	53	63	74	84	95	105
11	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	24	35	47	58	70	81	93	104	116
12	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16	26	38	51	63	76	89	101	114	126
13	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	16	17	28	41	55	69	82	96	110	123	137
14	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	30	45	59	74	89	103	118	133	147
15	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16	18	19	32	48	63	79	95	111	126	142	158
16	2	4	6	7	9	11	12	14	16	17	19	21	34	51	68	84	101	118	135	152	168
17	2	4	6	8	9	11	13	15	17	18	20	22	36	54	72	90	108	125	143	161	179
18	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19	21	23	38	57	76	95	114	133	152	171	189
19	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	40	60	80	100	120	140	160	180	200
20	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	24	26	42	63	84	105	126	147	168	189	210
21	3	5	7	9	12	14	16	18	20	23	25	27	45	67	89	111	133	155	177	199	221
22	3	5	7	10	12	14	17	19	21	24	26	28	47	70	93	116	139	162	185	208	231
23	3	5	8	10	13	15	17	20	22	25	27	29	49	73	97	121	145	170	194	218	242
24	3	6	8	11	13	16	18	21	23	26	28	31	51	76	101	126	152	177	202	227	252
25	3	6	8	11	14	16	19	21	24	27	29	32	53	79	105	132	158	184	210	237	263
26	3	6	9	11	14	17	20	22	25	28	31	33	55	82	110	137	164	192	219	246	273
27	3	6	9	12	15	18	20	23	26	29	32	35	57	86	114	142	171	199	227	256	284
28	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	59	89	118	147	177	206	236	265	294
29	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	61	92	122	153	183	214	244	275	305
30	4	7	10	13	16	19	23	26	29	32	35	38	63	95	126	158	189	221	252	284	315
31	4	7	10	14	17	20	23	27	30	33	36	40	66	98	131	163	196	228	261	293	326
32	4	7	11	14	17	21	24	27	31	34	37	41	68	101	135	168	202	236	269	303	336
33	4	7	11	14	18	21	25	28	32	35	39	42	70	104	139	174	208	243	278	312	347
34	4	8	11	15	18	22	25	29	33	36	40	43	72	108	143	179	215	250	286	322	357
35	4	8	12	15	19	23	26	30	34	37	41	45	74	111	147	184	221	258	294	331	368
36	4	8	12	16	19	23	27	31	35	38	42	46	76	114	152	189	227	265	303	341	378
37	4	8	12	16	20	24	28	32	35	39	43	47	78	117	156	195	234	272	311	350	389
38	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	80	120	160	200	240	280	320	360	399
39	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	46	50	82	123	164	205	246	287	328	369	410
40	5	9	13	17	21	26	30	34	38	42	47	51	84	126	168	210	252	294	336	378	420
45	5	10	15	19	24	29	34	38	43	48	52	57	95	142	189	237	284	331	378	426	473
50	6	11	16	21	27	32	37	42	48	53	58	63	105	158	210	263	315	368	420	473	525
55	6	12	18	24	29	35	41	47	52	58	64	70	116	174	231	289	347	405	462	520	578
60	7	13	19	26	32	38	45	51	57	63	70	76	126	189	252	315	378	441	504	567	630

**Tabla 26.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 175 kV

CFO (kV)		175																			
Flameos/100 km-año		0.72																			
Resistividad Suelo Ω/m		100																			
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	6	9	12	15	18	21	24	26	29
9	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	7	10	13	17	20	23	26	30	33
10	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	8	11	15	18	22	26	29	33	36
11	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	8	12	16	20	24	28	32	36	40
12	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	9	13	18	22	26	31	35	39	44
13	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	10	15	19	24	29	33	38	43	47
14	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	11	16	21	26	31	36	41	46	51
15	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	11	17	22	27	33	38	44	49	54
16	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	12	18	24	29	35	41	47	52	58
17	1	2	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8	13	19	25	31	37	43	49	56	62
18	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	13	20	26	33	39	46	52	59	65
19	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	14	21	28	35	42	48	55	62	69
20	1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	8	9	15	22	29	36	44	51	58	65	72
21	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	9	10	16	23	31	38	46	53	61	69	76
22	1	2	3	4	4	5	6	7	8	8	9	10	16	24	32	40	48	56	64	72	80
23	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	10	17	25	34	42	50	58	67	75	83
24	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	18	26	35	44	52	61	70	78	87
25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	11	18	27	36	45	54	63	72	81	90
26	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	19	29	38	47	57	66	75	85	94
27	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	20	30	39	49	59	69	78	88	98
28	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21	31	41	51	61	71	81	91	101
29	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21	32	42	53	63	74	84	94	105
30	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	22	33	44	54	65	76	87	98	108
31	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	23	34	45	56	67	79	90	101	112
32	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	24	35	47	58	70	81	93	104	116
33	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	14	15	24	36	48	60	72	84	96	107	119
34	2	3	4	5	7	8	9	10	12	13	14	15	25	37	49	62	74	86	98	111	123
35	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16	26	38	51	63	76	89	101	114	126
36	2	3	4	6	7	8	10	11	12	13	15	16	26	39	52	65	78	91	104	117	130
37	2	3	4	6	7	8	10	11	12	14	15	16	27	40	54	67	80	94	107	120	134
38	2	3	5	6	7	9	10	11	13	14	16	17	28	42	55	69	83	96	110	124	137
39	2	3	5	6	8	9	10	12	13	15	16	17	29	43	57	71	85	99	113	127	141
40	2	3	5	6	8	9	11	12	13	15	16	18	29	44	58	72	87	101	116	130	144
45	2	4	5	7	9	10	12	13	15	17	18	20	33	49	65	81	98	114	130	146	162
50	2	4	6	8	9	11	13	15	17	18	20	22	36	54	72	90	108	126	144	162	180
55	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	40	60	80	99	119	139	159	179	198
60	3	5	7	9	11	13	16	18	20	22	24	26	44	65	87	108	130	152	173	195	216

**Tabla 27. .** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 214 kV

CFO (kV)	214																				
Flameos/100 km-año	0.2																				
Resistividad Suelo Ω/m	100																				
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	4	5	6	7	8	8
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	9
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10
11	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11
12	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	12
13	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	4	6	7	8	10	11	12	13	13
14	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	5	6	7	9	10	12	13	14	14
15	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	15
16	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16	16
17	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	4	6	7	9	11	12	14	16	17	17
18	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	4	6	8	9	11	13	15	17	18	18
19	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	4	6	8	10	12	14	16	18	19	19
20	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	20
21	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	21
22	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22	22
23	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	5	7	10	12	14	17	19	21	23	23
24	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	5	8	10	12	15	17	20	22	24	24
25	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	25
26	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	6	8	11	13	16	19	21	24	26	26
27	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	6	9	11	14	17	19	22	25	27	27
28	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	6	9	12	14	17	20	23	26	28	28
29	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	6	9	12	15	18	21	24	27	29	29
30	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	6	9	12	15	18	21	24	27	30	30
31	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	31
32	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	7	10	13	16	20	23	26	29	32	32
33	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	7	10	14	17	20	24	27	30	33	33
34	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	5	7	11	14	17	21	24	28	31	34	34
35	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	5	7	11	14	18	21	25	28	32	35	35
36	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	5	8	11	15	18	22	26	29	33	36	36
37	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	5	8	12	15	19	23	26	30	34	37	37
38	1	1	2	2	2	3	3	4	3	4	5	8	12	16	19	23	27	31	35	38	38
39	1	1	2	2	2	3	3	4	3	4	5	8	12	16	20	24	28	32	36	39	39
40	1	1	2	2	2	3	3	4	3	4	5	8	12	16	20	24	28	32	36	40	40
45	1	1	2	2	3	3	4	4	3	5	6	9	14	18	23	27	32	36	41	45	45
50	1	1	2	2	3	3	4	4	3	5	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50	50
55	1	2	2	3	3	4	4	5	3	6	7	11	17	22	28	33	39	44	50	55	55
60	1	2	2	3	3	4	5	5	3	6	7	8	12	18	24	30	36	42	48	54	60

**Tabla 28.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 250 kV

CFO (kV)	250																					
Flameos/100 km-año	0,08																					
Resistividad Suelo Ω/m	100																					
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																					
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	6
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	6
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	4	5	6	7
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	6	7
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	4	5	6	7	8
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	4	5	6	7	8
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	6	7
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8

**Tabla 29.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 100 Ω/m y CFO de la estructura 290 kV

CFO (kV)	290																				
Flameos/100 km-año	0.01																				
Resistividad Suelo Ω/m	100																				
	Longitud circuito (km)																				
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3

**Tabla 30.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 105 kV

CFO (kV)		105																			
Flameos/100 km-año		20																			
Resistividad Suelo Ω/m		1000																			
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	160	240	320	400	480	560	640	720	800
9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	180	270	360	450	540	630	720	810	900
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
11	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132	220	330	440	550	660	770	880	990	1100
12	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
13	13	26	39	52	65	78	91	104	117	130	143	156	260	390	520	650	780	910	1040	1170	1300
14	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400
15	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500
16	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600
17	17	34	51	68	85	102	119	136	153	170	187	204	340	510	680	850	1020	1190	1360	1530	1700
18	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180	198	216	360	540	720	900	1080	1260	1440	1620	1800
19	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	228	380	570	760	950	1140	1330	1520	1710	1900
20	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
21	21	42	63	84	105	126	147	168	189	210	231	252	420	630	840	1050	1260	1470	1680	1890	2100
22	22	44	66	88	110	132	154	176	198	220	242	264	440	660	880	1100	1320	1540	1760	1980	2200
23	23	46	69	92	115	138	161	184	207	230	253	276	460	690	920	1150	1380	1610	1840	2070	2300
24	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	480	720	960	1200	1440	1680	1920	2160	2400
25	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
26	26	52	78	104	130	156	182	208	234	260	286	312	520	780	1040	1300	1560	1820	2080	2340	2600
27	27	54	81	108	135	162	189	216	243	270	297	324	540	810	1080	1350	1620	1890	2160	2430	2700
28	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280	308	336	560	840	1120	1400	1680	1960	2240	2520	2800
29	29	58	87	116	145	174	203	232	261	290	319	348	580	870	1160	1450	1740	2030	2320	2610	2900
30	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
31	31	62	93	124	155	186	217	248	279	310	341	372	620	930	1240	1550	1860	2170	2480	2790	3100
32	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	640	960	1280	1600	1920	2240	2560	2880	3200
33	33	66	99	132	165	198	231	264	297	330	363	396	660	990	1320	1650	1980	2310	2640	2970	3300
34	34	68	102	136	170	204	238	272	306	340	374	408	680	1020	1360	1700	2040	2380	2720	3060	3400
35	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800	3150	3500
36	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360	396	432	720	1080	1440	1800	2160	2520	2880	3240	3600
37	37	74	111	148	185	222	259	296	333	370	407	444	740	1110	1480	1850	2220	2590	2960	3330	3700
38	38	76	114	152	190	228	266	304	342	380	418	456	760	1140	1520	1900	2280	2660	3040	3420	3800
39	39	78	117	156	195	234	273	312	351	390	429	468	780	1170	1560	1950	2340	2730	3120	3510	3900
40	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
45	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495	540	900	1350	1800	2250	2700	3150	3600	4050	4500
50	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
55	55	110	165	220	275	330	385	440	495	550	605	660	1100	1650	2200	2750	3300	3850	4400	4950	5500
60	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000

**Tabla 31.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 120 kV

CFO (kV)		120																			
Flameos/100 km-año		16																			
Resistividad Suelo Ω/m		1000																			
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	7	13	20	26	32	39	45	52	58	64	71	77	128	192	256	320	384	448	512	576	640
9	8	15	22	29	36	44	51	58	65	72	80	87	144	216	288	360	432	504	576	648	720
10	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	160	240	320	400	480	560	640	720	800
11	9	18	27	36	44	53	62	71	80	88	97	106	176	264	352	440	528	616	704	792	880
12	10	20	29	39	48	58	68	77	87	96	106	116	192	288	384	480	576	672	768	864	960
13	11	21	32	42	52	63	73	84	94	104	115	125	208	312	416	520	624	728	832	936	1040
14	12	23	34	45	56	68	79	90	101	112	124	135	224	336	448	560	672	784	896	1008	1120
15	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
16	13	26	39	52	64	77	90	103	116	128	141	154	256	384	512	640	768	896	1024	1152	1280
17	14	28	41	55	68	82	96	109	123	136	150	164	272	408	544	680	816	952	1088	1224	1360
18	15	29	44	58	72	87	101	116	130	144	159	173	288	432	576	720	864	1008	1152	1296	1440
19	16	31	46	61	76	92	107	122	137	152	168	183	304	456	608	760	912	1064	1216	1368	1520
20	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600
21	17	34	51	68	84	101	118	135	152	168	185	202	336	504	672	840	1008	1176	1344	1512	1680
22	18	36	53	71	88	106	124	141	159	176	194	212	352	528	704	880	1056	1232	1408	1584	1760
23	19	37	56	74	92	111	129	148	166	184	203	221	368	552	736	920	1104	1288	1472	1656	1840
24	20	39	58	77	96	116	135	154	173	192	212	231	384	576	768	960	1152	1344	1536	1728	1920
25	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
26	21	42	63	84	104	125	146	167	188	208	229	250	416	624	832	1040	1248	1456	1664	1872	2080
27	22	44	65	87	108	130	152	173	195	216	238	260	432	648	864	1080	1296	1512	1728	1944	2160
28	23	45	68	90	112	135	157	180	202	224	247	269	448	672	896	1120	1344	1568	1792	2016	2240
29	24	47	70	93	116	140	163	186	209	232	256	279	464	696	928	1160	1392	1624	1856	2088	2320
30	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	480	720	960	1200	1440	1680	1920	2160	2400
31	25	50	75	100	124	149	174	199	224	248	273	298	496	744	992	1240	1488	1736	1984	2232	2480
32	26	52	77	103	128	154	180	205	231	256	282	308	512	768	1024	1280	1536	1792	2048	2304	2560
33	27	53	80	106	132	159	185	212	238	264	291	317	528	792	1056	1320	1584	1848	2112	2376	2640
34	28	55	82	109	136	164	191	218	245	272	300	327	544	816	1088	1360	1632	1904	2176	2448	2720
35	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280	308	336	560	840	1120	1400	1680	1960	2240	2520	2800
36	29	58	87	116	144	173	202	231	260	288	317	346	576	864	1152	1440	1728	2016	2304	2592	2880
37	30	60	89	119	148	178	208	237	267	296	326	356	592	888	1184	1480	1776	2072	2368	2664	2960
38	31	61	92	122	152	183	213	244	274	304	335	365	608	912	1216	1520	1824	2128	2432	2736	3040
39	32	63	94	125	156	188	219	250	281	312	344	375	624	936	1248	1560	1872	2184	2496	2808	3120
40	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320	352	384	640	960	1280	1600	1920	2240	2560	2880	3200
45	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360	396	432	720	1080	1440	1800	2160	2520	2880	3240	3600
50	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
55	44	88	132	176	220	264	308	352	396	440	484	528	880	1320	1760	2200	2640	3080	3520	3960	4400
60	48	96	144	192	240	288	336	384	432	480	528	576	960	1440	1920	2400	2880	3360	3840	4320	4800

**Tabla 32.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 140 kV

CFO (kV)		140																			
Flameos/100 km-año		10																			
Resistividad Suelo Ω/m		1000																			
		Longitud circuito (km)																			
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]																					
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	80	120	160	200	240	280	320	360	400
9	4	9	14	18	23	27	32	36	41	45	50	54	90	135	180	225	270	315	360	405	450
10	4	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
11	4	11	17	22	28	33	39	44	50	55	61	66	110	165	220	275	330	385	440	495	550
12	4	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	120	180	240	300	360	420	480	540	600
13	4	13	20	26	33	39	46	52	59	65	72	78	130	195	260	325	390	455	520	585	650
14	4	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	140	210	280	350	420	490	560	630	700
15	4	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83	90	150	225	300	375	450	525	600	675	750
16	4	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	160	240	320	400	480	560	640	720	800
17	4	17	26	34	43	51	60	68	77	85	94	102	170	255	340	425	510	595	680	765	850
18	4	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	180	270	360	450	540	630	720	810	900
19	4	19	29	38	48	57	67	76	86	95	105	114	190	285	380	475	570	665	760	855	950
20	4	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
21	4	21	32	42	53	63	74	84	95	105	116	126	210	315	420	525	630	735	840	945	1050
22	4	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132	220	330	440	550	660	770	880	990	1100
23	4	23	35	46	58	69	81	92	104	115	127	138	230	345	460	575	690	805	920	1035	1150
24	4	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
25	4	25	38	50	63	75	88	100	113	125	138	150	250	375	500	625	750	875	1000	1125	1250
26	4	26	39	52	65	78	91	104	117	130	143	156	260	390	520	650	780	910	1040	1170	1300
27	4	27	41	54	68	81	95	108	122	135	149	162	270	405	540	675	810	945	1080	1215	1350
28	4	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400
29	4	29	44	58	73	87	102	116	131	145	160	174	290	435	580	725	870	1015	1160	1305	1450
30	4	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500
31	4	31	47	62	78	93	109	124	140	155	171	186	310	465	620	775	930	1085	1240	1395	1550
32	4	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600
33	4	33	50	66	83	99	116	132	149	165	182	198	330	495	660	825	990	1155	1320	1485	1650
34	4	34	51	68	85	102	119	136	153	170	187	204	340	510	680	850	1020	1190	1360	1530	1700
35	4	35	53	70	88	105	123	140	158	175	193	210	350	525	700	875	1050	1225	1400	1575	1750
36	4	36	54	72	90	108	126	144	162	180	198	216	360	540	720	900	1080	1260	1440	1620	1800
37	4	37	56	74	93	111	130	148	167	185	204	222	370	555	740	925	1110	1295	1480	1665	1850
38	4	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	228	380	570	760	950	1140	1330	1520	1710	1900
39	4	39	59	78	98	117	137	156	176	195	215	234	390	585	780	975	1170	1365	1560	1755	1950
40	4	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
45	4	45	68	90	113	135	158	180	203	225	248	270	450	675	900	1125	1350	1575	1800	2025	2250
50	4	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
55	4	55	83	110	138	165	193	220	248	275	303	330	550	825	1100	1375	1650	1925	2200	2475	2750
60	4	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000

**Tabla 33.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 175 kV

CFO (kV)	175																				
Flameos/100 km-año	4																				
Resistividad Suelo Ω/m	1000																				
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	32	48	64	80	96	112	128	144	160
9	2	4	6	8	9	11	13	15	17	18	20	22	36	54	72	90	108	126	144	162	180
10	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	40	60	80	100	120	140	160	180	200
11	3	5	7	9	11	14	16	18	20	22	25	27	44	66	88	110	132	154	176	198	220
12	3	5	8	10	12	15	17	20	22	24	27	29	48	72	96	120	144	168	192	216	240
13	3	6	8	11	13	16	19	21	24	26	29	32	52	78	104	130	156	182	208	234	260
14	3	6	9	12	14	17	20	23	26	28	31	34	56	84	112	140	168	196	224	252	280
15	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	60	90	120	150	180	210	240	270	300
16	4	7	10	13	16	20	23	26	29	32	36	39	64	96	128	160	192	224	256	288	320
17	4	7	11	14	17	21	24	28	31	34	38	41	68	102	136	170	204	238	272	306	340
18	4	8	11	15	18	22	26	29	33	36	40	44	72	108	144	180	216	252	288	324	360
19	4	8	12	16	19	23	27	31	35	38	42	46	76	114	152	190	228	266	304	342	380
20	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	80	120	160	200	240	280	320	360	400
21	5	9	13	17	21	26	30	34	38	42	47	51	84	126	168	210	252	294	336	378	420
22	5	9	14	18	22	27	31	36	40	44	49	53	88	132	176	220	264	308	352	396	440
23	5	10	14	19	23	28	33	37	42	46	51	56	92	138	184	230	276	322	368	414	460
24	5	10	15	20	24	29	34	39	44	48	53	58	96	144	192	240	288	336	384	432	480
25	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
26	6	11	16	21	26	32	37	42	47	52	58	63	104	156	208	260	312	364	416	468	520
27	6	11	17	22	27	33	38	44	49	54	60	65	108	162	216	270	324	378	432	486	540
28	6	12	17	23	28	34	40	45	51	56	62	68	112	168	224	280	336	392	448	504	560
29	6	12	18	24	29	35	41	47	53	58	64	70	116	174	232	290	348	406	464	522	580
30	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	120	180	240	300	360	420	480	540	600
31	7	13	19	25	31	38	44	50	56	62	69	75	124	186	248	310	372	434	496	558	620
32	7	13	20	26	32	39	45	52	58	64	71	77	128	192	256	320	384	448	512	576	640
33	7	14	20	27	33	40	47	53	60	66	73	80	132	198	264	330	396	462	528	594	660
34	7	14	21	28	34	41	48	55	62	68	75	82	136	204	272	340	408	476	544	612	680
35	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	140	210	280	350	420	490	560	630	700
36	8	15	22	29	36	44	51	58	65	72	80	87	144	216	288	360	432	504	576	648	720
37	8	15	23	30	37	45	52	60	67	74	82	89	148	222	296	370	444	518	592	666	740
38	8	16	23	31	38	46	54	61	69	76	84	92	152	228	304	380	456	532	608	684	760
39	8	16	24	32	39	47	55	63	71	78	86	94	156	234	312	390	468	546	624	702	780
40	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	160	240	320	400	480	560	640	720	800
45	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	180	270	360	450	540	630	720	810	900
50	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
55	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132	220	330	440	550	660	770	880	990	1100
60	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200

**Tabla 34.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 214 kV

CFO (kV)		214																			
Flameos/100 km-año		2.3																			
Resistividad Suelo Ω/m		1000																			
DDT [Rayos/km2 x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	1	2	3	4	6	6	7	8	9	10	11	12	19	28	37	46	56	65	74	83	92
9	2	3	4	5	7	7	8	9	10	11	12	13	21	32	42	52	63	73	83	94	104
10	2	3	4	5	7	7	9	10	11	12	13	14	23	35	46	58	69	81	92	104	115
11	2	3	4	6	8	8	9	11	12	13	14	16	26	38	51	64	76	89	102	114	127
12	2	3	5	6	9	9	10	12	13	14	16	17	28	42	56	69	83	97	111	125	138
13	2	3	5	6	9	9	11	12	14	15	17	18	30	45	60	75	90	105	120	135	150
14	2	4	5	7	10	10	12	13	15	17	18	20	33	49	65	81	97	113	129	145	161
15	2	4	6	7	11	11	13	14	16	18	19	21	35	52	69	87	104	121	138	156	173
16	2	4	6	8	12	12	13	15	17	19	21	23	37	56	74	92	111	129	148	166	184
17	2	4	6	8	12	12	14	16	18	20	22	24	40	59	79	98	118	137	157	176	196
18	3	5	7	9	13	13	15	17	19	21	23	25	42	63	83	104	125	145	166	187	207
19	3	5	7	9	14	14	16	18	20	22	25	27	44	66	88	110	132	153	175	197	219
20	3	5	7	10	14	14	17	19	21	23	26	28	46	69	92	115	138	161	184	207	230
21	3	5	8	10	15	15	17	20	22	25	27	29	49	73	97	121	145	170	194	218	242
22	3	6	8	11	16	16	18	21	23	26	28	31	51	76	102	127	152	178	203	228	253
23	3	6	8	11	16	16	19	22	24	27	30	32	53	80	106	133	159	186	212	239	265
24	3	6	9	12	17	17	20	23	25	28	31	34	56	83	111	138	166	194	221	249	276
25	3	6	9	12	18	18	21	23	26	29	32	35	58	87	115	144	173	202	230	259	288
26	3	6	9	12	18	18	21	24	27	30	33	36	60	90	120	150	180	210	240	270	299
27	4	7	10	13	19	19	22	25	28	32	35	38	63	94	125	156	187	218	249	280	311
28	4	7	10	13	20	20	23	26	29	33	36	39	65	97	129	161	194	226	258	290	322
29	4	7	11	14	21	21	24	27	31	34	37	41	67	101	134	167	201	234	267	301	334
30	4	7	11	14	21	21	25	28	32	35	38	42	69	104	138	173	207	242	276	311	345
31	4	8	11	15	22	22	25	29	33	36	40	43	72	107	143	179	214	250	286	321	357
32	4	8	12	15	23	23	26	30	34	37	41	45	74	111	148	184	221	258	295	332	368
33	4	8	12	16	23	23	27	31	35	38	42	46	76	114	152	190	228	266	304	342	380
34	4	8	12	16	24	24	28	32	36	40	44	47	79	118	157	196	235	274	313	352	391
35	5	9	13	17	25	25	29	33	37	41	45	49	81	121	161	202	242	282	322	363	403
36	5	9	13	17	25	25	29	34	38	42	46	50	83	125	166	207	249	290	332	373	414
37	5	9	13	18	26	26	30	35	39	43	47	52	86	128	171	213	256	298	341	383	426
38	5	9	14	18	27	27	31	35	40	44	49	53	88	132	175	219	263	306	350	394	437
39	5	9	14	18	27	27	32	36	41	45	50	54	90	135	180	225	270	314	359	404	449
40	5	10	14	19	28	28	33	37	42	46	51	56	92	138	184	230	276	322	368	414	460
45	6	11	16	21	32	32	37	42	47	52	57	63	104	156	207	259	311	363	414	466	518
50	6	12	18	23	35	35	41	46	52	58	64	69	115	173	230	288	345	403	460	518	575
55	7	13	19	26	38	38	45	51	57	64	70	76	127	190	253	317	380	443	506	570	633
60	7	14	21	28	42	42	49	56	63	69	76	83	138	207	276	345	414	483	552	621	690

**Tabla 35.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 250 kV

CFO (kV)		250																			
Flameos/100 km-año		1.2																			
Resistividad Suelo Ω/m		1000																			
		Longitud circuito (km)																			
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	10	15	20	24	29	34	39	44	48
9	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	11	17	22	27	33	38	44	49	54
10	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	7	8	12	18	24	30	36	42	48	54	60
11	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	14	20	27	33	40	47	53	60	66
12	1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	8	9	15	22	29	36	44	51	58	65	72
13	1	2	3	4	4	5	6	7	8	8	9	10	16	24	32	39	47	55	63	71	78
14	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	17	26	34	42	51	59	68	76	84
15	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	11	18	27	36	45	54	63	72	81	90
16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	20	29	39	48	58	68	77	87	96
17	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21	31	41	51	62	72	82	92	102
18	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	22	33	44	54	65	76	87	98	108
19	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	23	35	46	57	69	80	92	103	114
20	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	14	15	24	36	48	60	72	84	96	108	120
21	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	16	26	38	51	63	76	89	101	114	126
22	2	3	4	6	7	8	10	11	12	14	15	16	27	40	53	66	80	93	106	119	132
23	2	3	5	6	7	9	10	12	13	14	16	17	28	42	56	69	83	97	111	125	138
24	2	3	5	6	8	9	11	12	13	15	16	18	29	44	58	72	87	101	116	130	144
25	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	17	18	30	45	60	75	90	105	120	135	150
26	2	4	5	7	8	10	11	13	15	16	18	19	32	47	63	78	94	110	125	141	156
27	2	4	5	7	9	10	12	13	15	17	18	20	33	49	65	81	98	114	130	146	162
28	2	4	6	7	9	11	12	14	16	17	19	21	34	51	68	84	101	118	135	152	168
29	2	4	6	7	9	11	13	14	16	18	20	21	35	53	70	87	105	122	140	157	174
30	2	4	6	8	9	11	13	15	17	18	20	22	36	54	72	90	108	126	144	162	180
31	2	4	6	8	10	12	14	15	17	19	21	23	38	56	75	93	112	131	149	168	186
32	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	39	58	77	96	116	135	154	173	192
33	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	40	60	80	99	119	139	159	179	198
34	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	41	62	82	102	123	143	164	184	204
35	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	24	26	42	63	84	105	126	147	168	189	210
36	3	5	7	9	11	13	16	18	20	22	24	26	44	65	87	108	130	152	173	195	216
37	3	5	7	9	12	14	16	18	20	23	25	27	45	67	89	111	134	156	178	200	222
38	3	5	7	10	12	14	16	19	21	23	26	28	46	69	92	114	137	160	183	206	228
39	3	5	8	10	12	15	17	19	22	24	26	29	47	71	94	117	141	164	188	211	234
40	3	5	8	10	12	15	17	20	22	24	27	29	48	72	96	120	144	168	192	216	240
45	3	6	9	11	14	17	19	22	25	27	30	33	54	81	108	135	162	189	216	243	270
50	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	60	90	120	150	180	210	240	270	300
55	4	7	10	14	17	20	24	27	30	33	37	40	66	99	132	165	198	231	264	297	330
60	4	8	11	15	18	22	26	29	33	36	40	44	72	108	144	180	216	252	288	324	360

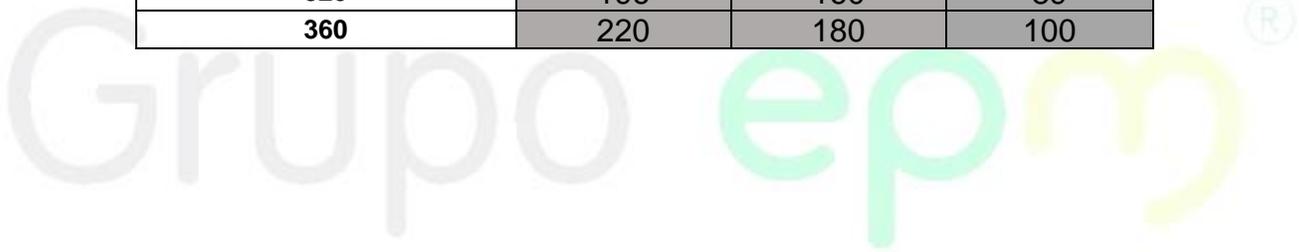
**Tabla 36.** Flameos/año en función de la DDT, la longitud del circuito, resistividad de 1000 Ω/m y CFO de la estructura 290 kV

CFO (kV)	290																				
Flameos/100 km-año	0.58																				
Resistividad Suelo Ω/m	1000																				
DDT [Rayos/km <sup>2</sup> x Año]	Longitud circuito (km)																				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100	150	200	250	300	350	400	450	500
8	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	5	7	10	12	14	17	19	21	24
9	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	6	8	11	14	16	19	21	24	27
10	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	6	9	12	15	18	21	24	27	29
11	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	7	10	13	16	20	23	26	29	32
12	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	7	11	14	18	21	25	28	32	35
13	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	8	12	16	19	23	27	31	34	38
14	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41
15	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	9	14	18	22	27	31	35	40	44
16	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	10	14	19	24	28	33	38	42	47
17	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50
18	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	11	16	21	27	32	37	42	47	53
19	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	7	7	12	17	23	28	34	39	45	50	56
20	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	12	18	24	29	35	41	47	53	58
21	1	2	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8	13	19	25	31	37	43	49	55	61
22	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	13	20	26	32	39	45	52	58	64
23	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	14	21	27	34	41	47	54	61	67
24	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	14	21	28	35	42	49	56	63	70
25	1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	8	9	15	22	29	37	44	51	58	66	73
26	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	9	10	16	23	31	38	46	53	61	68	76
27	1	2	3	4	4	5	6	7	8	8	9	10	16	24	32	40	47	55	63	71	79
28	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	9	10	17	25	33	41	49	57	65	74	82
29	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	17	26	34	43	51	59	68	76	85
30	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	18	27	35	44	53	61	70	79	87
31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	11	18	27	36	45	54	63	72	81	90
32	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	19	28	38	47	56	65	75	84	93
33	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	20	29	39	48	58	67	77	87	96
34	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	20	30	40	50	60	70	79	89	99
35	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21	31	41	51	61	72	82	92	102
36	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21	32	42	53	63	74	84	94	105
37	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	22	33	43	54	65	76	86	97	108
38	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	23	34	45	56	67	78	89	100	111
39	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	23	34	46	57	68	80	91	102	114
40	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	24	35	47	58	70	82	93	105	116
45	2	3	4	6	7	8	10	11	12	14	15	16	27	40	53	66	79	92	105	118	131
50	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	16	18	29	44	58	73	87	102	116	131	145
55	2	4	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	32	48	64	80	96	112	128	144	160
60	2	4	6	7	9	11	13	14	16	18	20	21	35	53	70	87	105	122	140	157	174

**Tabla 37.** Flameos/año instalando DPS en los circuitos cada 600 m, 450 m o 300 m en relación con descargas indirectas

Espaciamiento entre DPS	600 m	450 m	300 m
Flameos-año (inicial)	Flameos-años (final)		
11	7	6	3
12	7	6	3
13	8	7	4
14	9	7	4
15	9	8	4
16	10	8	4
17	10	9	5
18	11	9	5
19	12	10	5
20	12	10	6
21	13	11	6
22	13	11	6
23	14	12	6
24	15	12	7
25	15	13	7
26	16	13	7
27	17	14	8
28	17	14	8
29	18	15	8
30	18	15	8
31	19	16	9
32	20	16	9
33	20	17	9
34	21	17	9
35	21	18	10
36	22	18	10
37	23	19	10
38	23	19	11
39	24	20	11
40	24	20	11
41	25	21	11
42	26	21	12
43	26	22	12
44	27	22	12
45	28	23	13
50	31	25	14
55	34	28	15
60	37	30	17
65	40	33	18
70	43	35	19
75	46	38	21
80	49	40	22
85	52	43	24
90	55	45	25
95	58	48	26
100	61	50	28
105	64	53	29
110	67	55	31

<b>Espaciamiento entre DPS</b>	<b>600 m</b>	<b>450 m</b>	<b>300 m</b>
<b>Flameos-año (inicial)</b>	<b>Flameos-años (final)</b>		
115	70	58	32
120	73	60	33
125	76	63	35
130	79	65	36
135	83	68	38
140	86	70	39
145	89	73	40
150	92	75	42
155	95	78	43
160	98	80	44
165	101	83	46
170	104	85	47
175	107	88	49
180	110	90	50
190	116	95	53
200	122	100	56
240	147	120	67
280	171	140	78
320	196	160	89
360	220	180	100



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
		<b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 60 de 61

## ANEXO III SUBREGIONES Y MUNICIPIOS DE REFERENCIA POR DEPARTAMENTO CON NIVEL DE CONTAMINACIÓN C5

**Tabla 38.** Subregiones y municipios de referencia para Antioquia con nivel de contaminación C5

Subregión	Municipio	Observación
Urabá	Arboletes	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio entre 14 y 15 km del mar) de Norte a Sur
	San Juan de Urabá	-----
	Necoclí	Zonas ubicadas desde el Centro hacia el Occidente (franja costera), de Norte a Sur
	Turbo	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio de 11 km del mar), desde el norte hasta Puerto César, además del extremo límite con el Departamento del Chocó, conocido como Bocas del Atrato.

**Tabla 39.** Subregiones y municipios de referencia para Córdoba con nivel de contaminación C5

Subregión	Municipio	Observación
Costanera	Los Córdoba	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio entre 12 y 13 km del mar) de Norte a Sur
	Moñitos	-----
	Puerto Escondido	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio de 11 km del mar) de Norte a Sur
	San Antero	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio de 7 km del mar) de Norte a Sur
	San Bernardo del Viento	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio de 8 km del mar) de Norte a Sur

**Tabla 40.** Subregiones y municipios de referencia para Sucre con nivel de contaminación C5

Subregión	Municipio	Observación
Morrosquillo	Coveñas	-----
	Tolú	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio entre 11 y 15 km del mar) de Norte a Sur
	San Onofre	Zonas ubicadas en la franja costera (con ancho promedio entre 11 y 15 km del mar) de Norte a Sur

**Tabla 41.** Subregiones y municipios de referencia para Bolívar con nivel de contaminación C5

Subregión	Municipio	Observación
Dique	Arjona	Zonas ubicadas desde el Centro hasta el Occidente límite con Turbaco, de Norte a Sur
	Cartagena de Indias	-----
	Clemencia	-----
	Santa Catalina	-----
	Santa Rosa de Lima	-----
	Turbaco	-----
	Turbaná	-----

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS</b>	<b>RA8- 022</b>	REV. <b>1</b>
 <b>REQUISITOS PARA REDES AÉREAS EN ZONAS ESPECIALES</b>			
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS			PÁGINA: 61 de 61