



Universidad del Zulia  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Rama Estudiantil IEEE - LUZ



**Seminario**

# **PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS EN INSTALACIONES PETROLERAS**

**Presentado por:**  
Ing. Omar Graterol  
CIV: 16518

Maracaibo, Noviembre de 2019



1. Objetivo
2. Introducción
3. Antecedentes por descargas atmosféricas (D.A.) en la Industria Petrolera (I.P.) Venezolana
4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas
5. Normas aplicables
6. Sistemas de protección contra rayos (SPCR)
7. Aplicaciones en la industria petrolera
8. Experiencias particulares
9. Conclusiones y recomendaciones

# 1. Objetivo

# 1. Objetivo

- ▶ Compartir información y experiencias que impulsen la comprensión de las descargas atmosféricas, como fenómeno natural, su formación, impactos y efectos de las mismas, principalmente en instalaciones petroleras, como una rama del conocimiento que nos corresponde dentro del campo de la Ingeniería Eléctrica.
- ▶ Promover el conocimiento sobre sistemas de protección contra descargas atmosféricas, e introducir herramientas, conceptos y procedimientos de análisis que faciliten el diseño de sistemas de protección contra descargas atmosféricas en instalaciones petroleras

## 2. Introducción

## 2. Introducción

- Las **descargas atmosféricas**, son un fenómeno natural de origen ambiental, y aleatorio, por lo cual su estudio esta mas orientado al campo de la “Física Atmosférica”
- El diseño de los sistemas de protección y los efectos de sus impactos están asociados al campo de la ingeniería eléctrica, por lo cual como parte de nuestra formación, se hace importante su comprensión y análisis

## 2. Introducción (Cont.)

### Efectos directos

- **Potenciales incendios** por efecto de la circulación de las altas corrientes de las descargas atmosféricas y la formación de arcos en presencia de materiales combustibles o inflamables
- Las descargas atmosféricas, han sido causas principales de muchos de los incendios ocurridos en la industria petrolera, y la protección de esas instalaciones son el objetivo principal de esta presentación

### Otros efectos

- Diferencias de potencial electrostático, en estructuras altas, que puedan originar descargas secundarias.
  - Pulsos electromagnéticos transitorios, originados por la circulación de la corriente de la descarga, en todo su radio de acción, pueden originar voltajes inducidos e interferencias en sistemas eléctricos y electrónicos
  - Altos potenciales originados por la circulación de corrientes de la descarga, por el sistema de tierra
- Todos estos efectos pueden originar sobre voltajes transitorios

### **3. Antecedentes por descargas atmosféricas (D.A.) en la industria petrolera (I.P.) Venezolana**

# 3. Antecedentes por D.A. en la I.P. Venezolana

## Incendios de tanques en la Refinería de Amuay

Como antecedentes de incendios de tanques atribuidos a descargas atmosféricas se destaca la década de los años 80, especialmente en la refinería de Amuay.

Accidente fatal con 1 trabajador muerto y 4 lesionados

AÑO	TECHO FLOTANTE	TECHO CONICO	COSTO ESTIMADO
1969	TK - 5 (CRUDO)	--	SIN DATA
1970	TK - 36 (NAFTA)	--	SIN DATA
1971	TK - 82 (NAFTA)	--	300 MBs
1984	TK - 201 (NAFTA)	--	1220 MBs (8,7 MUSD)
1987	TK - 200 (NAFTA)	--	500 MBs (17,4 MUSD)
1988	TK - 200 (NAFTA) TK - 36 (NAFTA)	TK-14 (CRUDO) TK - 9 (CRUDO) (Perdida total)	50000 MBs (1,4 MMUSD)

Nota: Tomado de la presentación para la justificación del proyecto de instalación de protecciones contra descargas atmosféricas en Patio de Tanques Amuay (año 1991)

# 3. Antecedentes por D.A. en la I.P. Venezolana

## Otros Incendios de tanques

Además de los incendios de tanques en la refinería de Amuay, también se han reportado incendios en otras áreas de la I.P. Venezolana, entre los cuales se destacan:

1. Incendio en patio de tanques “Mata R” (Año 1996) (Tanques de techo cónico)
2. Incendio de tanque en la refinería el Chaure (Año 2001) (Tanque de techo Flotante)
3. Incendio de tanque Tk-3 en Mene Grande sector K-15 (Año 2016) (Tanque de techo cónico)



Solo como muestra referencial, parcial (Recopilados por OAG)

# 4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas

*Definiciones básicas*

# Definiciones básicas

Rayo (Lightning stroke)	Descarga eléctrica de origen atmosférico (Descarga atmosférica) que contiene como parte de su proceso de desarrollo, un relámpago que se puede observar entre nube y tierra
Relámpago a la tierra (Lightning flash to earth)	Descarga eléctrica de origen atmosférico (Descarga atmosférica) entre la nube y la tierra, que emite destellos de alta intensidad, y consiste en uno o más eventos de flujo masivo de cargas
Trueno (Thunder)	Un fuerte sonido o un ruido ensordecedor profundo causado por la rápida expansión de los gases atmosféricos que se calientan repentinamente por un relámpago
Destello hacia abajo (Downward flash)	Relámpago iniciado por un líder precursor o carga descendente desde la nube a la superficie de la tierra o a una estructura conectada a tierra
Destello hacia arriba (Upward flash)	Relámpago iniciado por un líder precursor o carga ascendente desde la superficie de la tierra, o desde una estructura conectada a tierra, en dirección a la nube
Rayos múltiples (Multiple lightning strokes)	Relámpago que consiste en un promedio de 3-4 eventos, con un intervalo de tiempo típico entre ellos de unos 50 ms
Punto de impacto (Point of strike)	Punto donde un rayo golpea la tierra o un objeto sobresaliente, por ejemplo, estructura, (Sistema de protección contra el rayo (SPCR), servicio, árbol, etc.) NOTA: Un rayo puede tener más de un punto de impacto
Corriente de rayo (Lightning current)	Corriente del rayo o de la descarga atmosférica, que fluye en el punto de impacto
Valor pico (Peak value)	Valor pico, de cresta o máximo de la corriente del rayo

Fuente: IEC 62305-1 Ed. 1.0: Protection against lightning – Part 1: General principles y NTF 599-1 :2013 –Fondonorma – Adaptado por OAG

# Definiciones básicas

Rayo (Lightning stroke)	Descarga eléctrica de origen atmosférico (Descarga atmosférica) que contiene como parte de su proceso de desarrollo, un relámpago que se puede observar entre nube y tierra
Relámpago a la tierra (Lightning flash to earth)	Descarga eléctrica de origen atmosférico (Descarga atmosférica) entre la nube y la tierra, que emite destellos de alta intensidad, y consiste en uno o más eventos de flujo masivo de cargas
Trueno (Thunder)	Un fuerte sonido o un ruido ensordecedor profundo causado por la rápida expansión de los gases atmosféricos que se calientan repentinamente por un relámpago
Destello hacia abajo (Downward flash)	Relámpago iniciado por un líder precursor o carga descendente desde la nube a la superficie de la tierra o a una estructura conectada a tierra
Destello hacia arriba (Upward flash)	Relámpago iniciado por un líder precursor o carga ascendente desde la superficie de la tierra, o desde una estructura conectada a tierra, en dirección a la nube
Rayos múltiples (Multiple lightning strokes)	Relámpago que consiste en un promedio de 3-4 eventos, con un intervalo de tiempo típico entre ellos de unos 50 ms
Punto de impacto (Point of strike)	Punto donde un rayo golpea la tierra o un objeto sobresaliente, por ejemplo, estructura, (Sistema de protección contra el rayo (SPCR), servicio, árbol, etc.) NOTA: Un rayo puede tener más de un punto de impacto
Corriente de rayo (Lightning current)	Corriente del rayo o de la descarga atmosférica, que fluye en el punto de impacto
Valor pico (Peak value)	Valor pico, de cresta o máximo de la corriente del rayo



Fuente: IEC 62305-1 Ed. 1.0: Protection against lightning – Part 1: General principles y NTF 599-1 :2013 –Fondonorma – Adaptado por OAG



# Definiciones básicas

Sistema de protección contra rayos - SPCR (Lightning protection system - LPS)	Sistema completo de protección contra el rayo (SPCR), utilizado para reducir el daño físico debido a los rayos que puedan impactar a una estructura
Sistema externo de protección contra rayos (External lightning protection system)	Parte del SPCR que consiste en una punta de captación aérea (Parrayo) o un sistema de terminación de aéreo, un sistema de bajante y un sistema de puesta a tierra
Sistema interno de protección contra rayos (Internal lightning protection system)	Parte del SPCR que consiste en uniones equipotenciales de estructuras o equipos, para igualar los potenciales derivados de la circulación de corriente de rayos y / o aislamiento eléctrico del SPCR externo
Punta de captación aérea / Pararrayo (Air-termination system)	Parte de un SPCR externo formado por elementos metálicos tales como varillas, mallas catenarias conductoras destinados a atraer o interceptar el rayo
Bajante o conductor bajante (Down-conductor system)	Parte de un SPCR externo destinado a conducir la corriente del rayo desde la punta de captación aérea, hasta el terminal de puesta a tierra, o sistema de tierra dedicado
Sistema de puesta a tierra: Earth-termination system)	Parte de un SPCR externo cuya misión es conducir y dispersar la corriente del rayo en el terreno
Conexión equipotencial del un SPCR o puentes (Lightning equipotential bonding)	Interconexión de las partes metálicas separadas de un sistema de protección contra rayos (SPCR), realizada mediante conexiones conductoras directas o dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias con el objetivo de reducir las diferencias de potencial producidas por la corriente del rayo

Fuente: IEC 62305-1 Ed. 1.0: Protection against lightning – Part 1: General principles y NTF 599-1 :2013 –Fondonorma – Adaptado por OAG

# 4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas

*Formación de nubes de tormentas*

# Formación de nubes de tormenta



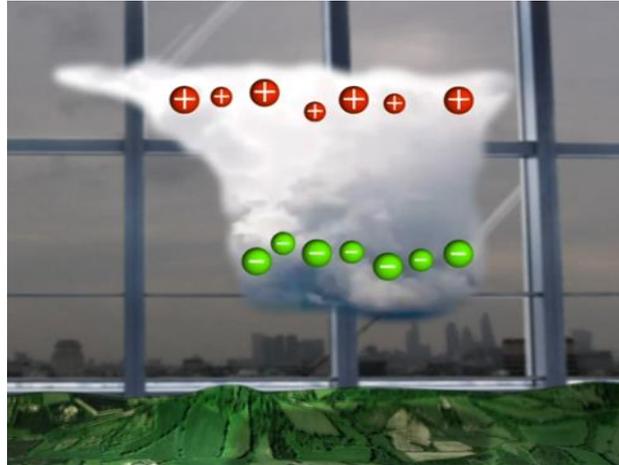
En condiciones, normales, existe un campo eléctrico de aprox. 0 a 30 V/m cerca a la superficie de la tierra



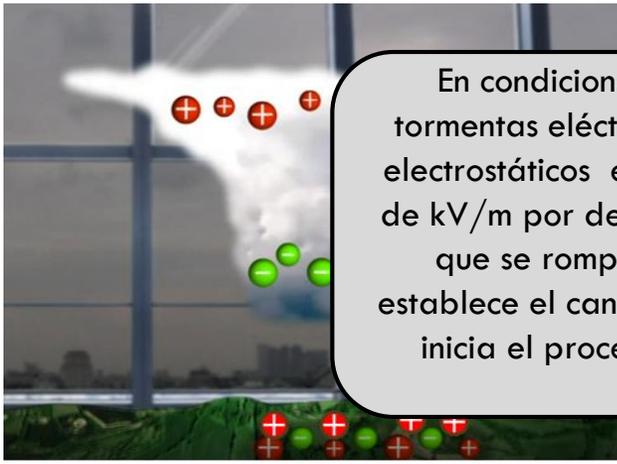
Intercambio de energía, origina partículas de aire caliente, mas livianas, y ascienden para iniciar el proceso de formación de las nubes Nubes, las cuales por diferencia de temperatura, originan movimiento de partículas de aire y cristales de hielo

En este proceso, una nube puede alcanzar hasta 7.500 metros de altitud, según datos promedio. La parte inferior de la nube, se puede ubicar entre 1.000 y 2.000 m de altura, según las condiciones de presión y vientos. Cubren áreas del terreno entre 6 y 10 km de radio

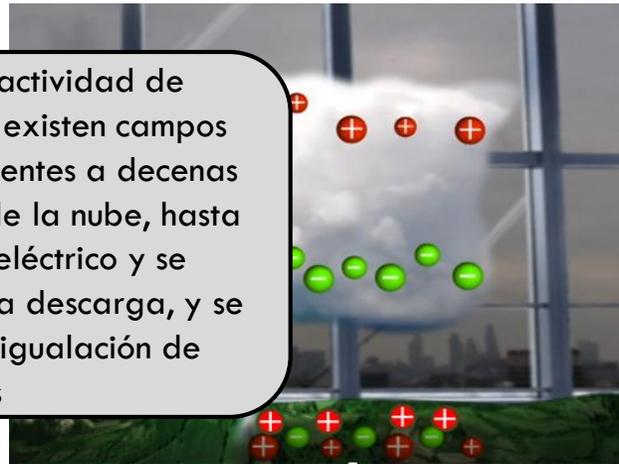
# Formación de nubes de tormenta



Separación de cargas a lo interno de la nube, que inicia la formación de potenciales electrostáticos dentro de la nube y entre nube y tierra



En condiciones, de actividad de tormentas eléctricas, , existen campos electrostáticos equivalentes a decenas de kV/m por debajo de la nube, hasta que se rompe el dieléctrico y se establece el canal de la descarga, y se inicia el proceso de igualación de cargas

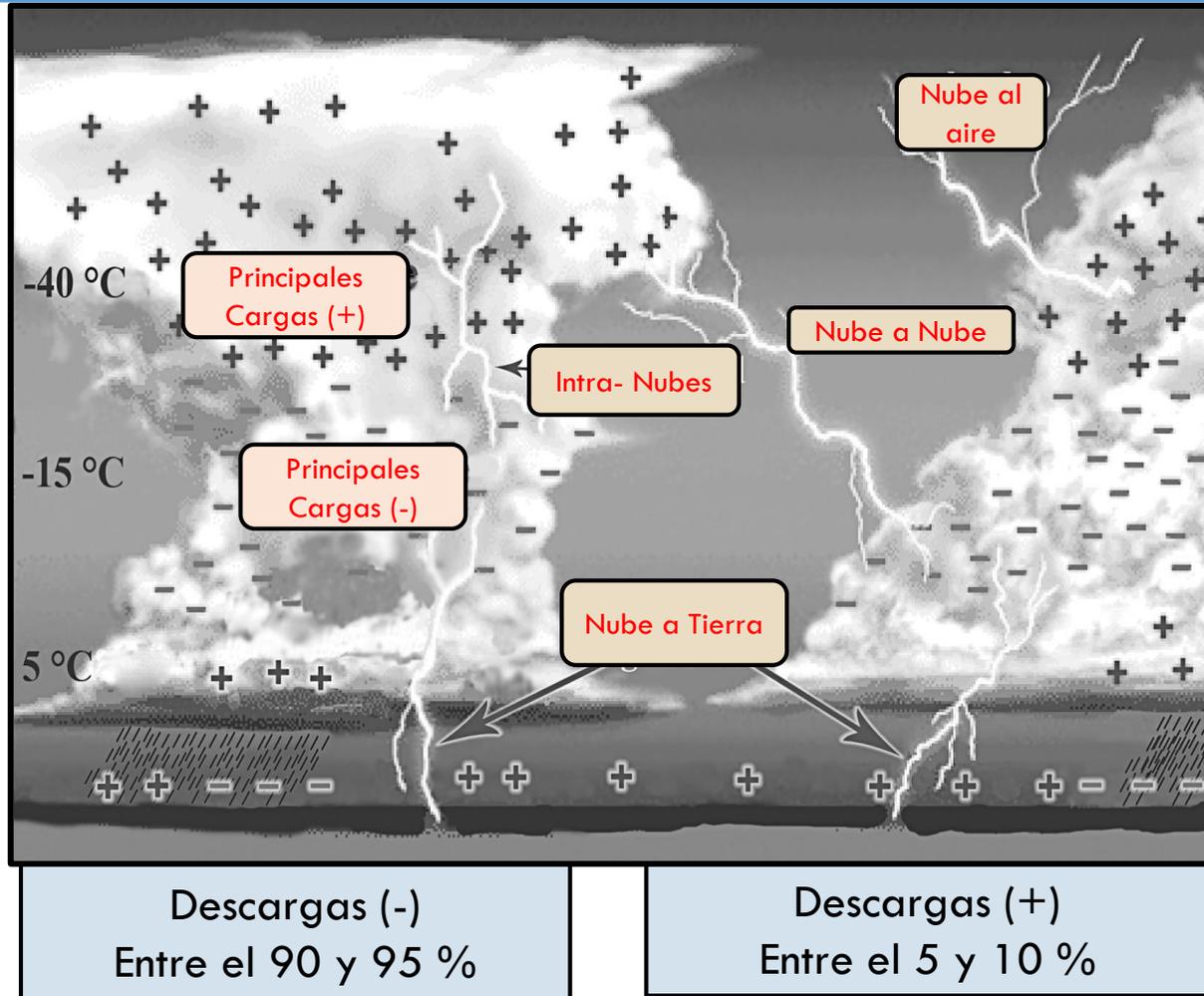


Formación de cargas reflejadas debajo de la nube, de signo opuesto que aumentan el gradiente de potencial entre nube y tierra, con campos eléctricos capaces de romper el dieléctrico del aire exterior y crean el camino para la descarga.

# 4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas

*Tipos de descargas*

# Tipos de descargas



Las descargas de mayor interés son las descargas Nube-Tierra, conocidas como “Rayo”. Son las de mayor riesgo por el efecto de sus impactos en la superficie de la tierra y las diferentes instalaciones que pueden ser afectadas. Las descargas entre nubes, e intra-nubes, se conocen como “Relámpagos”

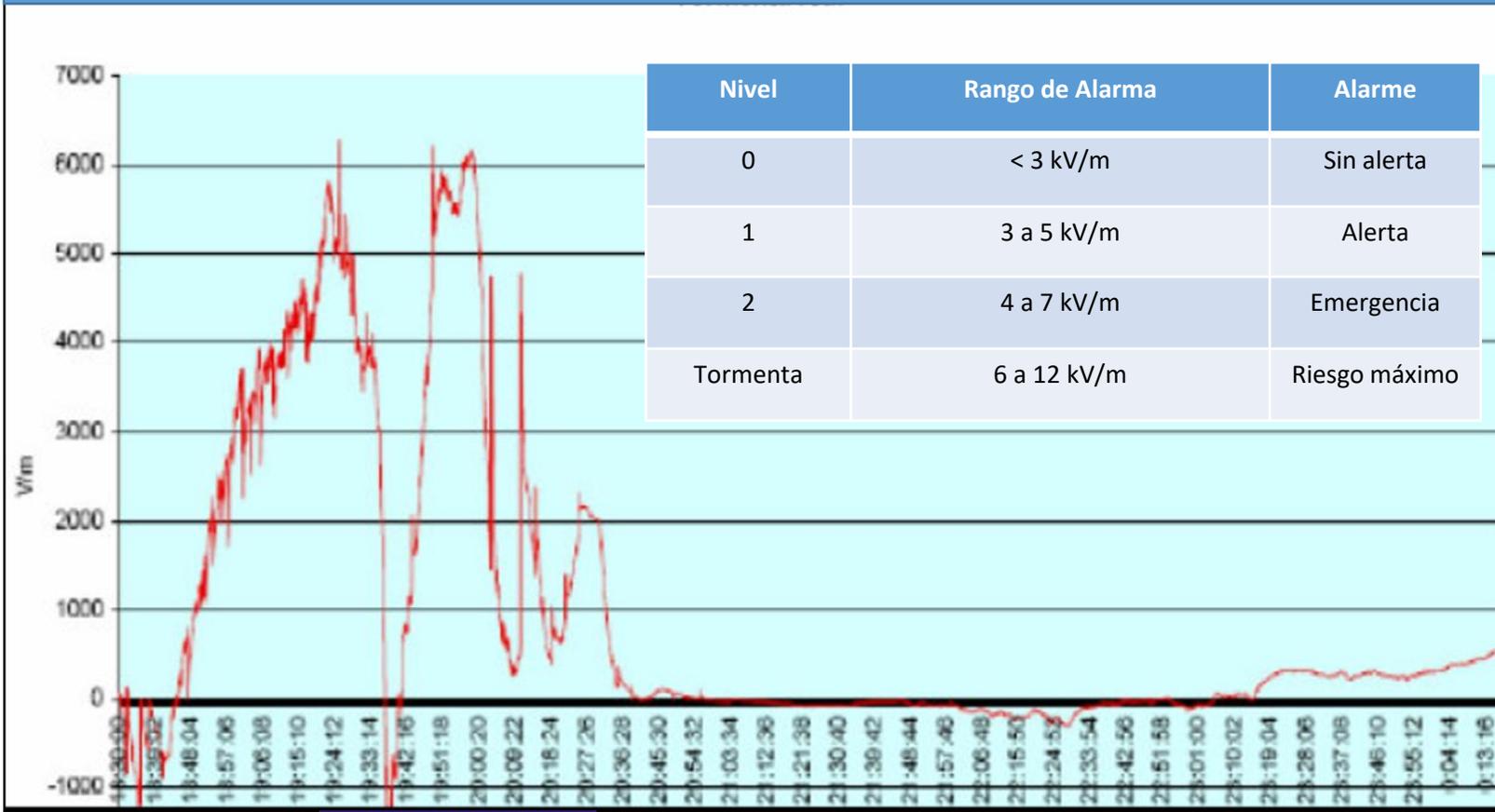
Fuente: The art and science of lightning protection By Martin Uman - 2008 - CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS - Cambridge, New York

# **4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas**

*Registros de campo eléctrico de actividad de tormenta*

# Registros de campo eléctrico de tormenta

Mediciones reales del campo eléctrico durante una tormenta



Evidencias de la variación y dinámica del campo eléctrico registrado según mediciones de pruebas de equipo de medición y registro según DETECTOR DE TORMENTAS AT-STORM.

Se puede ver un tiempo de duración de la tormenta de aproximadamente 2 horas. Sin embargo el promedio de duración referido en varios documentos es de 45 min. El rango de medición de estos equipos es hasta 30 kV.

# 4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas

*Proceso típico de una descarga atmosférica*

*Distancia de impacto y áreas de protección de un SPCR*

# Proceso típico de una descarga atmosférica



## Proceso aleatorio y transitorio para el desarrollo de la descarga

1. Paso o salto inicial del “Líder Precursor Bajando” (1 ms)
2. Pasos sucesivos de avance del “Líder Precursor Bajando” , entre 1,2 y 19 ms
3. Contacto con carga o líder precursor subiendo a los 20 ms
4. Entre 20.1 y 20.2 ms, primeras avalanchas de cargas de retorno (

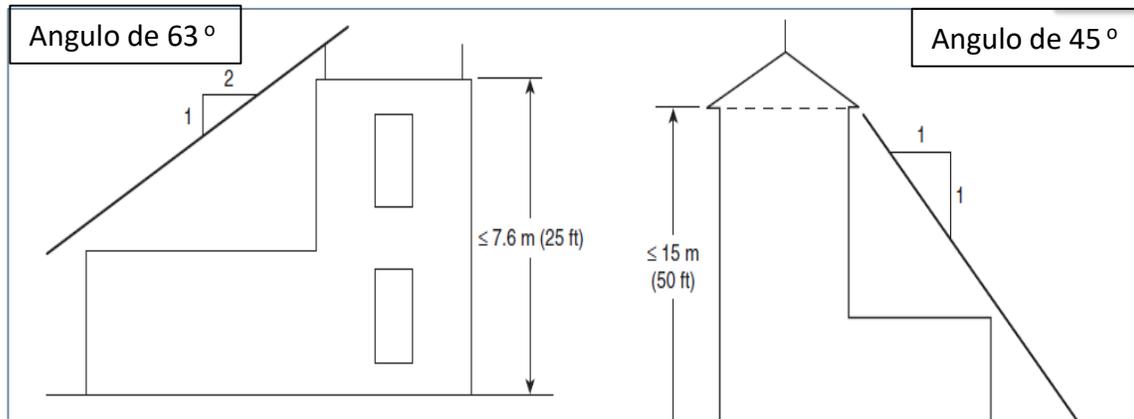
**Queda establecido el punto de impacto, y el radio del ultimo salto, o radio de la esfera ficticia (r), que depende de la corriente de la descarga (I) en kA, y que es la base del modelo “Electrogeométrico o de la esfera rodante).**

$$r = 10 * I^{0,65} \text{ (m)} \text{ ----- Formula A-1 NTF 599-1}$$

# Distancia de impacto y área de protección

## Cono de protección (Modelo del ángulo)

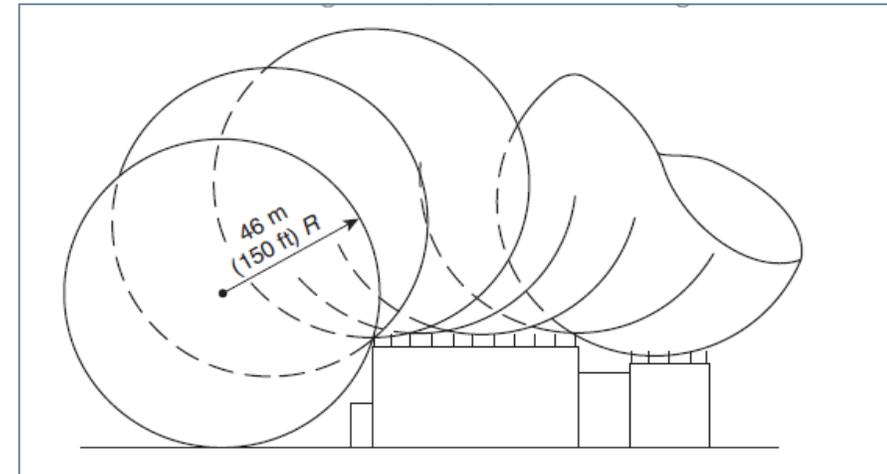
1. Método basado en el ángulo de protección, que forma la vertical, o dirección de la “Punta de Captación”, con la línea que define el área de alcance.
2. En algunos estándares el ángulo de protección es variable y depende de la altura de la estructura.



Fuente: NFPA 780 Sección 4.7

## Modelo electro - geométrico (Esfera rodante)

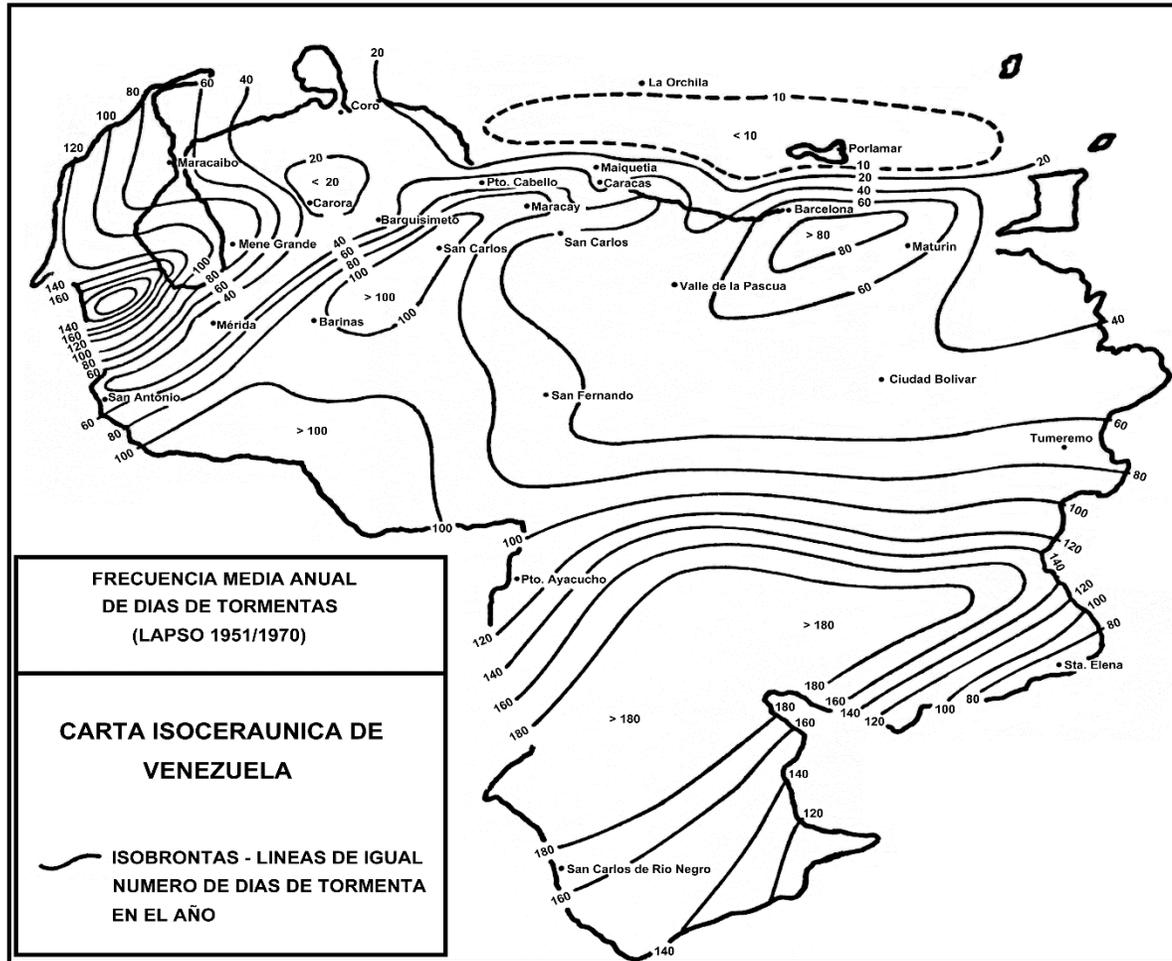
1. Éste método aplica una esfera rodando, de radio igual a la distancia de impacto (Equivale al último salto del líder o precursor bajando).
2. La IEC 63205, define 4 niveles de protección, basados en la  $I_{pk}$ , y por consecuencia en la distancia de impacto o radio de la esfera.



# 4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas

*Nivel ceraúnico y densidad de descargas*

# Nivel ceraúnico y densidad de descargas



Mapa de Días de tormenta año referido en el Anexo A la norma NTF -599, - 2013, donde se sugiere que al no tener la densidad de descargas por año por km<sup>2</sup>, se puede calcular según la siguiente formula (A<sub>1</sub> de la norma):

$$N_g = 0,05 TD^{0,73} \text{ (Descargas km}^2\text{/Año)}$$

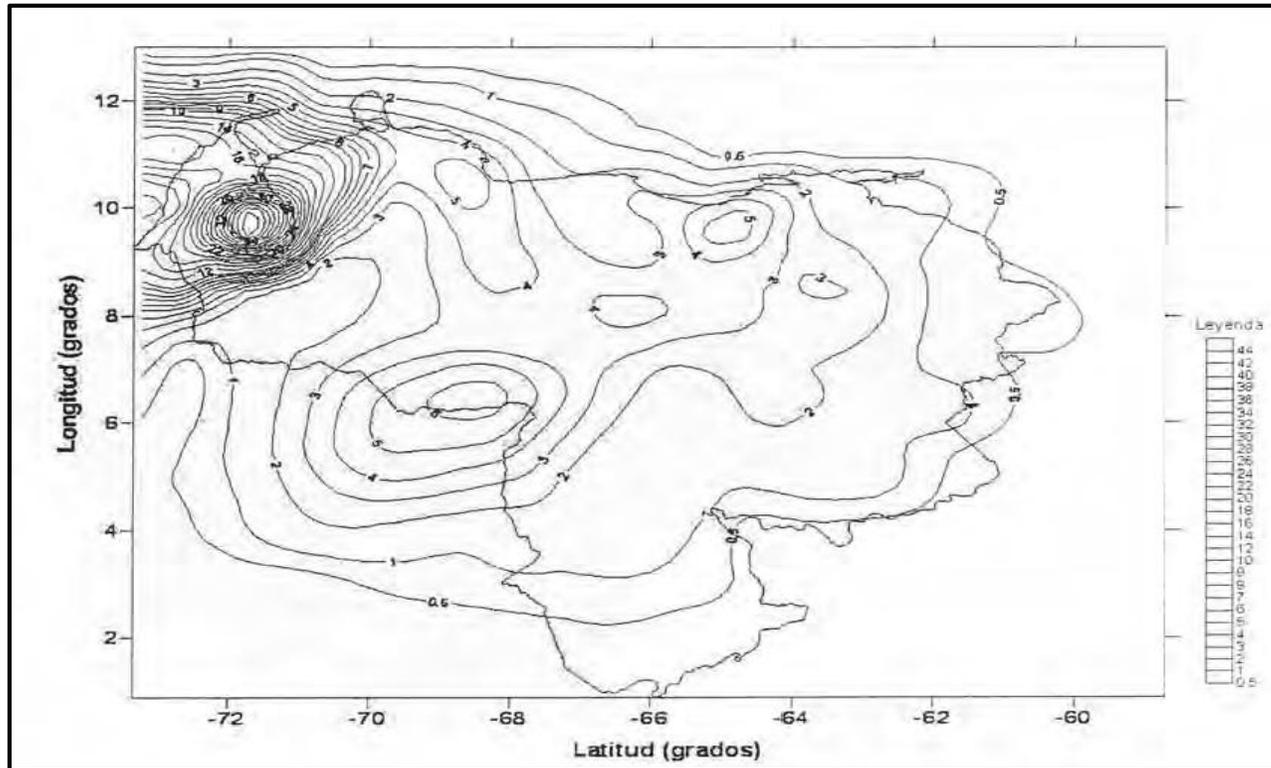
**Formula solo referencial, no refleja los resultados esperados para regiones como el Zulia, en la cual se ha calculado una densidad de 10 a 15 Desc.x km<sup>2</sup>/año., según mapa de densidad de la misma norma**

De ser necesario efectuar este calculo, usar la formula internacional de Anderson, que se indica a continuación:

$$N_g = 0,04 TD^{1,25}$$

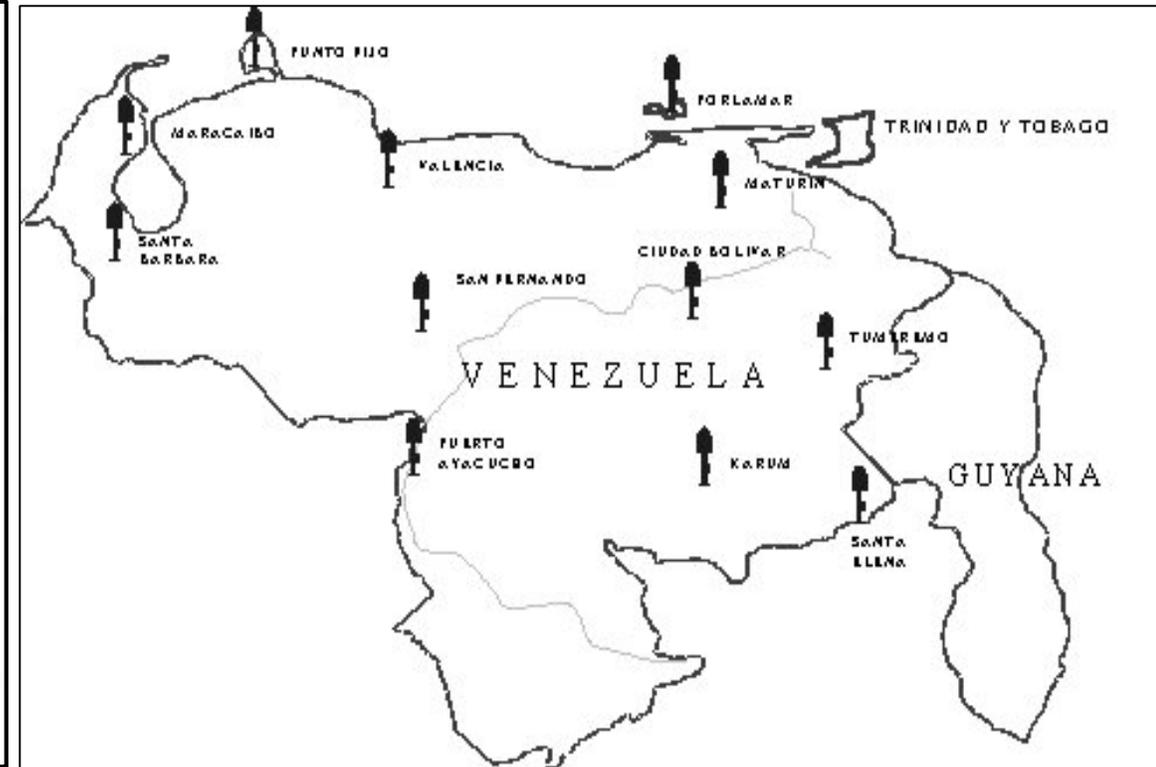
# Nivel ceraúnico y densidad de descargas

Mapa de densidad de descargar atmosféricas – Venezuela – Según NTF-599 - 2013



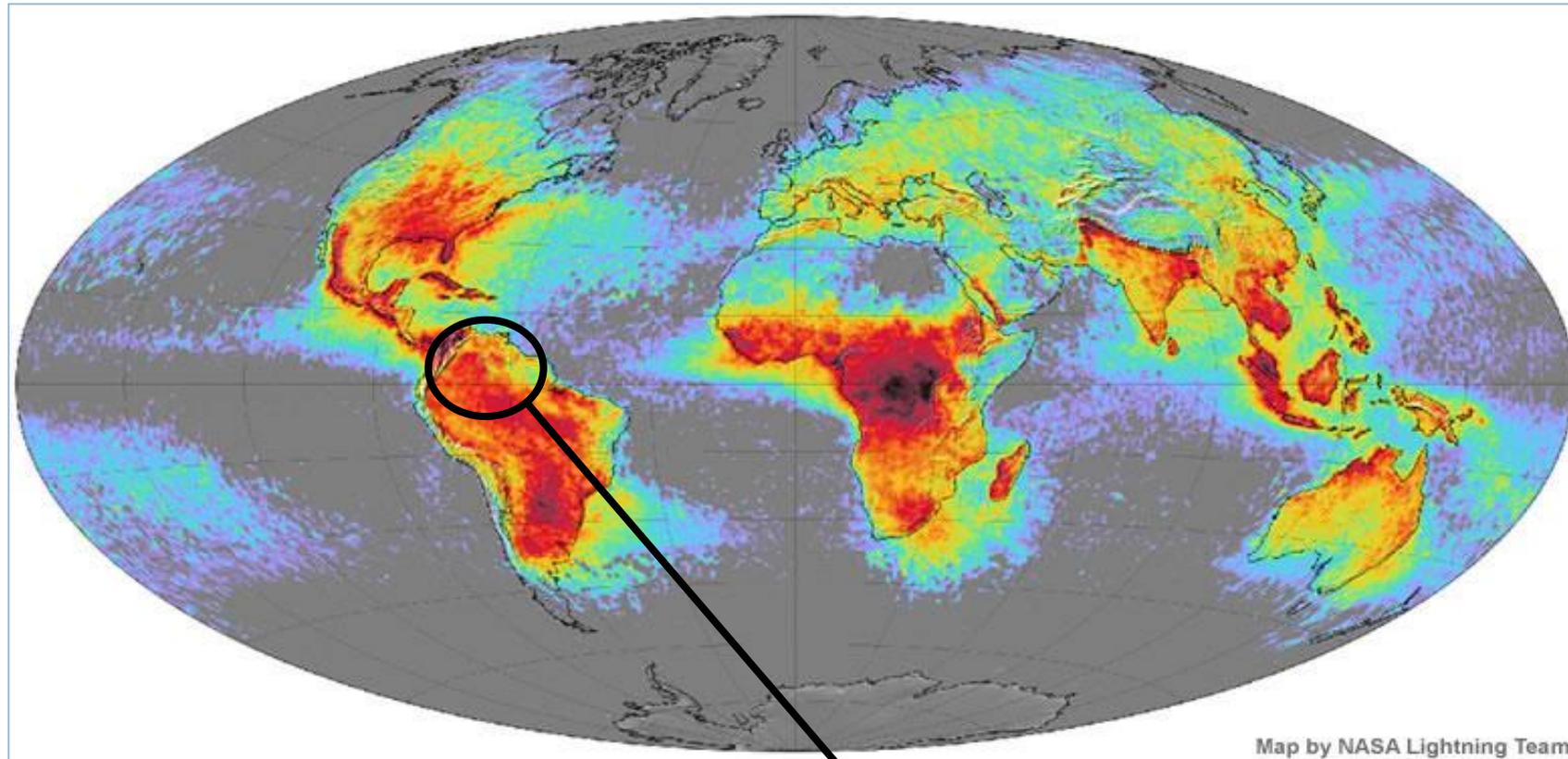
Fuente: NTF 599-1 :2013 –Fondonorma – Tablas 5, 6 y 7 Comentado por OAG

Sistemas de Detección de Descargas Atmosféricas o SDDA, – EDELCA (Ahora Corpelec)



Fuente: Documento “Caracterización del nivel ceráunico de Venezuela a partir de un sistema de detección de descargas atmosféricas (SDDA)”

# Nivel ceraúnico y densidad de descargas



lightning flashes (per km<sup>2</sup> per year)

0.1	0.4	1.4	5	20	70
-----	-----	-----	---	----	----

Venezuela, según este mapa, presenta una densidad aproximada entre 5 y 20 descargas/Km<sup>2</sup>/año

# 4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas

*Parámetros principales*

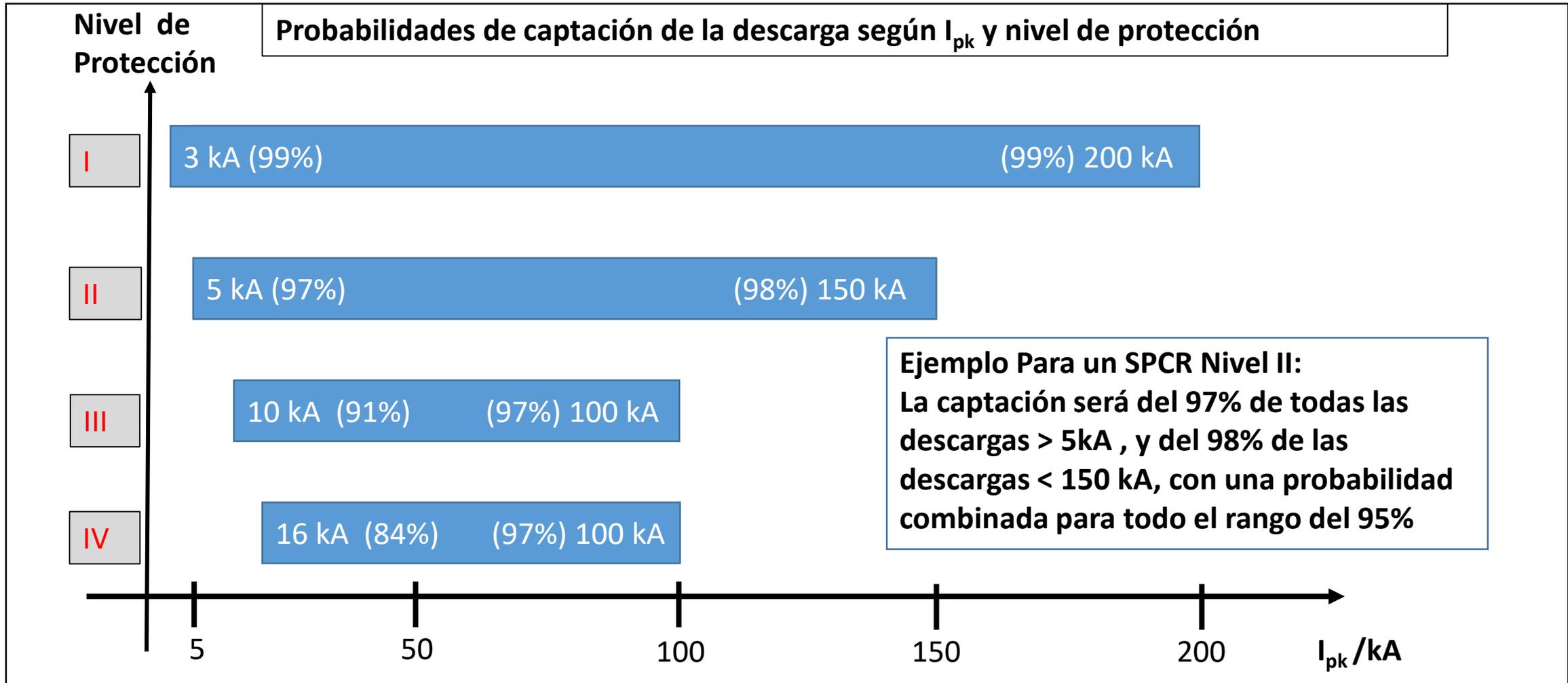
# Parámetros principales

Parámetros	Símbolo	Unidades	Descripción
<b>Corriente Pico</b>	$I_{pk}$	kA	Máxima corriente de la "Descarga Atmosférica" o Rayo. La circulación de esta corriente causa diferencias de potencial en las resistencias desde el punto de impacto, hasta la tierra o potencial "cero".
<b>Carga de la descarga</b>	Q	Co	Es la sumatoria de la energía en el punto de impacto (integral ( $i \cdot dt$ )), donde la corriente del rayo deja una huella de chispa o quemadura en el material, es decir, pararrayos con señales de material fundido, fenómeno de perforación en materiales metálicos que no soportan el choque térmico puntual. etc..
<b>Energía de impulso</b>	E	$kA^2s$	Este parámetro responsable de la energía de calor (integral ( $i^2 \cdot dt$ )), y electrodinámica en el conductor o la estructura donde deba fluir la corriente del rayo (Efecto Joule)
<b>Energía Especifica</b>	W/R	MJ/ $\Omega$	Es la energía específica, contenida en la descarga, expresada en términos de energía (Mj), y los ( $\Omega$ ) correspondientes a la resistencia donde circula la corriente de la descarga.
<b>Parámetros de Tiempo de la onda de la descarga</b>	$T_1/T_2$	$\mu s/\mu s$	Parámetros que definen la forma de la onda de la corriente de la descarga, $T_1$ corresponde al periodo de aumento de la corriente desde el 10% hasta el 90% del valor pico (Frente de onda), y $T_2$ al periodo de disminución desde el valor pico al 50% de su valor (Cola de la onda)
<b>Pendiente de la corriente con respecto al tiempo</b>	$d_i/d_t$	kA/ $\mu s$	Este parámetro es responsable del voltaje inducido en el conductor o circuitos del cable de la malla de tierra por donde circula la corriente de la descarga, el cual es proporcional a la $X_l$ del cable o circuito

# Parámetros principales

	Parámetros de las Descargas según Niveles de Protección						
	Parámetros	Símbolo	Unidades	Niveles de Protección			
				N-I	N-II	N-III	N-IV
Valores Máximos							
1ra. Descarga	Corriente Pico	$I_{pk}$	kA	200	150	100	
	Carga de la descarga corta	$Q_{corta}$	Co	100	75	50	
	Energía Especifica	W/R	MJ/ $\Omega$	10	5,6	2,5	
	Parámetros de Tiempo de la onda de la descarga	$T_1/T_2$	$\mu s/\mu s$	10/350			
2da. Descarga	Corriente Pico	$I_{pk}$	kA	50	37,5	25	
	Pendiente de corriente con respecto al tiempo	$d_i/d_t$	kA/ $\mu s$	200	150	100	
	Parámetros de Tiempo de la onda de la descarga	$T_1/T_2$	$\mu s/\mu s$	0,25/100			
Valores Mínimos							
	Corriente Pico	$I_{pk}$	kA	3	5	10	16
	Radio de la esfera	r	m	20	30	45	60
Probabilidad de que la $I_{pk}$ sea menor que el valor máximo				0,99	0,98	0,97	0,97
Probabilidad de que la $I_{pk}$ sea mayor que el valor mínimo				0,99	0,97	0,91	0,84
Eficiencia del sistema de captación (Probabilidad de que la $I_{pk}$ este fuera del rango de captación)				0,98	0,95	0,88	0,81

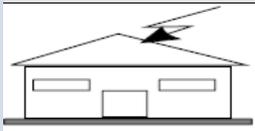
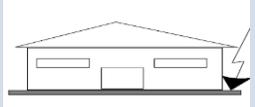
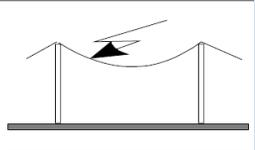
# Parámetros principales



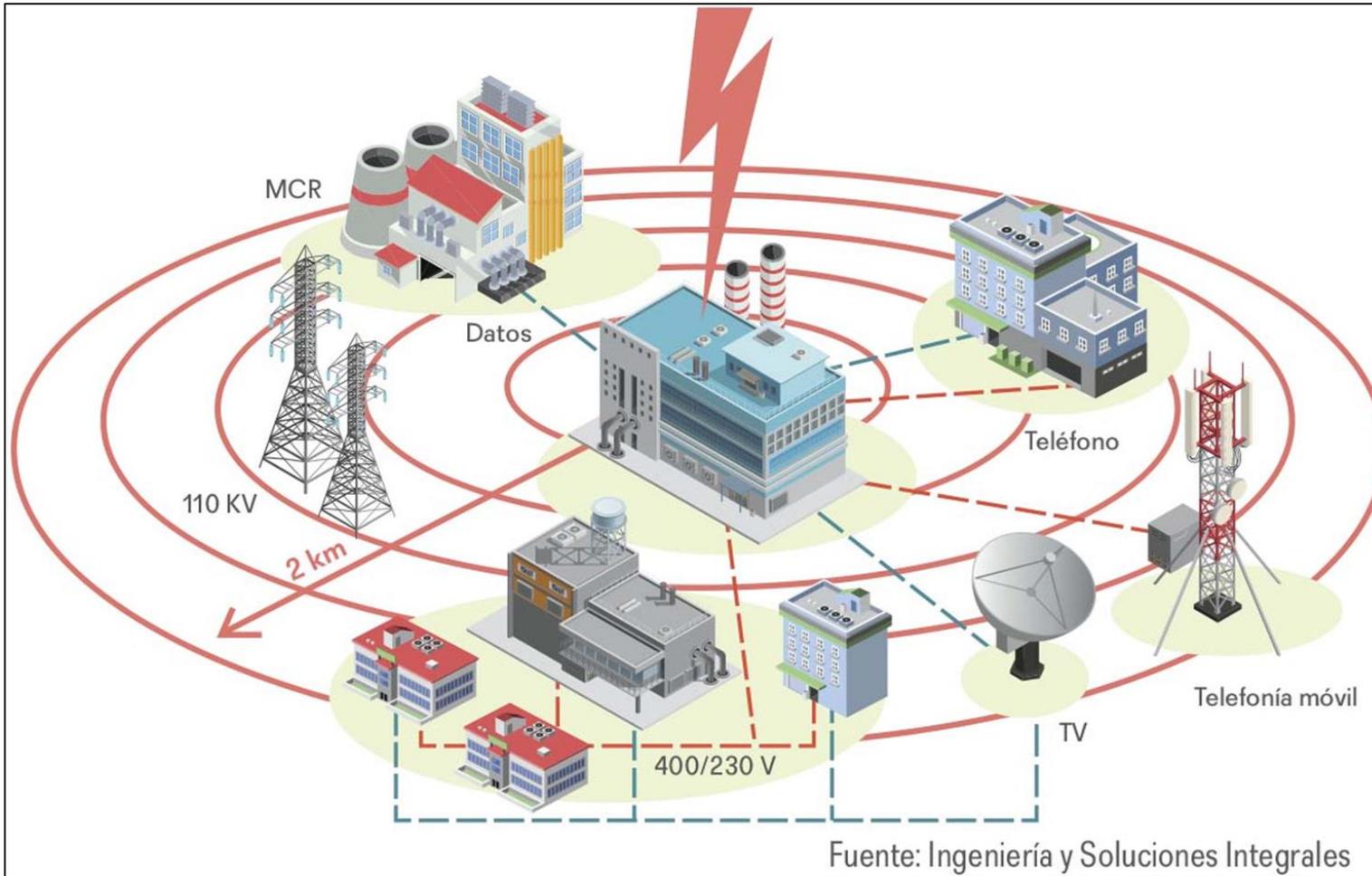
# 4. Aspectos generales sobre descargas atmosféricas

*Daños y pérdidas causados por rayos*

# Daños y pérdidas causados por rayos

Puntos de Impacto	Fuente del daño	Tipos de daño	Tipo de pérdidas
Estructura	 <p>S1 (Descargas directas a la estructura)</p>	D1	L1 y L4
		D2	L1, L2, L3 y L4
		D3	L1, L2 y L4
Cerca de la estructura	 <p>S2 (Descargas que impactan en el suelo cercano a la estructura)</p>	D3	L1, L2 y L4
Servicio conectado a la estructura	 <p>S3 (Descargas que impactan directamente en las instalaciones del servicio conectado a la estructura)</p>	D1	L1 y L4
		D2	L1, L2, L3 y L4
		D3	L1, L2 y L4
Cerca del servicio conectado a la estructura	 <p>S4 (Descargas que impactan en el suelo cerca de las instalaciones del servicio conectado a la estructura)</p>	D3	L1, L2 y L4
D1	Daños en seres vivos por tensiones de paso y de contacto		
D2	Daños físicos (fuego, explosión, destrucción mecánica, emanación química) producidos por los efectos de la corriente del rayo, incluyendo los arcos y chispas destructivas		
D3	Fallas de los sistemas internos debido a la Inducción Electro Magnética del Rayo (IEMR), o por sobretensiones transmitidas a través de los servicios conectados a la estructura.		
L1	Pérdida de vida humana - Asociados a riesgo tipo 1 (R1)		
L2	Pérdida de servicio al público - Asociado a riesgo tipo 2 (R2)		
L3	Pérdida del patrimonio cultural Pérdida de servicio al público - Asociado a riesgo tipo 3 (R3 )		
L4	Pérdida de valor económico (estructura y su contenido, servicios y pérdida de actividad). Asociado a riesgo tipo 4 (R4)		

# Daños y pérdidas causados por rayos



**Referencia del alcance de los daños y pérdidas del impacto de un rayo, causados por:**

1. Circulación de corrientes de la descarga y formación de arcos por diferencias de potencial.
2. Alcance del efecto de inducción electromagnética
3. Perturbaciones varias en circuitos eléctricos y electrónicos, por efecto combinado de la circulación de corrientes y la inducción electromagnética

# 5. Normas aplicables

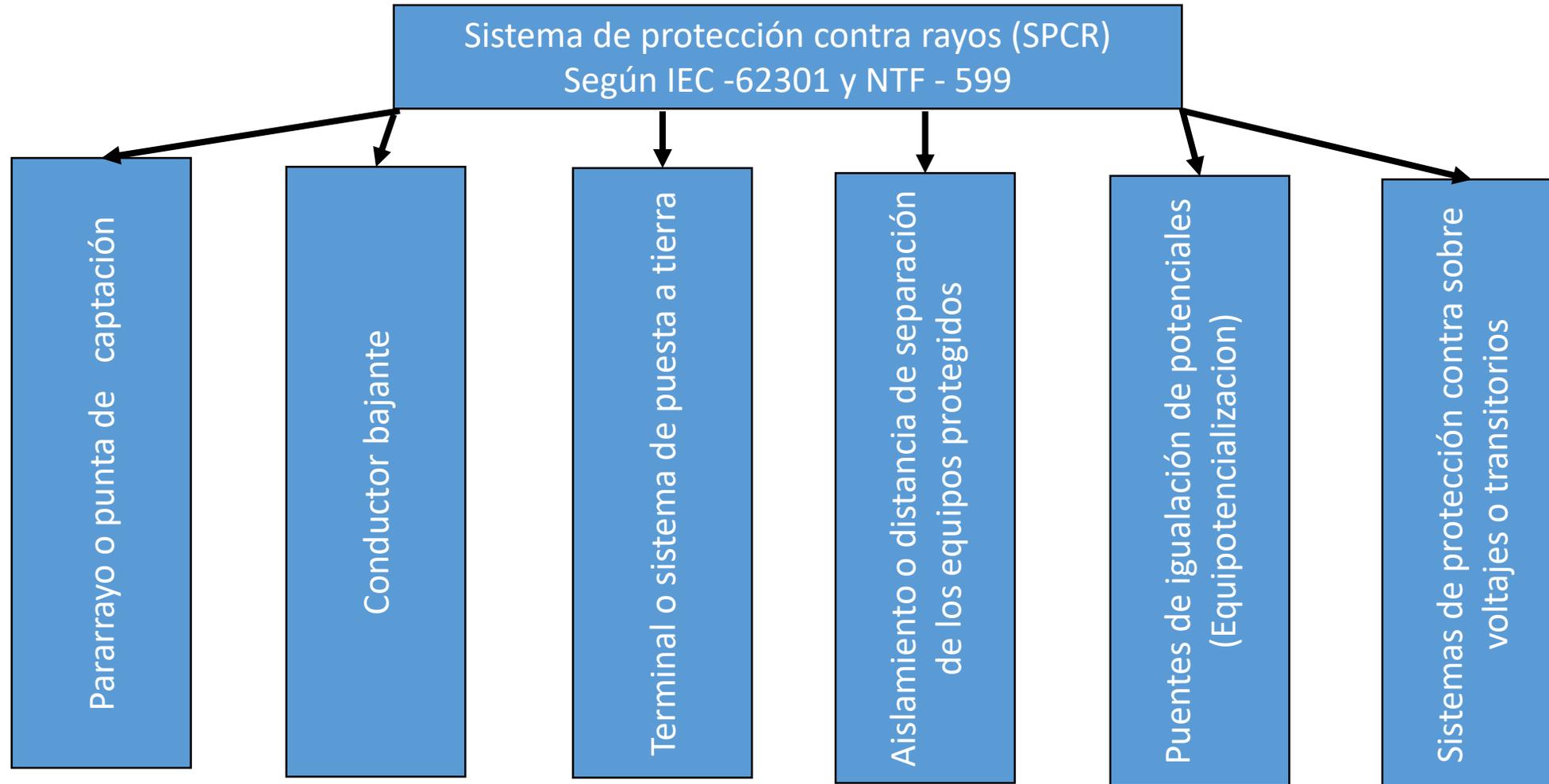
# Normas aplicables

Normas Nacionales	
NTF-599-2013 - Parte 1	Protección contra rayos. Parte 1: Principios generales
NTF-599-2013 - Parte 2	Protección contra rayos . Parte 2: Evaluación del riesgo.
NTF-599-2013 - Parte 3	Protección contra rayos. Parte 3 : Daño físico a estructuras y riesgo humano.
NTF-599-2013 - Parte 4	Protección contra rayos . Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras.
Otras Normas	
IEC-62305 - Part 1	Protection against lightning – Part 1: General principles
IEC-62305 - Part 2	Protection against lightning – Part 2: Risk management
IEC-62305 - Part 3	Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard
IEC-62305 - Part 4	Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures
NFPA - 780	Standard for the Installation of Lightning Protection Systems
API - 545	Recommended Practice for Lightning Protection of Aboveground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids
API - 650	Recommended Practice for Welded Tanks for Oil Storage

# 6. Sistemas de protección contra rayos (SPCR)

*Componentes de un SPCR*

# Componentes de un SPCR



# Componentes de un SPCR

Los SPCR, pueden incluir los siguientes componentes, algunos tradicionales y otros considerados nuevas tecnologías, que en la comunidad técnica dedicada a esta área de protección, han sido motivo de diversas controversias:

## A- Sistemas convencionales de protección , los cuales incluyen:

- Barras de captación externas basadas en “Puntas Franklin”
- Mallas de alambres aéreos o jaulas de Faraday



**Nota:** Sistemas respaldados por las normas internacionales (NFPA – IEC), y aceptados oficialmente como medios de protección, cuyo diseño debe estar basado en las normas, y su método de calculo del alcance debe estar basado en el “Modelo Electro geométrico”, o método de la esfera rodante, o según el ángulo de protección.

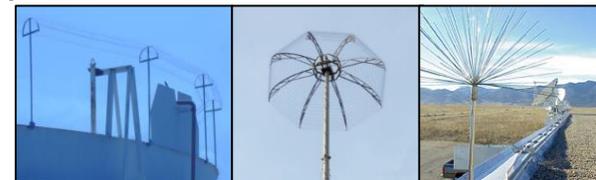
## B- Sistemas de protección “No-Convencionales”, basados en nuevas tecnologías:, los cuales incluyen :

- Puntas de atracción activas, entre ellos:
- ✓ Sistemas de emisión temprana (ESE), o sistemas con dispositivos de cebado para emisión temprana.



**Nota:** Sistemas no respaldados por las normas, solo aceptados como puntas tradicionales Franklin

- Sistemas de prevención activos/Sistemas de eliminación, los cuales incluyen:
- ✓ Sistemas de transferencia de cargas (CTS)
- ✓ Arreglos de sistemas de disipación (DAS)



# **7. Aplicaciones en la industria petrolera**

*Protecciones en instalaciones petroleras*

# Protecciones en instalaciones petroleras

## Protección de estructuras que contengan gases o vapores inflamables

Norma / Sección	Instalaciones / Equipos	Características mínimas	Necesidad de protección adicional
NFPA-780 / 7.1 y 7.2, NTF-599-1/9.1 y 9.2	Refinerías, Áreas de producción, plantas de gas, estaciones de flujo, estaciones de compresión de gas, etc. / Tambores de proceso, Torres de destilación, atmosféricas y de vacío, Reactores, Tanques de almacenamiento de crudo y productos, Equipos de proceso en general, Edificaciones industriales, o galpones de estructuras metálicas	Estructuras metálicas, eléctricamente continuas.	NO REQUIEREN PROTECCION ADICIONAL <b>(Estas estructuras, que cumplen con las características mínimas indicadas, se consideran "AUTO - PROTEGIDAS")</b>
		En condiciones normales, cerradas o selladas herméticamente para evitar escapes de gas o vapores	
		Laminas de techo a en la parte superior de la estructura de por lo menos 4,8 mm (3/16") de espesor	
		Aberturas a la atmosfera, por condiciones operacionales, donde puedan existir concentraciones de gases o vapores inflamables, deben estar cerradas y de ser necesario mantenerlas abiertas, durante condiciones de tormenta eléctrica, deben tener protecciones para evitar la entrada de llamas al interior, o retardadores de llamas.	
		Aberturas para medición, o válvulas de venteo, deben ser mantenidas en condiciones operacionales optimas.	
Por diseño y según normas API 650, las aberturas mínimas (gap), de 1,5 mm (1/16") o mas, entre partes conductoras, o promotores de chispas, en espacios o áreas donde se puedan acumular mezclas inflamables, no deben ser permitidas.			

# Protecciones en instalaciones petroleras

USO DE LA ESTRUCTURA COMO ELEMENTO CAPTOR Y BAJANTES



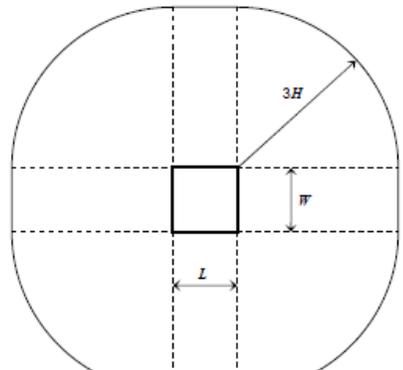
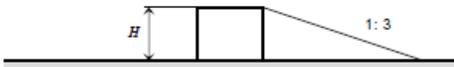
Conjunto de instalaciones típicas de la industria petrolera, que no requieren protección adicional

# Protecciones en instalaciones petroleras

## Calculo del numero de impactos a la estructura

$$N_g = 0,04 TD^{1,25}$$

Desc./km<sup>2</sup>/año



Área de atracción en km<sup>2</sup>

$$A_d = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times (H)^2$$

## Evaluación para decidir necesidad de protección

Identificar estructura a proteger

Identificar los tipos de perdidas de la estructura o servicio a proteger

Para cada caso de perdida:

- Identificar el riesgo tolerable ( $R_T$ )
- Identificar y calcular los riesgos existentes ( $R_x$ )

Calcular  
 $R = \sum R_x$

$R > R_T$

NO

Estructura o servicio protegido para este tipo de perdida

SI

Instale protección adecuada para reducir el riesgo R

## Efectividad del costo de las medidas de protección

Identificar el valor de:

- La estructura y sus actividades
- Instalaciones internas

Calcular los componentes del riesgo  $R_x$  correspondientes al riesgo  $R_4$  (Perdida del valor económico)

Calcular el costo anual  $C_L$  del total de perdidas, y el costo  $C_{RL}$  de la perdida residual con las medidas de protección (Ver anexo G de la IEC-62305-2)

Calcular el costo anual  $C_{PM}$  de las medidas de protección seleccionadas

$C_{PM} + C_{RL} > C_L$

SI

No es conveniente adoptar las medidas de protección

NO

Si conviene adoptar las medidas de protección

# Protecciones en instalaciones petroleras

METODOLOGIA SEGÚN MANUAL DE RIESGOS PDVSA-IR-S-02 (Adaptado a parte de la evaluación según manual de la NLSI)

Ejemplo de calculo de proyecto de evaluación de PDVSA - Punta de Mata - 2001

$$Aa = (L + 2r)(W + 2r) - 10 \left[ \frac{(4 - \pi)}{4} \right] r^2 \quad [m^2]$$

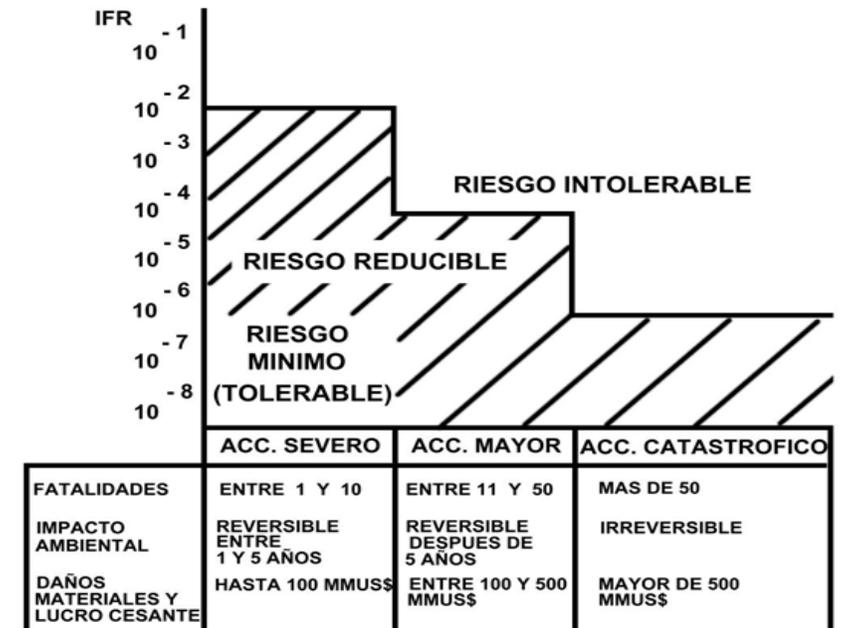
$$r = \left( 2Ds h - h^2 \right)^{0.5} \quad [m]$$

Se destacan las formulas de calculo de áreas de atracción, que son algo diferentes a las indicadas por la IEC-63201 y la NTF-599, .  
Por otra parte la evaluación de la probabilidad de un incendio se hace, según registros históricos

AGRUPACION DE DESC. POR NIVEL DE CORRIENTE	l <sub>pk</sub> (kA)
1	6
2	13
3	18
4	23
5	28
6	35
7	45
8	57
9	77
10	112

PROBABILIDADES DE IMPACTO A ESTRUCTURAS POR DESCARGAS ATMOSFERICAS							
PLANTA O INSTALACION CONSIDERADA:				PATIO DE TANQUES TRAVIESO			
ALTURA INST. A LOS BORDES	18	m	DIAS DE TORMENTA POR AÑO = 60				
LONGITUD DEL AREA O INST.	1000	m					
ANCHO DEL AREA O INST.	800	m					
DENSIDAD DE DESC.	6.7	Desc/Km <sup>2</sup> /año					
AGRUPACION DE DESC. POR NIVEL DE CORRIENTE	l <sub>pk</sub> (kA)	D <sub>s</sub> (m)	R (m)	A <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (Desc./Año)	P <sub>c</sub> (Desc./Año)	R (Años/
1	6	32.0	28.8	905236	0.6046594		
2	13	53.0	39.8	946171	0.6320023		
3	18	65.5	45.1	966059	0.64528696		
4	23	76.8	49.4	982323	0.65615051		
5	28	87.2	53.1	996265	0.66546307		
6	35	100.8	57.5	1013133	0.67672988		
7	45	118.7	62.9	1033597	0.69039898		
8	57	138.5	68.3	1054405	0.70429789		
9	77	168.4	75.7	1083303	0.72360073		
10	112	214.8	86.1	1123586	0.75050839	6.7490981	0.15

Gráfico de evaluación de Riesgo según IR-2 de PDVSA – Frecuencia y Severidad



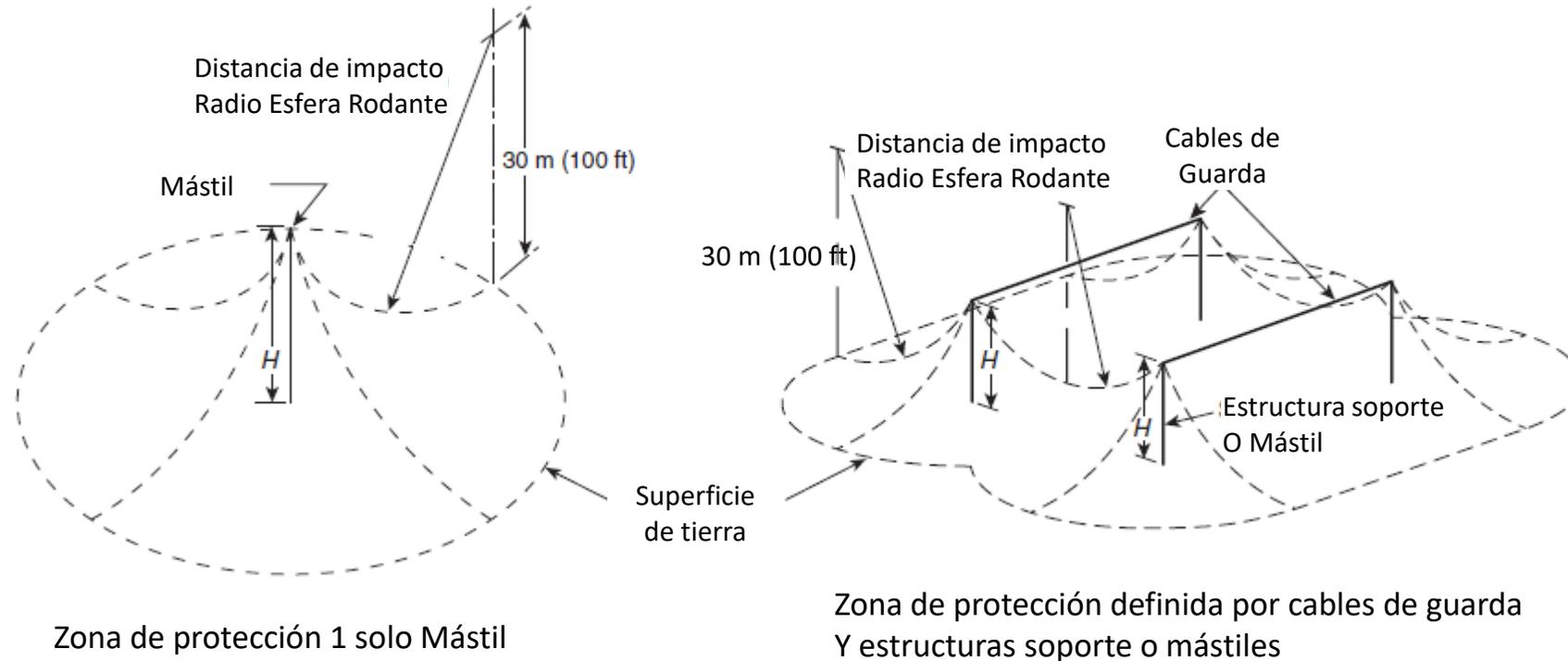
# Protecciones en instalaciones petroleras

## Protección adicional de estructuras que contengan gases o vapores inflamables (Medidas de protección)

Norma / Sección	Instalaciones / Equipos	Resumen de Zonas de protección para mástiles y cables de guarda
NFPA-780 / 7.3 , NTF-599-1/9.3	Refinerías, Áreas de producción, plantas de gas, estaciones de flujo, estaciones de compresión de gas, etc. / Tambores de proceso, Torres de destilación, atmosféricas y de vacío, Reactores, Tanques de almacenamiento de crudo y productos, Equipos de proceso en general	<p>La zona de protección, para el cable de guarda y los mástiles) debe basarse en una distancia de impacto de 30 m (100 pies) o menor. La zona de protección debe ser definida por un arco cóncavo ascendente (Corresponde a la esfera rodante con 30 m de radio)</p> <p>El radio del área es la distancia de impacto. El arco debe pasar a través de la punta del mástil y ser tangente al suelo.</p> <p>Cuando se usa mas de un mástil el área debe pasar a través de las puntas de los mástiles adyacentes. La distancia horizontal de protección puede ser determinada analíticamente para una distancia de impacto de 30 metros (100 pies) con la siguiente ecuación (Las unidades deben ser consistentes, metros o pies).</p> <div data-bbox="853 728 1337 828" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">d = \sqrt{h_1(2R - h_1)} - \sqrt{h_2(2R - h_2)}</math> </div> <p>Donde:            d= Distancia horizontal protegida            h1= Altura del mástil de mayor altura.            R= Radio de la esfera rodante. 30 metros (100 pies)            h2= Altura del mástil de menor altura</p> <p>Los mástiles de soporte deben ubicarse a una distancia de separación de la estructura protegida, correspondiente al aislamiento del sistema de protección externo, determinada según el apartado 6.3 de la norma FONDONORMA 599-3 (IEC 62305-3). Ver Ejemplo de Calculo próxima lamina.</p> <p>Cada mástil o cable de guarda debe estar conectado a tierra e interconectado con el sistema de tierra de la estructura protegida (sistema equipotencial).</p>

# Protecciones en instalaciones petroleras

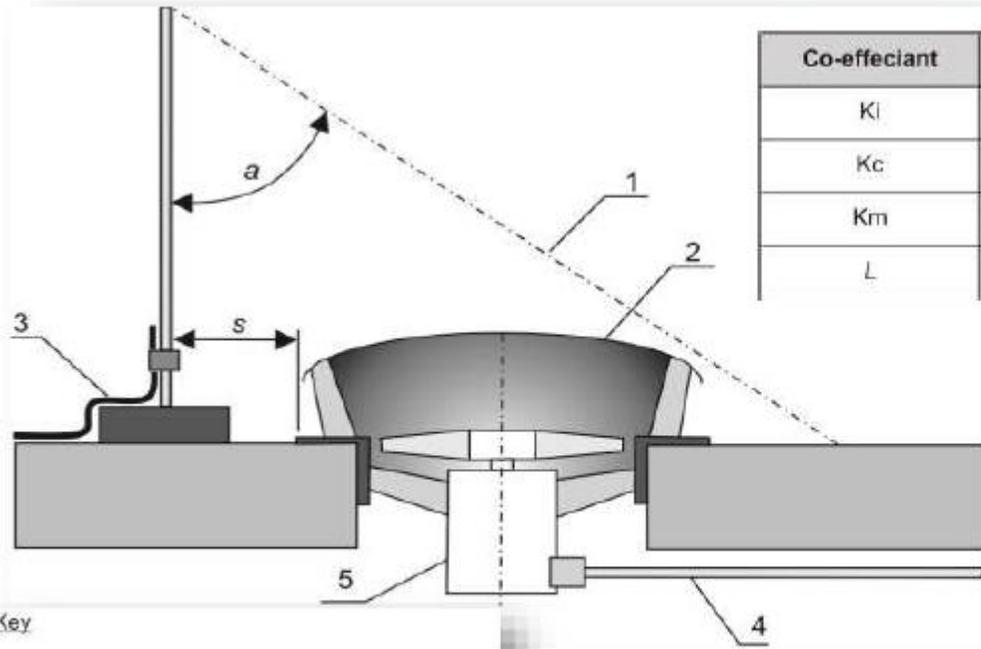
## Ejemplo de Zonas de protección, de mástil simple, y cable de guarda



Nota: El radio de la esfera y la distancia de impacto, corresponde con el nivel de protección II.

# Protecciones en instalaciones petroleras

## Ejemplo de calculo de la distancia de separación de aislamiento



Co-effeciant	Description	Value
Kl	Lightning Protection Level = 4	0,04
Kc	No. of Down Conductors = 1	1
Km	Insulation Level = Air	0,8
L	Length to Bonding Point = mtr	8

$$S = 0,04 \frac{1}{0,8} 8$$

$$S = 0,04 (1,25 \times 8)$$

$$S = 0,04 \times 10$$

$$S = 0,4m$$

- Key
1. Protection Cone
  2. Metallic Roof Fixture
  3. Horizontal Air-Termination Conductor
  4. Electric Power Installation Line
  5. Electric Equipment
  6. Separation distance according to 6.3
  - a. Protection Angle

S = Separación o aislamiento requerido del equipo o estructura protegida.

Evita el salto de una chispa, o arco entre el conductor bajante y el equipo protegido.

Para los factores ver tablas 10, 11 y 12 del punto 6.3 de la IEC-62301-3.

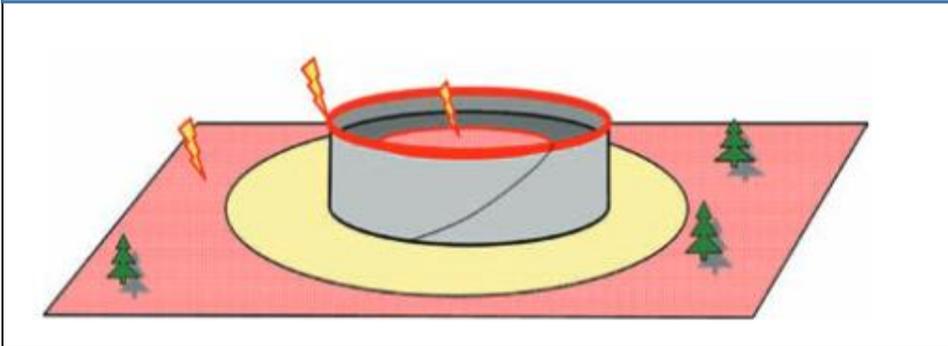
Fuente: Manual de protección de DEHN – Empresa fabricante de sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

# **7. Aplicaciones en la industria petrolera**

*Requerimientos según API 545 REV. 2012*

# Requerimientos según API 545 -2012

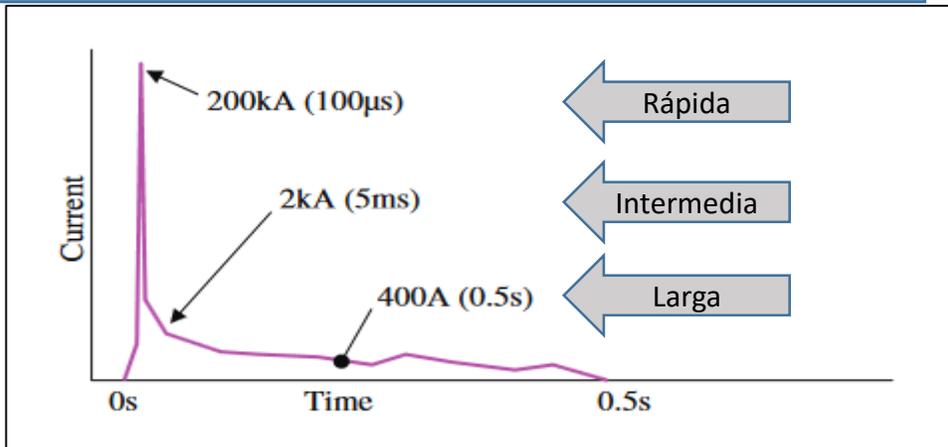
## Riesgos de impacto en tanques



1. Tanques de techo cónico, son considerados bien protegidos si el techo es de al menos 5 mm.
2. Venteos o aberturas operacionales, presentan riesgos de ignición por descargas atmosféricas, aun con dispositivos de o válvulas de presión – vacío. Requiere diseños particulares de estas aberturas, y arresta llamas.

1. Tanques presurizados, utilizados para gas licuado de petróleo (LPG), son considerados inherentemente seguros, debido a que contienen productos que no forman mezclas inflamables o que están por encima de del rango de inflamación (Mucho combustible y poco aire)
2. Por ser presurizados sus laminas exceden los espesores mínimos, son inmunes al impacto del rayo

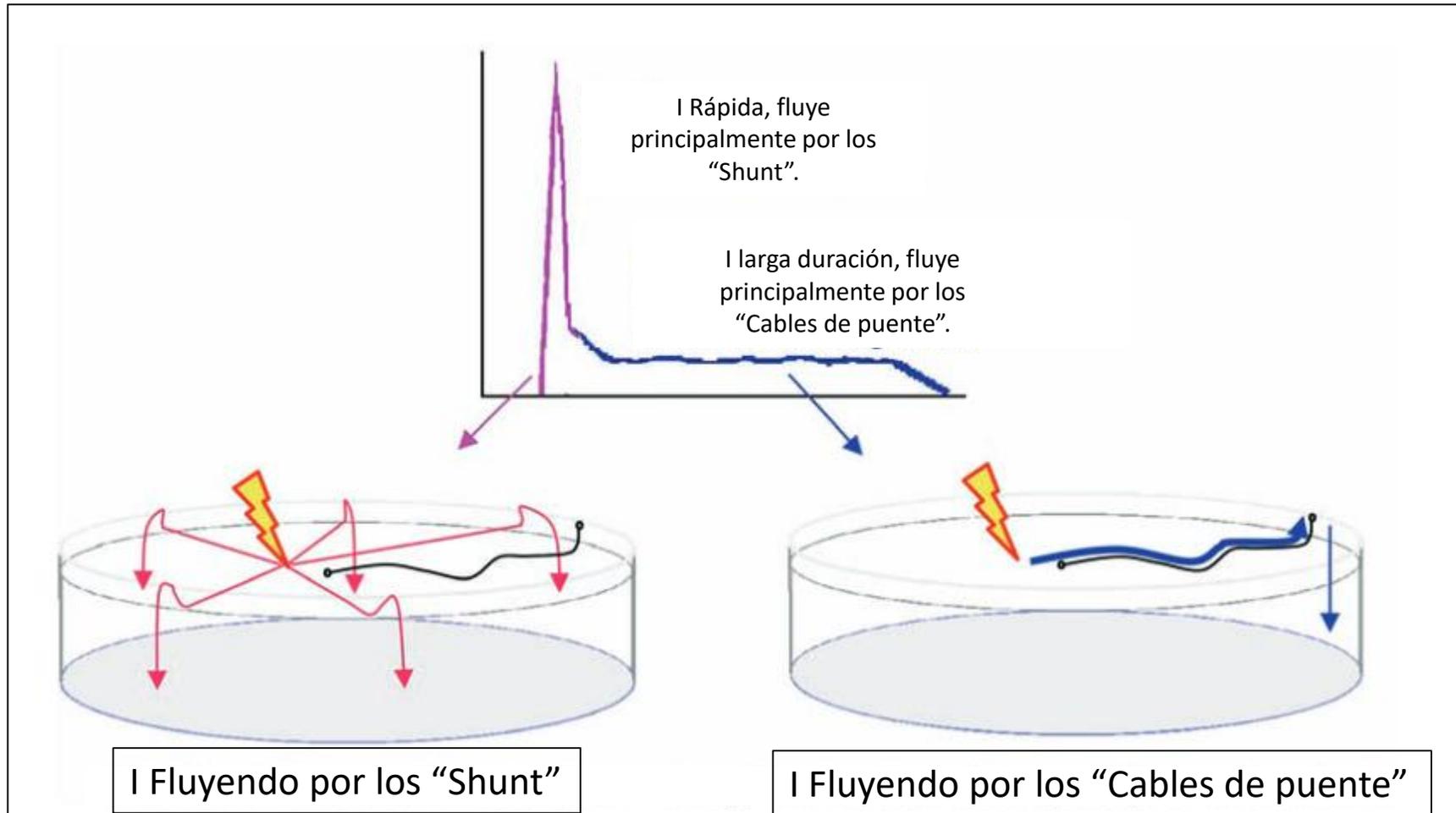
## Frentes de onda de corriente de corta y larga duracion



1. Tanques del tipo Geodésico, aunque tienen cubiertas internas (techos flotantes internos), presentan potenciales riesgos de ignición, debido a que el techo exterior, es de aluminio, generalmente de 2 mm de espesor, y al ser impactado por un rayo, puede originar picaduras, también pueden tener juntas y conexiones donde se origine un arco

1. Tanques de techo flotante, externo, son reconocidos por la industria, como propensos a originar incendios en el área de sellos, al ser impactados por una descarga atmosférica.
2. La API 545, recomienda el uso de puentes metálicos, llamados “Shunts”, por de bajo del techo, y cables externos conectados entre techo y paredes

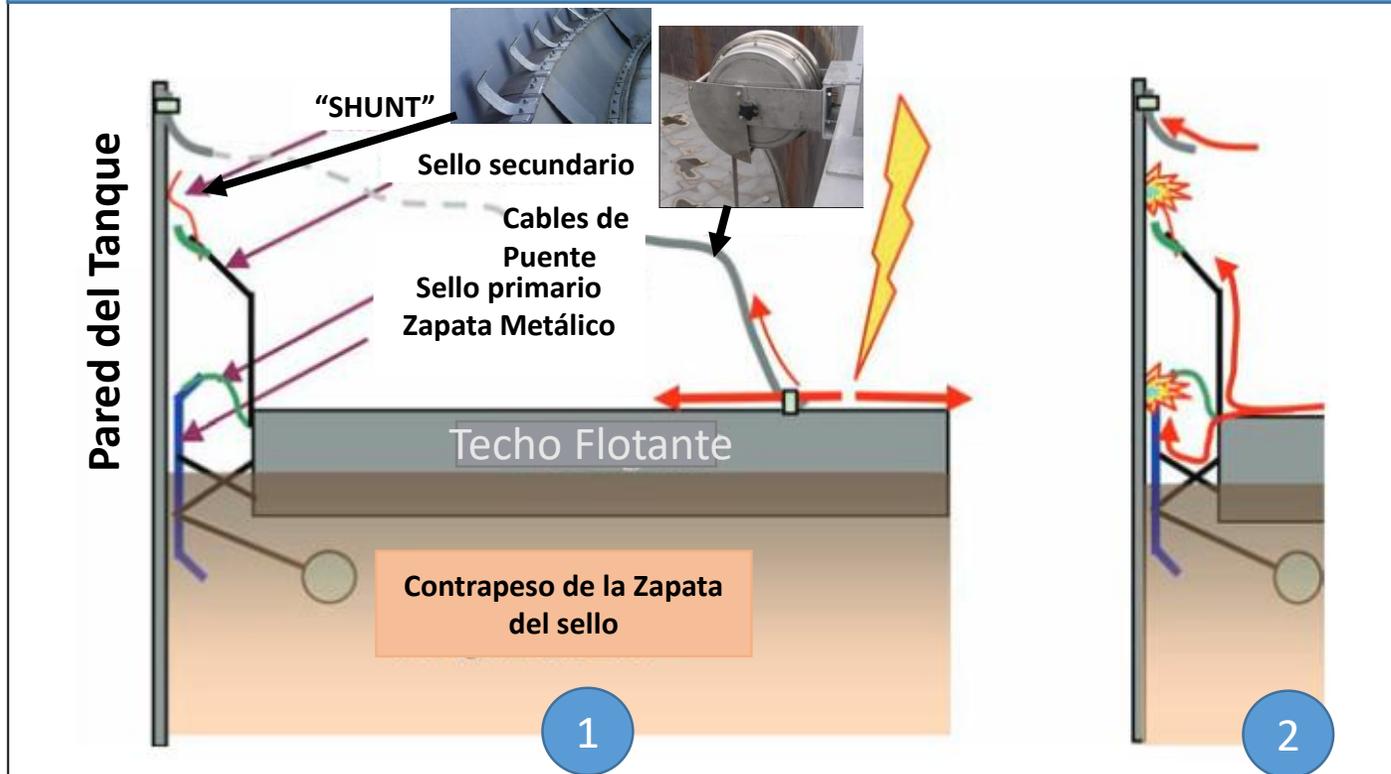
# Requerimientos según API 545 -2012



1. Aun con los cable de puente, fluye gran cantidad de corriente por los "ShuntT2.
2. La caída de tensión en los cable, e +/- 50 m, con  $0,5 \mu\text{H/m}$ , ( $25 \mu\text{H}$ ), original una cada de tensión de aprox. 0,5 MV. Con un  $(di/dt)$  de 200 kA/s. Según formula  $V= L*(di/dt)$ .
3. Esa caída de tensión en los cables para la corriente "rápida", obliga a que la mayoría de esa corriente circule por los Shunt, manteniendo el riesgo de incendio, si en el punto de la chista existe una atmosfera explosiva con mezclas inflamables
4. Lo anterior, obliga a instalar los "Shunt", por debajo de la tapa o techo del tanque, a 30 cm por debajo de la superficie del liquido.
5. Los cables de puente manejan la corriente de larga duración que se comporta como una C.C., casi constante en el tiempo.

# Requerimientos según API 545 - 2012

Detalles del sello de un tanque de techo flotante



1

Impacto del rayo sobre el techo flotante, y distribución de las corrientes entre el techo y los cables del puente

2

Detalle de la formación de chispas que pueden originar un incendio.

Sucede cuando los "SHUNT" están por arriba del techo. La API-545 especificó:

1. Instalar los sellos sumergidos 30 cm, por debajo de la superficie del combustible
2. Instalar cables de puente entre techos y paredes
3. Aislar componentes metálicos a nivel del sello, que puedan originar chispas

# 8. Experiencias particulares

*Incendios en tanques de la Refinería de Amuay (Hoy CRP- Amuay)*

# Incendios en tanques de CRP- Amuay



Área operacional de la refinera de Amuay, que fue objeto de 7 incendios de tanques durante los 1980 – 1990. Aprox. 1 incendio por año originado por descargas atmosféricas en la época de lluvias agosto- octubre

# Incendios en tanques de CRP- Amuay



Cambios de dirección del viento, con encuentro de corrientes de aire frío (Desde el mar) con corrientes de aire caliente (Desde tierra firme), forman “una especie de Vendaval” precursor de lluvias eléctricas en la época de lluvias agosto-octubre

# Incendios en tanques de CRP- Amuay

Proyecto de instalacion de "DAS" en 80 Tanques



Ubicación de la zona de eventos casi anuales de incendios, y accidente fatal, por descargas atmosféricas, que ocurrieron hasta el año 1991

Finalmente estos tanques fueron destruidos por la explosión del año 2012

# 8. Experiencias particulares

*Incendio en patio de tanques el Chaure (Puerto la Cruz)*

- f) No instrument failed at the tank.
- g) There are no signs of a lightning discharge either on the tank wall or at dissipation wire points.
- h) The seal of the tank at the site of the fire is in bad condition.



Segun el informe de inspección de Lightning Eliminator Corp. \*LEC( de Venezuela, el Sistema presentaba las siguientes condiciones:

- a. Los alambres de disipacion estaban en Buena forma, con muy pocos alambres fuera de posición
- b. Continuidad de los alambres al tanque dio menos de  $2 \Omega$  (OK).
- c. En general el sistema DAS estaba muy bien.
- d. Se veía que el fuego comenzó desde el interior del tanque.
- e. El fuego fue extinguido con espuma.
- f. El tanque no tenia instrumentos instalados.
- g. No habían signos de descarga ni en las paredes del tanque, ni en los puntos de disipación de los alambres
- h. El sello del tanque en el punto del incendio se veía defectuoso

**No obstante la inspección anterior, LEC de Venezuela determinó que había un mal contacto entre el sistema de protección y el tanque, posiblemente motivado a que al pintar el tanque usaron una pintura con bajo contenido metálico, no conductiva**

**La recomendación o recurso de LEC de Venezuela en ese momento, fue que utilizaran los cables de conexión de techo a paredes según diseño de LEC**



# 7. Experiencias particulares

*Incendio en patio de tanques “Mata R”*

# Incendio en patio de tanques "Mata R"

## CARACTERISTICAS

FECHA CONSTRUCCION 1959

COMPAÑIA MOBIL OIL COMPANY

PATIO A: 6 TANQUES 10000 BBLs  
2 TANQUES 5000 BBLs

PATIO B: 3 TANQUES 10000 BBLs

SALA DE BOMBAS ( 5 )

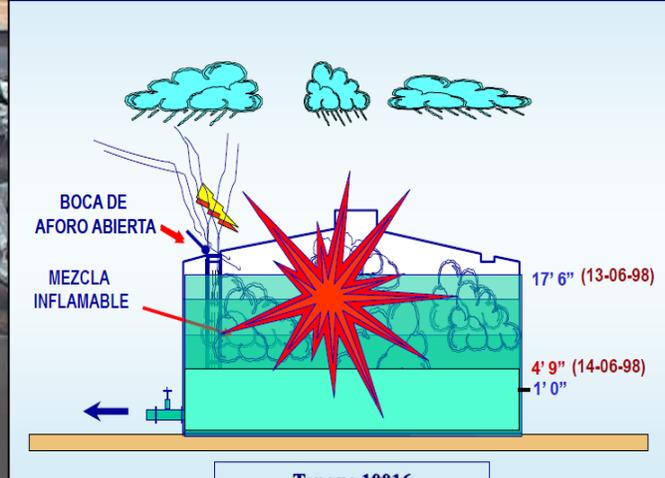
CAPACIDAD INST. 100000 BBLs

MANEJO ACTUAL 13200 BBLs

CRUDO 40° API



## SECUENCIA DEL EVENTO



- Según comité de investigación (Julio de 1998) la causa fue una descarga atmosférica, que impactó el área, o uno de los tanques, y que en el tanque donde se inicio el incendio había una atmosfera explosiva, producto de que dejaron una "Boca de aforo abierta".
- No hubo daños personales, se destruyeron 8 tanques, cuyo valor de reposición en es época se estimo en 810 MMBs

En ocasiones los incendios atribuidos a descargas eléctricas atmosféricas son debidos otras causas y se han tipificado erróneamente por una interpretación incorrecta de la física involucrada. Tal es el caso del incendio ocurrido el 14/06/1998 en el patio de Tanques "Mata R" en Cantaura (Edo. Anzoátegui-Venezuela) donde un voraz siniestro destruyó 9 tanques de crudo de 10.000 barriles cúbicos y 12 tanques de 5.000 de full-oil, válvulas y tuberías de la Empresa Estatal Petróleos de Venezuela (PDVSA). Tal siniestro fue falsamente atribuido a "la caída de un rayo" sobre el tanque #10016 que originó, según los técnicos de la Petrolera, la combustión de dicho Tanque.

Una investigación independiente (S) solicitada por el Parlamento Venezolano reveló la inexactitud de la suposición aportada por los técnicos de PDVSA, en base a la distribución de conductores eléctricos y a la ausencia de fulguritas, material fundido en el sustrato, típico de descargas nube-tierra.



Fig. 7 El siniestro del Patio de Tanques de la Estación Mata R de PDVSA es un ejemplo de la interpretación falaz del riesgo de descargas eléctricas atmosféricas. Nótese las estructuras conductoras aterrizadas y no colapsadas, situadas por encima de los tanques. Estos son a su vez Jaulas de

Esta referencia es para indicar que en un informe posterior, ordenado por la AN -Vzla. A finales del año 1998 - Indica que no fue una D.A. debido a que no se encontraron "Fulguritas", y que a los lejos se ve un poste de alumbrado que pudo ser el sitio de impacto



# **7. Conclusiones y recomendaciones**



# Conclusiones y recomendaciones

- A. La aplicación de SPCR en instalaciones petroleras son un tema muy particular, y aunque aplican los criterios generales de las normas NTF 577 -2012 y la IEC 62301, especialmente para edificaciones de tipo general, y para el control de sobre voltajes, la necesidad y justificación de sistemas de protección externos para instalaciones de producción y refinerías, requieren estudios específicos, según experiencias y practicas de análisis de riesgos propios, ya que la gran mayoría d las instalaciones, se consideran auto protegidas.**
- B. Aunque los tanques de techo flotante, son considerados propensos a incendios en el área del sello, por el impacto de descargas atmosféricas, las recomendaciones de la API 545 -2005, representa el mejor recurso para el control y disminución de estos incendios; en todo caso la comunidad técnica internacional, sigue estudiando esta problemática, por el impacto que estos incendios pueden significar.**
- C. En el caso de que cualquier análisis específico de alguna área, determine la necesidad de instalar protecciones adicionales, se recomienda el uso de las protecciones tradicionales reconocidas por las normas internacionales (IEC 62301, NTF-599, NFPA-780)**

**Las experiencias contenidas en esta presentación, destacan la necesidad de la participación del ingeniero electricista en cualquier análisis de impactos y en el diseño de estos sistemas**

**Fin del contenido central  
“Muchas Gracias”**