

# COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

ANTE EL IMPACTO DE **RAYO**

Un enfoque para suscripción  
y atención del reclamo

Cra. 7 No. 156 – 10 Of. 1607 / Edificio Torre Krystal

Bogotá D.C., Colombia

Pbx: +57 (1) 3902846

[info@valuative.co](mailto:info@valuative.co)

**VALUATIVE**

LÍDERES EN INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN PATRIMONIAL

## RISK AND CLAIM ADVISOR

EN ESTE NÚMERO:

# COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS ANTE EL IMPACTO DE RAYO

UN ENFOQUE PARA SUSCRIPCIÓN Y ATENCIÓN DEL RECLAMO

## INTRODUCCION

Las principales consideraciones, desde el punto de vista de la evaluación preliminar de la exposición en busca del otorgamiento de cobertura se centran en el **riesgo de que un rayo impacte sobre la estructura** y cuya ocurrencia puede depender de varios factores: su altura, el número de rayos que caen en la zona (Intensidad Cerámica), existencia de elementos o estructuras más altos o si se encuentra aislada, la protección adoptada para derivar la tensión de descarga, la cercanía de otras estructuras, su altura y de igual manera sus mecanismos de disipación.

Si la estructura no cuenta con pararrayos, el rayo impactará, normalmente, en el punto más alto de la estructura y buscará el camino a tierra de forma incontrolada, a través de antenas, estructura de hormigón, tuberías o cables. Este paso de la corriente puede producir roturas, chispas (que podrían dar lugar a incendios) y daños a personas y equipos en su interior. En estos casos, el peligro aumenta si la estructura contiene productos tóxicos, inflamables o explosivos, pudiendo extenderse los daños más allá de la estructura impactada por el rayo.

En cuanto a las líneas de suministro eléctrico y de telecomunicaciones, dado que penetran en las estructuras desde el exterior, pueden introducir parte de la corriente del rayo en un edificio aun así éste disponga de pararrayos.

Incluir protectores contra sobretensiones dentro del sistema de protección contra el rayo se hace indispensable si las líneas son aéreas y no están apantalladas o según su longitud, ya que el riesgo de que el impacto de rayo afecte a las personas es mayor.

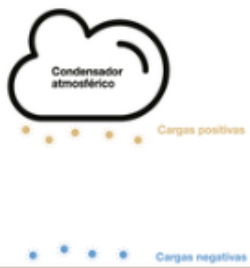
La corriente del rayo y las sobretensiones en las líneas pueden afectar a equipos de seguridad (frenos de seguridad en ascensores de edificios de gran altura, por ejemplo) o provocar descargas luminosas entre dos cuerpos cargados con muy diferente potencial eléctrico [chispas] en zonas con riesgos de explosión.

Por lo tanto, para evitar las consecuencias del impacto de un rayo en estructuras y líneas de servicio, es necesario un sistema integral de protección contra el rayo, formado por pararrayos, conductores y accesorios de bajada, protectores contra sobretensiones y una toma de tierra adecuada.

## TEORIA DEL RAYO

RISK AI

El campo eléctrico natural

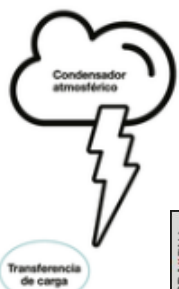


El **rayo** es una reacción eléctrica en la atmósfera, creada por la saturación **electrostática** entre dos puntos de polaridad opuesta y dentro de un medio dieléctrico **ionizado** de baja resistencia. El fenómeno eléctrico evoluciona normalmente durante la formación de nubes de tormenta. La nube típica de tormenta es el Cumulonimbos que eléctricamente se transforma en un condensador natural (Q1), creando la aparición de un segundo condensador a causa de la diferencia de potencial entre la base de la nube y la superficie de la tierra (Q2). Las cargas se concentran en los puntos más predominantes del suelo, y la capacidad de carga de los elementos en el suelo está proporcionalmente relacionada con la capacidad de la carga de Q1, su velocidad de desplazamiento, la permeabilidad del medio y la variación de distancias entre placas (base de la nube y elementos en tierra o la propia tierra).

En promedio, un rayo mide **1500 metros** y el más extenso fue registrado en Texas y alcanzó los **190 km** de longitud. Un rayo puede alcanzar la velocidad de **200.000 km/h**. La diferencia de potencial es mil millones de voltios con respecto al suelo. Se estima que cada año se registran **16.000.000** de tormentas con rayos.

El jueves 23 de Abril de 2015, el diario El Tiempo [Click sobre el hipervínculo, si desea ver la nota completa] de Colombia, publicó una nota titulada (**¿En qué lugares de la Tierra caen más rayos?**) y destacaba que la **NASA** entre 1995 y el 2013, confirmaba que es mucho más probable que estas descargas ocurran en tierra firme (no en los océanos), sobre todo si se ubica en países cercanos a la línea del Ecuador, confirmando que en la Tierra, caen en promedio **150 rayos al año, por kilómetro cuadrado** y destacaba que **Maracaibo (en Venezuela)** es el territorio que mayor cantidad de descargas de este tipo recibe, pues se estima que en esa zona se experimentan alrededor de **300 tormentas eléctricas** cada año. Es de destacar dos hechos que quizá no conocíamos muy en profundidad y ellos están referidos al hecho de la Cuenca del Catatumbo, incluye cerca de 18.000 km<sup>2</sup> de territorio colombiano según se desprende del mapa mostrado a continuación y que se extiende entre la Cordillera Oriental y el Lago de Maracaibo (Venezuela) y ocupa la mitad del Departamento de Norte de Santander, aproximadamente, 1,1 millones de hectáreas de las cuales, unos 17.700 km<sup>2</sup>, corresponden a la cuenca del Catatumbo en Colombia. (ver mapa a continuación).

El rayo



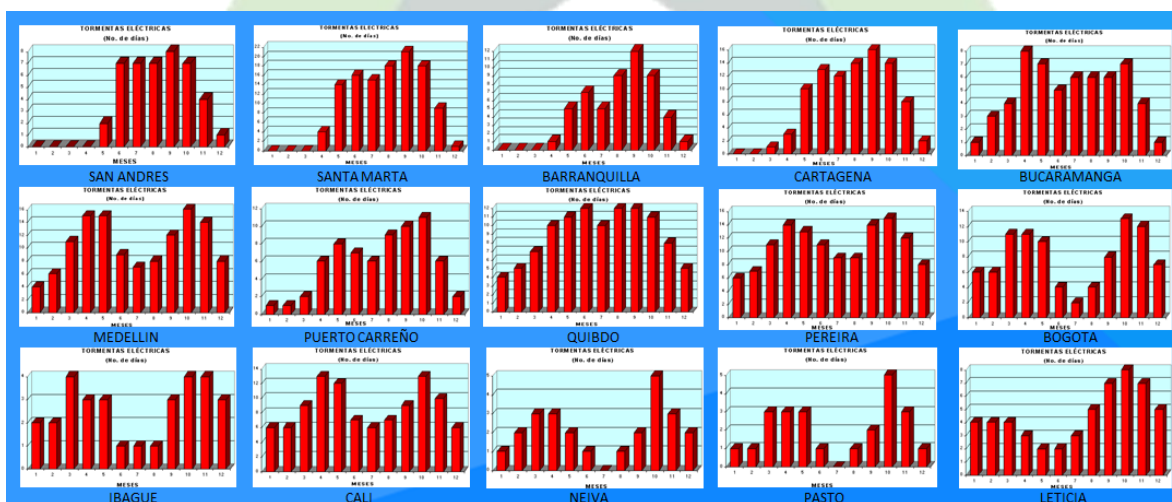
La ionización



Así mismo y según se desprende de la información pública y disponible en el Geovisor del IDEAM, y su Programa de Meteorología Aeronáutica, se puede observar estadísticamente la cantidad de Tormentas Eléctricas que se producen mensualmente en diferentes aeropuertos de Colombia y el número de días con presencia de dicho fenómeno pudiendo adoptarse como guía para efectos de una evaluación preliminar de riesgo en materia de actividad eléctrico-atmosférica (ver figura inferior). Dado que es factible con estos datos establecer si una población o ciudad será afectada por el fenómeno, es sin embargo imposible determinar si una estructura en particular puede o no llegar a ser afectada, independiente de que se encuentre "protegida" a través de dispositivos de cebado (pararrayos), donde los elementos más importantes son la Punta o Punta Captadora más conveniente, pero cuyo tratamiento está mucho más allá del objetivo del presente escrito.

Digamos solamente que existen múltiples Normativas vinculadas a los sistemas de protección contra rayos entre las que se encuentran **IEC 62305:2013**, **UNE - EN 62305:2011**, **NFPA 780:2014**, o la **NTC 4552** para Colombia.

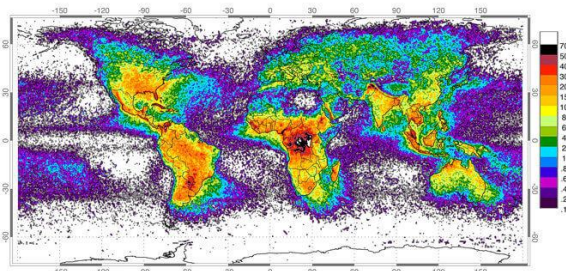
Como última instancia anotemos que existen distintos tipos de rayos y dentro de los más conocidos se encuentran, **Rayo de Nube a Tierra**, **Rayo perla**, **Rayo Staccato**, **Rayo bifurcado**, **Rayo de tierra a nube** y **Rayo de nube a nube**.



Finalmente, para tener una conciencia de la actividad eléctrica a nivel mundial, destacamos:

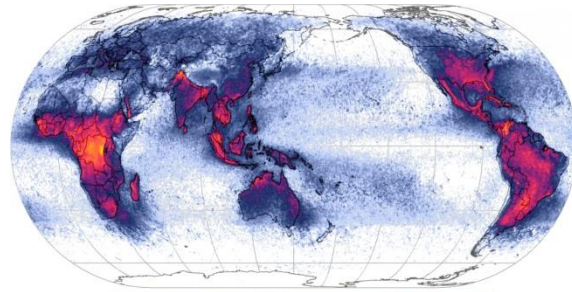


RISK AN



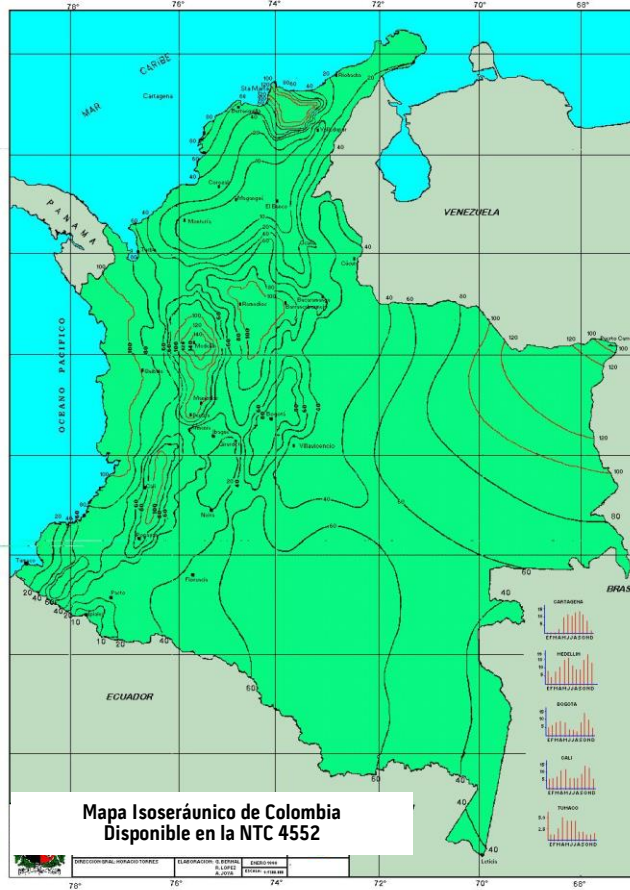
**High Resolution Full Climatology Annual Flash Rate**  
Global distribution of lightning April 1995-February 2003 from the combined observations of the NASA OTD (4/95-3/00) and LIS (1/98-2/03) instruments

Densidad anual de relámpagos



**Average strikes per square kilometre per year**  
0.1 0.2 0.5 1 2 5 10 20 50 100 200

Densidad de impactos promedio por año



**Mapa Isoeráunico de Colombia Disponible en la NTC 4552**

**ANÁLISIS DEL RIESGO EN LA SUSCRIPCIÓN Y EN LA ATENCIÓN DEL SINIESTRO**

Dado que los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, son causa de interferencias en sistemas electrónicos. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se requiere de las técnicas para señales en altas frecuencias.

A la frecuencia debida a la descarga del rayo, la impedancia de un cable de cobre usado en las puestas a tierra (de unos 1.64 uH/m) presenta un carácter predominantemente inductivo. En conductores de más de 10 metros la impedancia que representan es muy elevada, lo cual impide la conducción de la corriente. Como los rayos se reflejan como cualquier onda de alta frecuencia, es básico que la impedancia a tierra sea baja para la descarga, ya que todas las partes del sistema conectadas a tierra, elevarán y bajarán su potencial con respecto de tierra al tiempo de la descarga.

**EFFECTOS PRODUCIDOS POR LA CAÍDA DE UN RAYO:**

**PRIMARIOS:** Los efectos directos de un rayo son la destrucción física causada por el impacto de los que pueden resultar incendios. En estos casos, ante la presencia de combustibles expuestos, el impacto o el calentamiento producido por la descarga puede iniciar incendio. Cuando el rayo cae en una instalación de cualquier tipo, siempre buscará el camino a tierra de más baja impedancia y por el circulara hasta la tierra; sin embargo, si el conductor mantiene algún equipo conectado y es atravesado por esa corriente, muy seguramente será destruido. Es posible concluir que, si bien la caída del rayo es la más devastadora, también es la más improbable.

## RISK A

**SECUNDARIOS:** Los efectos secundarios de un impacto directo de rayo o cercano a una instalación incluyen:

**La Carga electrostática:** La célula de tormenta induce una carga estática en cualquier estructura inmersa en la tormenta, como ya vimos. Esta carga estática, por consiguiente, estará relacionada con la carga de la célula de la tormenta. Debido a ello, se inducirá una diferencia de potencial en la estructura o conductor respecto a tierra que será un posible causante de interferencias. Como consecuencia de la carga electrostática se producen los arcos secundarios que es una de las interferencias más frecuentes.

**Pulsos Electromagnéticos:** Son el resultado de los campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente a través del canal de descarga del rayo. Después de que se establece el canal de descarga del rayo entre la nube y la tierra, se forma un camino tan conductivo como el de un conductor eléctrico. La corriente de neutralización comienza a fluir rápidamente y produce un campo magnético en relación a la misma. Ya que estas corrientes de descarga crecen rápidamente, alcanzan corrientes pico de cientos de miles de amperios con pulsos magnéticos muy significativos, como puede hacerlo también el voltaje a través de cables que corren paralelamente.

**Pulsos Electroestáticos:** Los pulsos transitorios o pulsos electrostáticos, son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica. Cualquier conductor suspendido sobre la superficie de la tierra, está inmerso dentro de un campo electrostático y será cargado con un potencial en relación a su altura sobre la superficie de la tierra. Por ejemplo, una línea de distribución eléctrica o telefónica aérea, a una altura promedio de 10 metros, en un campo electrostático medio, durante una tormenta eléctrica, se cargará con un potencial de entre 10 kV y 300 kV con respecto a la tierra.

**Corrientes de tierra:** La corriente transitoria de tierra es el resultado directo del proceso de neutralización que sigue a un impacto de rayo. El proceso de neutralización, es consumado por el movimiento de la carga a lo largo o cerca de la superficie de la tierra, desde el punto donde se induce la carga, hasta el punto donde termina el rayo. Cualquier conductor enterrado o cercano a esa carga, proveerá un camino más conductivo desde el punto donde se inicia, al punto donde termina el rayo. Esto induce un voltaje en relación con la carga que se maneja en estos conductores, lo cual otra vez está relacionado con la cercanía a donde el rayo impactó. A éste voltaje inducido se le llama "corriente transitoria de tierra" y aparece en alambres conductores, tuberías y otras formas de conductores. Aunque el proceso de descarga es muy rápido (20 microsegundos) y la relación de crecimiento al pico es tan pequeña como 50 nanosegundos, el voltaje inducido será muy alto. La terminación de un rayo de retorno en la tierra puede causar los efectos siguientes:

- Arqueos a través de la tierra a tuberías de gas adyacentes, cables o sistemas de tierra.
- La corriente de sobrecarga, puede correr por la tierra paralelo al sistema de tierras electrónico existente, lo cual originará una distribución de elevación de potencial de tierra no uniforme en el sistema de tierra.

**Sobre voltaje Transitorio:** Se produce como consecuencia de los anteriores y pueden causar graves daños en los equipos o sistemas si no están convenientemente protegidos. La carga electrostática (y consecuentes arcos secundarios) es lo más común.

Como ejemplo tenemos la carga electrostática y los pulsos electromagnéticos que inducen altos voltajes transitorios en cualquiera de los conductores eléctricos que se encuentran dentro del área de influencia de esos transitorios. Estos transitorios causarían arqueos entre alambres o cables conductores y entre tuberías a tierra. Los arcos o chispas de corriente electrostática en un punto vulnerable, pueden iniciar incendios o explosiones. Además estos sobre voltajes pueden llegar a los conductores hacia los equipos o sistemas que estén dentro del área de influencia causando fallos y averías en los mismos si estos no están protegidos contra las sobretensiones.

Debemos tener en cuenta en un radio de unos 1,5 km desde el punto e impacto de un rayo, las instalaciones electrónicas pueden ser perturbadas y en ocasiones destruidas.

Las formas en que se acoplan las interferencias producidas por el rayo son:

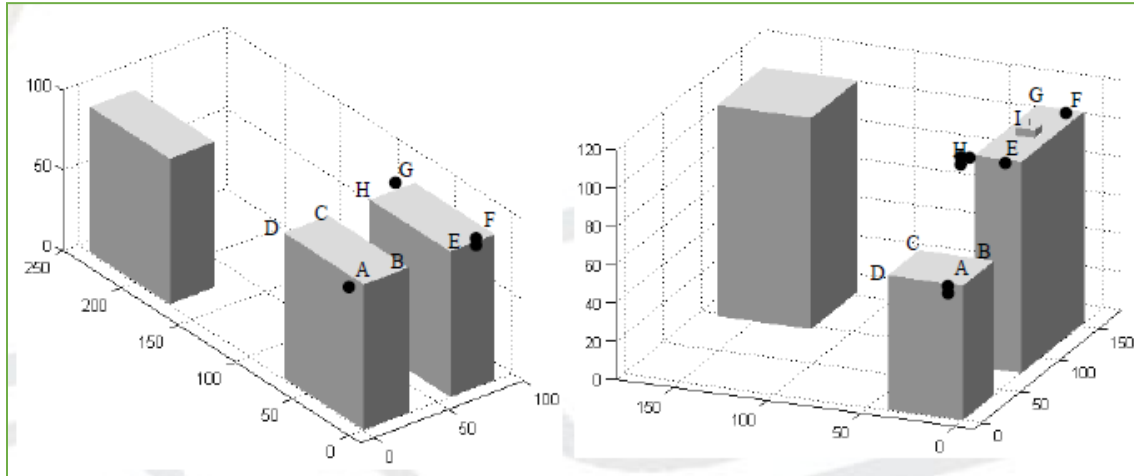
- Acoplamiento resistivo:** Al caer un rayo sobre una construcción o sobre tierra, se produce una elevación del potencial eléctrico que afecta a las tuberías y a los cables enterrados y viajan a través de ellas hasta penetrar en las edificaciones. Especial riesgo corren, como es de suponer, los cables y tuberías aéreas. Así un rayo es capaz de inducir corrientes de 1,5 kA y 5 kV en cables subterráneos, y de 3 kA y 6 kV en cables aéreos.
- Acoplamiento Inductivo:** Las enormes corrientes del rayo al caer a tierra mediante descargadores establecen un camino que genera un campo electromagnético que induce a otros conductores de fuerza, principalmente por que no están apantallados, voltajes de varios kVs
- Acoplamiento capacitivo:** Debido a la naturaleza de alta frecuencia de los rayos, estos se acoplan capacitivamente entre arrollamientos de Alta a Baja Tensión (transformadores), provocando fallas en las fuentes de equipos electrónicos que son sensibles y débiles.

Los efectos secundarios no siempre son fácilmente identificados como la causa o el mecanismo del rayo. La protección convencional o protección primaria no influirá ni reducirá ninguno de los efectos secundarios, sin embargo sí que aumenta el riesgo de un evento.

Las puntas pararrayos o terminales aéreas atraen el rayo y fortalecen una terminación del impacto muy cerca de las zona de influencia, causando interferencias con los equipos existentes.

**RISK A** Además, la tendencia hacia la microelectrónica, trae como consecuencia que los sistemas electrónicos sean más sensibles a los fenómenos transitorios, por ejemplo, transitorios de 3 V pico o niveles de energía más bajos que  $10^{-7}$  Julios, pueden dañar o “confundir” esos sistemas y sus componentes.

**RIESGOS Y DAÑO FÍSICO A ESTRUCTURAS**



Las observaciones más comunes de afectación de estructuras físicas que pueden observarse en edificios convencionales están vinculadas por lo general a ubicaciones superiores de los mismos, produciendo averías menores como la de los ejemplos mostrados en conjuntos más o menos cercanos de unidades con alturas igualmente similares. Algunos daños presentados por el simple impacto se observan a continuación:



Impactos en terrazas



Esquinas de edificios



RISK AND CLA



En fachadas



En techos



En torres superiores



En voladizos

**DAÑOS A ESTRUCTURAS Y LINEAS DE SERVICIO A CONSECUENCIA DE INCENDIO PROPICIADO POR IMPACTO DIRECTO DE RAYO**

No obstante las apreciaciones simples mostradas en la evidencia fotográfica anterior, es preciso señalar que el fenómeno del Rayo, manifiesta implicaciones en las que si bien el efecto directo puede ser menor, si es de enorme consideración pensar en la consecencial, siempre vista desde el punto de vista del evento originador y de la forma que es posible asegurarlo a la luz de las coberturas que usualmente se colocan en el mercado a manera de protección indemnizatoria.

En éste orden de ideas, para las **Estructuras Físicas y sus Contenidos**, es posible identificar las siguientes características de afectación, incluyendo personas, por fuego a partir del evento detonante: RAYO.

La siguiente tabla muestra los efectos del rayo sobre varios tipos de **estructuras**:

**RISK AND CLAIM**

Tipo de estructura de acuerdo a su función y/o Contenido	<b>Efectos del rayo</b>
<b>Viviendas</b>	Perforación de las instalaciones eléctricas, incendio y daño material Daño normalmente limitado a objetos expuestos al punto de impacto o a la vía de la corriente del rayo. Fallo de los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos instalados (televisores, computadoras, módems, teléfonos, etc.)
<b>Edificios e Instalaciones Agrícolas</b>	Riesgo primario de incendio y peligro de tensión de paso así como daños materiales. Riesgo secundario debido a pérdida de la energía eléctrica, y peligro para la vida de animales útiles debido a fallo del control electrónico de los sistemas de suministro de ventilación, alimento, etc.
<b>Teatros, Hoteles, Centros Educativos, Centros Comerciales, Areas Deportivas</b>	Daño a las instalaciones eléctricas (ejemplo: iluminación eléctrica) que probablemente cause pánico. Fallo de alarmas de incendio que provocan medidas retardadas de lucha contra el fuego y la presencia de humo y gases de combustión.
<b>Bancos, entidades gubernamentales y Oficinas en general</b>	Como las anteriores, más los problemas que resultan de la pérdida de comunicación, fallo de computadoras y pérdida de datos.
<b>Hospitales, Centros médicos, Prisiones y otros centro con acumulación de público</b>	Como las anteriores, más problemas de personas en cuidados intensivos, y las dificultades del rescate de personas inmóviles.
<b>Industrias Intermedias en general</b>	Efectos adicionales que dependen del contenido de las fábricas, yendo desde menores hasta daños inaceptables y pérdida de producción (Lucro Cesante).
<b>Museos, Sitios Arqueológicos, Centros Religiosos</b>	Pérdida de herencia cultural irremplazable. Lucro Cesante
<b>Telecomunicaciones, Centrales Eléctricas, Acueductos y similares</b>	Pérdidas inaceptables de Servicios Públicos. Pérdida de Beneficios e Incremento en Costos de Operación
<b>Fábricas de Explosivos, Municiones, Centros Militares y/o de Policía</b>	Consecuencias por el fuego y la explosión para éstas instalaciones y sus alrededores, detonándose una Responsabilidad Civil a Terceros
<b>Plantas químicas, Refinerías, Laboratorios Farmacéuticos, Plantas Bioquímicas</b>	Incendio y deterioro parcial o total de funcionamiento de la planta con consecuencias desfavorables para el ambiente local y global. Lucro Cesante mayor. Responsabilidad Civil, Pérdida de Productos por contaminación

Esta tabla muestra los efectos del rayo sobre varios tipos de **servicios**.



**RISK AND CLAIM**

Tipo de Servicio	Efectos del rayo
<b>Líneas de telecomunicaciones</b>	Daño mecánico a la línea, fusión de los blindajes y conductores, ruptura del aislamiento del cable y el equipamiento produciendo un fallo primario con pérdida inmediata del servicio Fallos secundarios en los cables de fibra óptica con daños al cable pero sin pérdida del servicio.
<b>Líneas Eléctricas</b>	Daños a aisladores de líneas aéreas de baja tensión, perforación del aislamiento de la línea del cable, ruptura del aislamiento del equipamiento y transformadores de línea, con pérdida significativa del servicio.
<b>Tuberías de Agua</b>	Daños al equipamiento de control eléctrico y electrónico que probablemente cause pérdida del servicio por largos periodos.
<b>Tuberías de Gas y/o Combustibles</b>	Perforación de las juntas tipo collar no metálicas que probablemente cause incendio y/o explosión. Daños al equipamiento de control eléctrico y electrónico que probablemente cause pérdida del servicio

Las descargas directas sobre una estructura pueden provocar:

- Daños mecánicos directos, incendio y/o explosión debido al propio arco de plasma caliente del rayo, a la corriente que produce sobrecalentamiento óhmico de los conductores o a la carga eléctrica que produce una erosión de arco (fusión del metal).
- Incendios y/o explosiones iniciados por chispas producidas por las sobretensiones resultantes de acoplamientos resistivos e inductivos y por la circulación de una parte de la corriente del rayo.

Las descargas directas sobre un servicio conectado a la estructura pueden provocar:

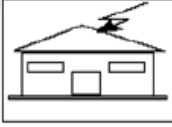
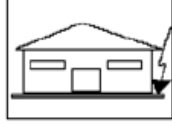


- Incendios y/o explosiones iniciados por chispas producidas por las sobretensiones y corrientes de rayo transmitidas a través de los servicios conectados a la estructura.

Como complemento a las consideraciones anteriores, es preciso anotar a manera de resumen, que en nuestro medio es posible clasificar que, tanto las incidencias directas del rayo sobre las estructuras, es decir, dónde se concentran los daños puramente estructurales, como las consecuencias de las mismas, según la Fuente, el Daño, las Pérdidas y las Causas de Daño en Equipos Eléctricos y Electrónicos, de la siguiente forma:

**UBICACION DEL IMPACTO DIRECTO EN ESTRUCTURAS:**

Localización del impacto	Porcentaje de ocurrencia [%]
<i>Puntas y esquinas</i>	> 80
<i>Bordes horizontales</i>	< 10
<i>Bordes verticales</i>	< 5
<i>Superficies planas</i>	< 1

**CONCEPTO Y DEFINICION DE LAS PARTICULARIDADES DEL EVENTO PROCEDENTE DEL RAYO:**

Punto de Impacto		Fuente de Daño	Tipo de Daño	Tipo de Pérdida
RI Estructura		S <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	L <sub>1</sub> L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>3</sub> , L <sub>4</sub> L <sub>1</sub> , L <sub>4</sub>
Cerca de la estructura		S <sub>2</sub>	(D <sub>2</sub> ) <sup>**</sup> , D <sub>3</sub> <sup>***</sup>	L <sub>1</sub> <sup>*</sup> , L <sub>2</sub> , L <sub>4</sub>
Acometida de servicio entrando a la estructura		S <sub>3</sub>	D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub>	L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>3</sub> , L <sub>4</sub>
Cerca de la acometida de servicio		S <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	L <sub>1</sub> <sup>*</sup> , L <sub>2</sub> , L <sub>4</sub>
Nota: Sin paréntesis: daños inmediatos y pérdidas. En paréntesis: Posibles daños críticos y pérdidas * En el caso de hospitales y de estructuras con riesgo de explosión ** En el caso de estructuras con riesgo de explosión *** En el caso de estructuras con sistemas electrónicos				

### Conceptos y Definiciones

#### Fuente de Daño

- S1: Rayos a la estructura
- S2: Rayos cerca de la estructura
- S3: Rayos a las acometidas de servicios
- S4: Rayos cerca a las acometidas de servicios

#### Tipos de Daño

- D1: Lesiones a seres vivos
- D2: Daño físico a la estructura o acometida de servicios
- D3: Falla de sistemas eléctricos o electrónicos

#### Tipos de Pérdidas

- L1: Pérdida de vidas humanas
- L2: Pérdida de servicio público
- L3: Pérdida de patrimonio cultural
- L4: Pérdida de valor económico

#### Causas de Daños en Equipos Eléctricos y Electrónicos

- Rayos y Sobretensiones = aprox. 45%
- Otras Causas = aprox. 41%
- Causas desconocidas = aprox. 14%

Juan Carlos Lancheros. P.E Mech, BBA, EGS, Cert CILA  
 C.E.O