

SOFTWARE PARA PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA RAYOS EN EDIFICACIONES

César Augusto Agudelo Osorio¹
Guillermo González-Calderón²
Gloria Isabel Carvajal Peláez³

1. Ingeniero Electricista Universidad de Antioquia, Gerente de Ingetesa S.A., conferencista CIDET. ca.agudelo@ingetesa.com
2. PhD (C) en Ingeniería - Sistemas. Grupo de Investigación ARKADIUS. Universidad de Medellín. ggonzalez@udem.edu.co
3. PhD en Ingeniería de la Construcción y Gestión Ambiental. Grupo de Investigación GICI. Universidad de Medellín. gicarvajal@udem.edu.co

Resumen. El diseño y la implementación de sistemas de protección contra rayos son una necesidad a nivel mundial, en especial en zonas donde la actividad cerámica es importante. En los últimos años se han registrado avances significativos en la normalización de los sistemas de protección, representados en la expedición de la norma IEC 62305 a nivel internacional y la norma NTC 4552 en Colombia. Sin embargo, el avance de las herramientas comerciales para el diseño de dichos sistemas es mínimo. En este artículo se propone una solución a la protección externa contra rayos por medio de la aplicación del modelo electrogeométrico en 3D, utilizando computación gráfica para la distribución de puntas captadoras en las diferentes estructuras, con el fin de garantizar un cubrimiento total de las edificaciones.

Palabras clave: Protección externa contra rayos, modelo electrogeométrico, speer, computación gráfica, riesgos en edificaciones.

1. INTRODUCCIÓN

Como lo plantea el reglamento técnico de instalaciones eléctricas [1] en el artículo 18, “El rayo es un fenómeno meteorológico de origen natural, cuyos parámetros son variables espacial y temporalmente. La mayor incidencia de rayos en el mundo, se da en las tres zonas de mayor convección profunda: América tropical, África central y norte de Australia. Colombia, por estar situada en la zona de confluencia intertropical, presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta”. Esta característica del País genera una alta dinámica de investigación a nivel de las universidades y experticia en las empresas consultoras en torno al diseño e implementación de sistemas de protección contra rayos, lo cual le da al País un potencial exportador basado en las buenas prácticas obtenidas con la experiencia condicionada por el entorno. Según ParqueSoft, “Actualmente existe una industria representativa de software en Colombia, soportada por empresas de todos los tamaños que hacen presencia en el mercado nacional e internacional en pleno crecimiento, produciendo software para muchos sectores de la

economía. Pero esta base de empresas es insuficiente y se requiere un rápido desarrollo de este sector de la economía, para ocupar los mercados emergentes nacionales e internacionales” [2].

Aunque la necesidad y la demanda de sistemas de protección contra rayos aumentan cada día en Colombia y el mundo, solamente empresas especializadas como Ingetesa S.A. [3] se encuentran en capacidad de hacer estos diseños en forma automatizada, ya que cuentan con software para simulación desarrollados por las mismas compañías. Por esta razón la gran mayoría de las empresas constructoras y del sector eléctrico deben subcontratar estos diseños, incurriendo en costos que podrían disminuir si contaran con una herramienta que esté parametrizada de acuerdo con normas como la IEC 62305 o la NTC-4552, lo cual no se ha logrado, dado que el software existente no es comercializado por las empresas consultoras.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación se describen los conceptos técnicos que soportan el marco de trabajo en referencia:

2.1 Descargas Atmosféricas

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes [5]. Las descargas atmosféricas pueden causar grandes diferencias de potencial en sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas [6].

2.2 Sistemas de Pararrayos

Los rayos ocurren con diferentes intensidades y un sistema que proteja contra su efecto deberá ser diseñado tomando en cuenta los rayos promedio o mayores del área en cuestión. Las descargas no pueden ser detenidas, pero

la energía puede ser desviada en una forma controlada. El intentar proteger contra descargas directas puede ser excesivamente caro [5].

Un sistema de protección contra descargas, llamado de pararrayos, debe:

- Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito llamado terminal aérea.
- Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfieren la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia, y;
- Disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra

2.3 Estándares de Protección

Tanto en Europa (donde caen menos rayos que en nuestros países latinoamericanos), como en Norteamérica, se ha debatido mucho sobre los métodos de protección, tanto así que en misma Europa permanecen los dos estándares de protección, el llamado *Franklin/Faraday*, que es el tradicional, y el de puntas de inicio (*early streamers* en inglés) [5]. En EUA, el estándar aprobado por la asociación contra el fuego (NFPA) es el Franklin/Faraday y, se conoce como NFPA-780. El otro, no fue aceptado como parte del estándar, ya que se considera de efectividad igual que una punta del tipo Franklin [6].

2.4 Zona de Protección

La técnica usada para analizar la acción de las descargas en objetos a tierra es el modelo electromagnético desarrollado originalmente por Golde R.H. [7]. Y derivado de ese modelo, desde 1970 se emplea el método de la esfera giratoria para calcular la zona o distancia de protección de los pararrayos [4]. El equipo dentro de la zona de protección debe ser conectado a la misma red de tierras para que no exista una diferencia de potencial entre puntos en el sistema. Sin embargo, aparatos conectados a líneas eléctricas que salen del área de mismo potencial pueden dañarse de no tener las protecciones necesarias sobre equipos electrónicos.

2.4.1 Modelo Electrogeométrico

El apantallamiento (sistema de protección externa contra descargas eléctricas atmosféricas) mediante el modelo electrogeométrico consiste en ubicar los elementos de protección de tal forma que el líder escalonado del rayo vea siempre en primer lugar un elemento de protección [1].

En la Figura 1A se muestra un corte de la configuración para lograr el apantallamiento efectivo de una línea de transmisión para una distancia de atracción S . En la Figura 1B se presenta un apantallamiento no efectivo, puede observarse una zona sombreada en rojo para resaltar un área desprotegida, pues si la cabeza del líder escalonado llega a ésta, será atraído por una de las fases de la línea y no por la tierra o un cable de guarda.



Figura 1. Ejemplo de Aplicación del modelo Electrogeométrico.

2.4.2 Modelo de la esfera rodante

En 1977 se desarrolló una técnica simplificada para aplicar la teoría electromagnética al apantallamiento de edificios y plantas industriales, esta técnica se conoce como el Modelo de la Esfera Rodante [6]. Este método emplea la suposición simplificada que la distancia de atracción a tierra, a una punta captadora o a un cable es la misma. El método, consiste en hacer rodar una esfera de radio rS sobre la edificación protegida. Toda área de la edificación que esté desprotegida será tocada por la esfera, si el apantallamiento es adecuado la esfera solo tocará los elementos de protección (puntas captadoras).

Para la validación de los resultados existen normalmente dos caminos, ambos basados en la aplicación de la técnica de la esfera rodante, el primero consiste en la elaboración de una maqueta a escala de la edificación protegida, incluyendo los elementos captadores, al hacer rodar una esfera de radio rS a escala se verifica que la misma únicamente se apoye sobre elementos captadores. El segundo camino para la validación de resultados consiste en realizar una representación gráfica de la edificación utilizando una aplicación para dibujo asistido por computador, ejecutando una tarea análoga a la ejecutada con la maqueta.

3. PROBLEMÁTICA EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

3.1 Normatividad

La dependencia y el aumento progresivo del consumo de la electricidad en la vida actual, obligó al Ministerio de Minas y Energía de Colombia a establecer unas exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las personas con base en el buen funcionamiento de las instalaciones, la fiabilidad y calidad de los productos, la compatibilidad de los equipos y su adecuada utilización y mantenimiento. Dichas exigencias fueron incluidas dentro del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) de obligatorio cumplimiento en Colombia [1]. El RETIE es vigente desde el año 2005. Sin embargo, su aplicación real sólo se logró a mediados del año 2007 cuando se comenzaron a realizar inspecciones a las instalaciones eléctricas en Colombia, con el fin de verificar su cumplimiento. Hoy en día el sector sigue avanzando en la aplicación del reglamento, cerrando la brecha entre los requerimientos y su cumplimiento real, de igual forma el RETIE es dinámico, ajustándose a las necesidades del país y del sector. Aunque persisten algunos apartes polémicos y otros definitivamente poco

acertados, es indudable que el Reglamento ha sido y se espera que siga siendo una herramienta para la mejora continua del sector eléctrico Colombiano en pro de la seguridad y el bienestar de todos los ciudadanos.

Dentro del RETIE, el Ministerio de Minas y Energía tuvo en cuenta que Colombia por estar situada en la zona de confluencia intertropical, presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta [1]; por lo tanto estableció como requisito la ejecución de un estudio de riesgo por rayos, para garantizar la seguridad en instalaciones donde pueda existir alta concentración de personas, tales como, viviendas multifamiliares, edificios de oficinas, hoteles, centros de atención médica, lugares de culto, centros educativos, centros comerciales, industrias, supermercados, parques de diversión, prisiones, aeropuertos y cuarteles. Dependiendo de la valoración del riesgo, será necesario el diseño y construcción de un sistema de protección externa contra rayos en algunas instalaciones.

Dentro de los requerimientos del artículo 18 del RETIE, resolución 181294 de 2008, el ministerio ligó el análisis de riesgo a la “alta concentración de personas”, la cual de acuerdo con la definición del mismo reglamento implica la concentración de más 500 personas en la edificación o 100 o más personas por nivel, lo cual genera que prácticamente ningún edificio destinado a vivienda requiriera dicho análisis y consecuentemente el diseño y construcción de un sistema de protección contra rayos.

La metodología de análisis de riesgo presentada en la norma NTC 4552-2 [1] tiene en cuenta múltiples factores para el cálculo del riesgo por rayos, incluyendo características de la edificación tales como altura, tipo de estructura, uso y su entorno. Como se muestra a continuación, existen diferentes casos en los cuales el riesgo puede ser alto por factores diferentes.

En la Foto 1 se presentan los daños causados en una vivienda unifamiliar de dos plantas que fue impactada por una descarga eléctrica atmosférica.



Foto 1. Daños en una vivienda unifamiliar por impacto directo de un rayo.

En el caso ilustrado en la Foto 1, la vivienda tiene un bajo riesgo asociado con la cantidad de personas y dimensiones de la misma. Sin embargo, se encuentra ubicada en la cima de una montaña de una zona con alta actividad de rayos, lo cual ha generado en esta vivienda y en las edificaciones aledañas múltiples daños.

En la Foto 2, se presentan los daños causados en un edificio de más de 150 metros de altura, donde sus dimensiones son factor que evidentemente incrementa el riesgo de la edificación.



Foto 2. Daños en un edificio por impacto directo de un rayo.

Es de esperarse que las nuevas versiones del RETIE tengan en cuenta que el riesgo de una edificación no está ligado a un solo factor y que por el contrario es el resultado de un análisis riguroso, realizado por una persona calificada que aplica los procedimientos establecidos en la normatividad, teniendo en cuenta tanto las características de la edificación como las de su entorno. La ejecución del análisis será la única forma de tomar las medidas de protección necesarias para garantizar un equilibrio entre la seguridad de la instalación y las inversiones en medidas de protección.

En algunos casos se encontrarán edificaciones en las que luego de realizarse el análisis de riesgo no requerirán la implementación de medidas de protección, en otros casos será necesario la aplicación de medidas de protección que van desde un sencillo extintor, hasta la implementación de un sistema de protección externa y/o la instalación de un sistema de detección y extinción de incendios.

En cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 18 del RETIE, en los casos en los cuales es necesaria la implementación de un sistema de protección externa, el diseño de dicho sistema debe realizarse aplicando un método reconocido por normas técnicas internacionales como la IEC 62305-3, de reconocimiento internacional o NTC 4552, las cuales se basan en el modelo electrogeométrico.

3.2 Diseño de sistemas de protección externa contra rayos.

El RETIE cambió la visión del diseño de sistemas de protección externa contra rayos en Colombia, al hacer obligatoria la aplicación del modelo electrogeométrico, ya que con frecuencia se encontraban edificaciones “protegidas” con una sola punta captadora [1]. Sin embargo, actualmente persiste una aplicación errónea del modelo electrogeométrico [4], fundamentada en la utilización de herramientas como programas de dibujo en dos dimensiones e inclusive en muchos casos diseños con regla y compás.

La aplicación del modelo electrogeométrico implica una tarea dispendiosa, en especial cuando aumentan el número de puntas captadoras y la complejidad arquitectónica de la edificación, lo cual implica usualmente que se cometan errores por simplificación del modelo [4]. Un ejemplo común de error es el que se genera cuando se verifica el cumplimiento del modelo electrogeométrico en dos dimensiones.

La Figura 2 presenta una vista lateral de una bodega cúbica con base de 15 x 15 metros y altura de 4 metros. Al instalar puntas captadoras de ochenta centímetros de altura en cada una de las esquinas y verificar en dos dimensiones el cumplimiento del modelo electrogeométrico se observa gráficamente que el arco formado por la esfera rodante de 45 metros de radio al apoyarse sobre las puntas captadoras es tangente a la estructura. Sin embargo, esta verificación es errónea dado que el análisis correcto implica una verificación tridimensional del modelo.

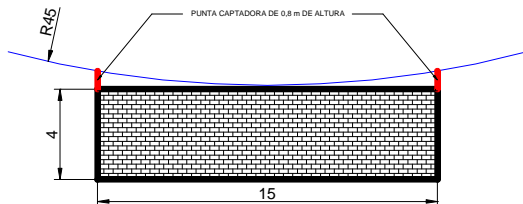


Figura 2. Aplicación en dos dimensiones del modelo electrogeométrico.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN: SOFTWARE SPEER

El software SPEER es una herramienta de simulación de sistemas de protección externa contra rayos basada en el modelo electrogeométrico, el cual es adoptado por las normas más importantes de protección contra rayos a nivel mundial, por lo cual la aplicación es totalmente compatible con dichas normas [6]:

- IEC 62305 Protection against lightning (Europea-Internacional)
- NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems (Americana)
- NTC 4552-3. Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Colombiana)

El software Speer cuenta con la validación técnica de sus resultados mediante la verificación del modelo matemático confrontado con la teoría del modelo electrogeométrico, la ejecución de pruebas funcionales durante las diferentes etapas de diseño y desarrollo, y finalmente la verificación contra casos de estudio representados en software de dibujo tridimensional.

Utilizando el programa SPEER se generan los contornos de protección de los elementos captadores, con el fin de verificar la correcta protección de las estructuras del área en estudio mediante la aplicación del modelo electrogeométrico acorde con RETIE [1].

Utilizando el programa SPEER se genera un modelo tridimensional simplificado de la edificación, graficando las estructuras.

En la Figura 3, obtenida del programa de diseño de protección contra rayos SPEER, se presenta el mismo caso visto en tres dimensiones, presentando en forma gráfica el resultado de superponer los contornos que se generan al apoyar la esfera de 45 metros de radio sobre las cuatro puntas captadoras. Como resultado de la simulación en el programa SPEER pueden observarse zonas desprotegidas en la parte central de la edificación, resultados opuestos a los obtenidos con la verificación del modelo electrogeométrico en dos dimensiones.

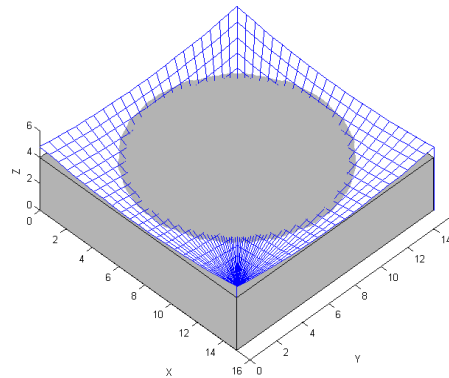


Figura 3. Verificación tridimensional del volumen de protección utilizando el programa SPEER.

4.1 Ejemplo de simulación

Utilizando el programa SPEER se genera un modelo tridimensional simplificado de la edificación, graficando las estructuras. En las Figuras 4 a 10 podrá observarse que toda edificación que se encuentre debajo de un contorno de protección (graficados en color azul) se encontrará correctamente protegida.

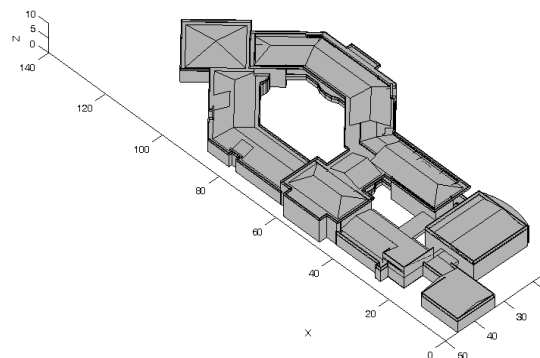


Figura 4. Vista modelo 3D de la edificación

Teniendo en cuenta que el bloque simulado presenta una alta complejidad para la simulación e interpretación de la misma debido al tamaño y forma de la edificación, las simulaciones se presentarán por áreas, facilitando la interpretación de los resultados. Inicialmente se instalaron

3 puntas captadoras para observar el efecto de protección sobre la estructura, encontrando los resultados presentados a continuación

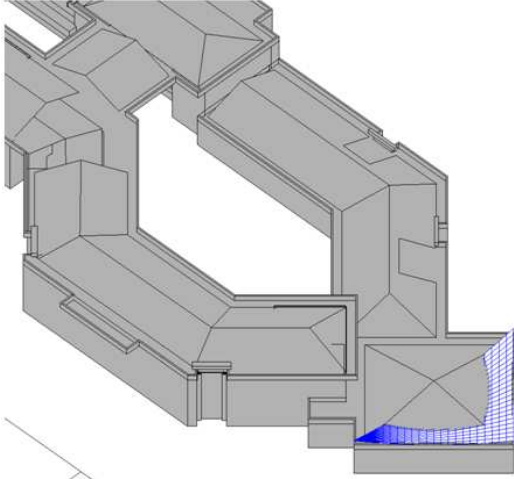


Figura 5. Contornos de protección de 3 puntas captadoras

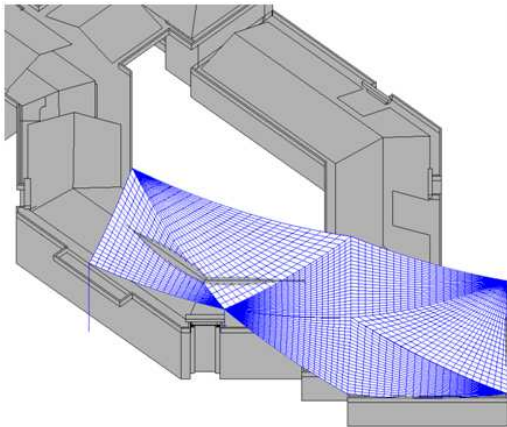


Figura 6. Contornos de protección de 8 puntas captadoras

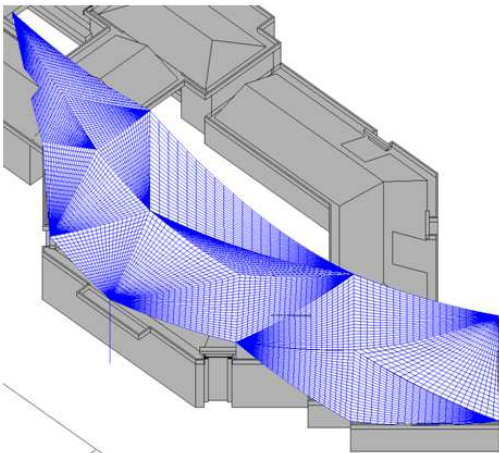


Figura 7. Contornos de protección de 15 puntas captadoras

Como se observa en la Figura 7, simulando con los contornos de protección de las puntas cercanas a la entrada principal, se logra proteger gran parte de esta zona, sin embargo quedan algunas zonas descubiertas que deben ser protegidas por cable equipotencial expuesto.

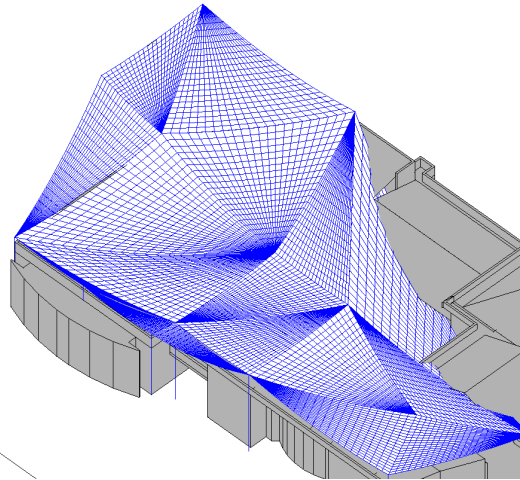


Figura 8. Contornos de protección de 25 puntas captadoras

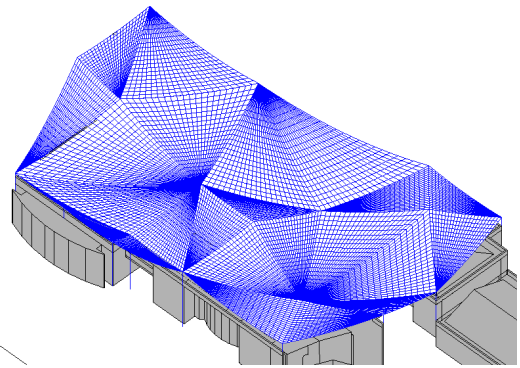


Figura 9. Contornos de protección de 30 puntas captadoras

Como se puede observar en la Figura 9, al hacer la simulación con 30 puntas captadoras se cubre completamente el área de la estructura, garantizando así una correcta protección externa contra rayos utilizando el modelo electrogeométrico.

En la Figura 10 se muestra la disposición final de las puntas captadoras sobre la estructura, sin la simulación.

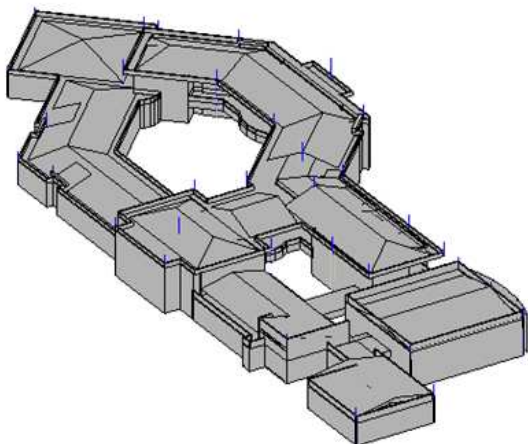


Figura 10. Disposición final de puntas captadoras

5. CONCLUSIONES

En Colombia se han registrado avances significativos asociados con la normalización y la ejecución de los diseños y montajes de los sistemas de protección contra rayos. Sin embargo, es necesario que en el futuro se siga trabajando en el tema, específicamente realizando modificaciones en el RETIE que incluyan el requerimiento de análisis de riesgo por rayos para edificaciones tanto con alta concentración de personas como para los que no la tengan, dejando bajo la responsabilidad del profesional competente la selección de las medidas de protección que sean necesarias para la instalación. Otro camino que debe ser seguido para mejora en la protección contra rayos es la aplicación del modelo electrogeométrico en tres dimensiones, evitando los errores generados por su aplicación en dos dimensiones.

6. REFERENCIAS

- [1] Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE). Ministerio de minas y energía. República de Colombia.
<http://www.recursosfisicos.unal.edu.co/pdfs/retie.pdf>
- [2] <http://www.parquesoft.org/emprender/software-en-colombia.html>
- [3] Ingetesa S.A. <http://www.ingetesa.com>
- [4] "Lightning Protection Code. ANSI/NFPA 780". National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy MA 12269
- [5] Marcus O. Durham and R. A. Durham, "Lightning, Grounding and Protection for Control Systems". IEEE Transactions on Industry Applications Jan 1995.
- [6] Martin A. Uma. "Natural and Artificially-Initiated Lightning and Lightning Test Standards". Proceedings of IEEE, Vol. 76, No. 12, Diciembre 1988. Págs. 1548-1565.
- [7] R. H. Golde, "The Frequency of Occurrence and the Distribution of Lightning Flashes to transmission lines" AIEE Trans., 1945. Vol 64, págs. 902-910.