



TALLER DE TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS. ATSA-CIPEL

Hotel Meliá Habana, 27 y 28 de marzo de 2014.

Tema: “LA PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO EN CUBA. LIMITACIONES, EFECTIVIDAD Y NORMALIZACIÓN”.

Autor: Ing. Frank Amores Sánchez, Especialista Técnico-Comercial,
APLICACIONES TECNOLÓGICAS, S. A.
Oficina de Representación en Cuba de
famores@at3w.como, atsa2_cuba@mtc.co.cu

Resumen

En el presente trabajo se revisan los métodos normalizados de protección contra el rayo, que están basados en teorías muy simplificadas y no siempre coherentes. Sin embargo, la realidad demuestra su eficacia ya que se han evitado daños a las estructuras. Cuba es un país idóneo para comprobar empíricamente esta eficacia, ya que se caracteriza por una muy alta incidencia de rayos y miles de instalaciones de protección que son regularmente fiscalizadas por la APCI. Aquí se repasan las normativas existentes a niveles internacional y nacional donde, a pesar de que la mayoría de las instalaciones son de pararrayos con dispositivo de cebado, la única norma de protección contra el rayo existente es la que trata de los captadores tipos Franklin.

1. Métodos y sistemas de proyección contra rayos.

La ubicación de los captadores depende del modelo físico que se utilice para describir el comportamiento del rayo. El desarrollo de estos modelos ha continuado en los últimos 250 años y tienen su base en las observaciones hechas sobre el propio fenómeno natural. Aunque dichos modelos tienden a ser simplificados, si se comparan con las características reales del desarrollo y propagación del rayo, sus efectividades han sido probadas mediante observaciones empíricas hechas durante largos períodos de tiempo.

1.1. Métodos de posicionamiento

Cuando se toma la decisión de dotar a una estructura de un sistema externo de protección contra rayos con la finalidad de evitar daños físicos a la misma debido a las descargas que puedan impactar, corresponde entonces determinar la cantidad, dimensiones y lugar de ubicación de captadores a instalar para lograr la “eficiencia de intercepción” o la clase de protección deseada para la estructura.

Existen tres métodos de diseño aceptados por las normas para el posicionamiento de los captadores. Estos son: el método del ángulo de protección, el método de la malla y el método de la esfera rodante.



1.1.1. Método del Ángulo de Protección.

Este método se basa en la asunción de que un captador u objeto elevado conectado a tierra crea un espacio cónico adyacente que es inmune al rayo. El concepto del “Cono de Protección” para definir una zona de protección tiene sus raíces en los inicios mismos de los estudios de protección contra rayo. Aunque a finales de los 1700 Franklin reconoció su limitación en el intervalo de captura, este concepto fue formalmente propuesto por la Academia Francesa de Ciencias en 1823 e inicialmente usado con una relación de la base igual a dos veces la altura (o sea, un ángulo de 63°). En 1855, este ángulo se cambió a 45° debido a los fallos reportados con este método. A lo largo del tiempo han sido usados otros ángulos con un nivel de éxito variable. Es evidente que mientras más pequeño se asuma el volumen del cono de protección, más efectivo será el captador en la intercepción del líder de rayo. En algunas normas actuales, se usa un ángulo variable con la altura de la estructura. Además, este ángulo de protección puede aumentarse cuando se considera la ubicación de un captador en el interior de grandes superficies planas, debido a la reducida intensidad campo eléctrico.

La ubicación del sistema de captura se considera adecuada si la estructura a proteger está situada completamente dentro del volumen de protección dado por dicho sistema.

Para la determinación del volumen de protección sólo se tendrán en cuenta las dimensiones físicas reales de los captadores. El volumen de protección mediante una punta se asume que tiene la forma de un cono recto de base circular con vértice localizado en el extremo de la punta y semiángulo α que depende del nivel de protección y altura de la punta. El volumen de protección mediante un conductor tendido se define por la composición de los volúmenes protegidos por las puntas verticales virtuales y los conductores que viajan entre los extremos de las puntas.

1.1.2. Método de malla

Consiste en ubicar conductores directamente sobre un edificio de manera que formen una malla de dimensiones preestablecidas. Estas dimensiones varían de acuerdo al nivel de protección, por ejemplo, para los casos de alto riesgo se utiliza una malla de 5×5 m y para los escenarios menos exigentes una malla de 20×20 m. El sistema de captura tipo malla requiere una rigurosa práctica de unión equipotencial así como su unión a la red de electrodos de tierra usando bajantes con el adecuado espaciamiento.

No existe relación entre este método y el anteriormente descrito. Las reglas del método de malla están determinadas por la experiencia práctica y sin ninguna investigación teórica o experimental.

Trabajos recientes demuestran que la protección de los captadores diseñada por este método sólo funciona de manera aleatoria. Más bien actúa como un colector para la circulación de la corriente por la cubierta y existe peligro real de penetración de dicha corriente en la estructura.

Los conductores que conforman la malla no constituyen puntos preferidos de impacto de rayo si los mismos están posicionados directamente sobre la cubierta del edificio. Sus probabilidades de intercepción no son mayores que las de un punto expuesto cercano. Este planteamiento



queda claramente demostrado si se aplica el método de la esfera rodante (RSM), donde se aprecia que el rayo puede impactar en el interior de las retículas que forman la malla.

Además, como la rigidez dieléctrica de los materiales de construcción como el hormigón es mucho menor que la del aire, la descarga de rayo puede saltar hacia el elemento estructural más cercano, con consecuencias impredecibles. Este método no encuentra aplicación práctica para la gran mayoría de los edificios comunes donde existen obstáculos sobre la cubierta, como las antenas de comunicaciones, afecta el aspecto estético y es costoso. [6]

1.1.3. Método de la Esfera Rodante.

Este método fue introducido por primera vez en la norma húngara de protección contra rayo de 1962. Los primeros estudios hechos con este método fueron aproximadamente en 1970 en los Estados Unidos. Fue en 1978, para la protección contra el impacto del rayo de los conductores de las líneas de transmisión de energía eléctrica, cuando primero se aplicó. Se introdujo en la NFPA 780 en la edición de 1980. Actualmente, es el método que más frecuentemente aparece en los documentos normativos de todo el mundo.

La base física de este método es el Modelo Electrogeométrico (EGM). Para aplicarlo se hace rodar una esfera imaginaria sobre la estructura en todas las direcciones. Se considera que todos los puntos de contacto requieren protección y que no es necesaria en las superficies y volúmenes no afectados.

Este método parte de las siguientes suposiciones fundamentales:

- el punto de impacto del rayo se determina cuando el líder descendente se aproxima a la tierra o a una estructura a la distancia de impacto.
- el rayo impacta al objeto en la tierra que se encuentre más cerca de su punto de discriminación y, por tanto, la peor posición es cuando el centro de una esfera es común a varios objetos en la tierra.

Como el radio de la esfera y la distancia de impacto están relacionados con la corriente del rayo, estas suposiciones permiten concluir que el rayo no impactará una estructura protegida si su distancia de impacto es mayor que el radio de la esfera.

Nótese que mientras menor es la distancia de impacto (que implica una corriente pico de rayo más baja) la esfera que puede penetrar en la zona de protección es más pequeña. Cuando se requiere hacer un diseño más conservador se selecciona el radio de la esfera usando una corriente pico menor.

La ventaja que se le adjudica al RSM es la facilidad de su aplicación para estructuras sencillas, pero en el caso de estructuras con formas complejas es casi imposible aplicarlo manualmente, necesitándose entonces de un software de modelación en 3D. Sin embargo, debido a que es una simplificación del proceso físico de conexión del rayo con la estructura, tiene algunas limitaciones. Su deficiencia fundamental radica en que asigna una habilidad de iniciación del líder igual para todos los puntos de contacto con la estructura (no distingue entre puntos de conexión del rayo probables y no probables) al no tomar en cuenta la influencia de los campos eléctricos en la iniciación de los trazadores. O sea, para una corriente pico dada, la distancia de



impacto ds es un valor constante. Esta simplificación puede conducir a un diseño sobredimensionado cuando los puntos de la estructura, que presentan una intensificación significativa del campo eléctrico, están fuera de la zona de protección definida por la esfera y su deficiencia se debe al origen del propio método (protección de las líneas de transmisión de energía eléctrica), donde los parámetros de diámetros y alturas son uniformes. Realmente, el rayo impacta preferentemente en las esquinas y los bordes de la cubierta plana de un edificio respecto a su centro o la mitad inferior de las superficies laterales.

Si se supone que la esfera rueda de manera tal que su centro se desplaza a una velocidad lineal constante puede obtenerse indicaciones cualitativas de la probabilidad de contacto del rayo con cualquier punto particular del edificio. El tiempo que dicha esfera permanece sobre ese punto del edificio ofrece una medida cualitativa de la probabilidad de que sea impactado. Por lo tanto, para un edificio sencillo de forma rectangular con cubierta plana, el tiempo de demora será grande en las esquinas y los bordes y pequeño en cualquier otro punto de la parte plana de la cubierta, indicando correctamente que la probabilidad de impacto en los primeros es mayor que en los segundos.

Existen razones teóricas para creer que sólo las descargas con baja I_p y, consecuentemente, con bajos valores de ds puedan penetrar por debajo del nivel de la cubierta de un edificio e impactar en los laterales. Debido a esto, las consecuencias de un impacto en los laterales de un edificio podrían producir daño de menor envergadura. A menos que haya razones específicas para la protección lateral, como sería el caso de una estructura que contiene explosivos, normalmente se considera que el costo de ésta no se justifica.

A pesar de las deficiencias teóricas de este método, se ha demostrado que hasta el momento es el mejor procedimiento aprobado para el diseño de los sistemas de captura. Aunque el radio no puede determinarse sobre bases teóricas, la experiencia permite asumir valores entre 20 y 60 m.

Aplicando este método, el posicionamiento de los captadores es adecuado si ningún punto de la estructura a proteger hace contacto con la esfera de radio R . De esta manera, la esfera sólo toca al sistema de captura.

Cuando se aplica el RSM a un edificio de altura mayor que el radio seleccionado de la esfera, ésta toca los bordes verticales de los laterales del edificio por encima de una altura igual al radio de la esfera. Esto indica la posibilidad de impactos en los laterales del edificio y, por tanto, la necesidad de colocar captadores en estas localizaciones. Los estudios demuestran que aunque ocurren impactos laterales en los bordes verticales de edificios altos, la probabilidad de estos decrece rápidamente con la altura del punto de impacto medida desde el terreno.

Para edificios con altura inferior a 60 m, esta probabilidad de descargas laterales es despreciable y la mayoría de las descargas golpearán la cubierta, los bordes horizontales y las esquinas de la estructura. Sólo un pequeño porcentaje de las descargas serán en los lados de la estructura. Por ello, debe considerarse la instalación de captadores laterales en la parte más alta (típicamente en el 20 % superior de la altura) de los edificios con alturas superiores a 60 m. En este caso, para el posicionamiento del sistema de captura de la parte superior de la estructura solo será aplicable el método de la esfera rodante.



1.2. Tipos de captadores

Los captadores son la parte del sistema externo de protección diseñada para interceptar las descargas de rayo. Estos realmente operan emitiendo un líder de propagación ascendente para interceptar el líder descendente del rayo. Como estos líderes son aire ionizado de cargas opuestas, se atraen y, una vez que se conectan, aportan al rayo el canal eléctrico para su conducción a la tierra. Los captadores emplazados sobre una estructura no aumentan sustancialmente la probabilidad de impacto del rayo sobre la misma, sino que constituyen un punto preferido para impacto al convertirse en un sitio con mayor probabilidad de ocurrencia. Una vez que el rayo se conecta con el captador, es más fácil controlar su corriente y dirigirla a la tierra; de lo contrario, tomaría una trayectoria aleatoria, no controlada y normalmente dañina a través de otras partes de la estructura.

Actualmente existen varios tipos de captadores normalizados: los de tipo Franklin (puntas y mallas) y los de tipo PDC (pararrayos de dispositivo de cebado).

Los captadores activados eléctricamente producen un efecto Corona adicional más temprano que el inducido por un líder que se aproxima. Si el efecto Corona puede producirse mediante el cebado del captador de manera anticipada provocado por un líder descendente que se aproxima, entonces el líder ascendente de respuesta podría también producirse más temprano, permitiendo el tiempo para su propagación a mayor distancia, aumentando así el área de influencia del PDC.

El captador PDC tiene un dispositivo electrónico que utiliza el potencial eléctrico ambiental para almacenar energía y emitir desde su punta subsiguientes impulsos de alta frecuencia antes de que se produzcan los trazadores inducidos por el campo eléctrico del líder descendente que se aproxima desde la nube de tormenta, creando de esta manera, un canal prioritario para la descarga del rayo, conocido como trazador ascendente. Debido a esto, se garantiza que el punto de impacto estará a una altura mayor que en un sistema pasivo, lo que incrementa el radio de protección y se le atribuye una mejor probabilidad de conexión del canal de rayo con el sistema de protección.

Se han descrito experimentos en los cuales se ha caracterizado el comportamiento del terminal PDC. Se le aplica una tensión impulsiva negativa de frente lento a un plato suspendido sobre una varilla vertical para simular la elevación del campo eléctrico que sería provocada por una descarga líder que se aproxima desde la nube. Se aplica además, de manera independiente, a la varilla un impulso de tensión auxiliar positivo con forma de onda $1/30 \mu s$ de suficiente amplitud para producir el efecto Corona en tiempos variables controlados durante la elevación del campo de frente lento. Se han registrado las influencias de este impulso en el efecto corona producido en la varilla por el impulso negativo en el plato, en la tensión de ruptura del espacio y en los tiempo para la ruptura. Las conclusiones generales sacadas son que el efecto Corona auxiliar tiene efectos insignificantes en la ruptura cuanto se aplica durante la fase de trazador, pero que su influencia crece cuando es aplicado después que se ha iniciado el líder por el campo ambiental.



Los resultados obtenidos en experimentos de campo demuestran que la ionización del aire alrededor de la punta de los captadores puede mejorar su efectividad, donde se ha constatado que los sistemas PDC interceptan más descargas de rayo que los Franklin.

2. Limitaciones de los métodos y sistemas de protección contra el rayo

Como es bien sabido, el primero en concebir y aplicar este principio fue Benjamin Franklin, a mediados del siglo XVIII. Su "invento" se extendió rápidamente y con muy buenos resultados, pero desde los inicios se planteó la pregunta, que resultaría ser muy difícil de responder, de cuál era en realidad el área o el volumen protegido por cada una de esas puntas metálicas conectadas a tierra. Se estimó en principio un cono, con vértice en el pararrayos y radio de protección igual a la altura. Pronto se vieron los primeros fallos de este modelo, con rayos que impactaban en zonas teóricamente protegidas. El método del cono ha sido criticado desde sus comienzos, y sin embargo se sigue aceptando como método de protección.

"Nuestros resultados indican que en vista de la influencia dominante de la magnitud del rayo en la eficacia de un mástil alto como protector contra el rayo, el concepto de "cono de protección" que define la eficacia de la protección contra el rayo según la altura del mástil no tiene sentido físico" [1]

"El método del ángulo de protección conlleva difíciles problemas de aplicación en tejados planos" [2]

"...los ángulos de protección llevan a conos de protección excesivamente optimistas para objetos cercanos al terminal aéreo (alrededor del 10% del radio de la esfera correspondiente) y excesivamente rigurosos para objetos más lejanos" [3]

Desde entonces se ha avanzado mucho en cuanto a los estudios de cómo se forma y evoluciona el rayo, aunque es un fenómeno muy complejo que todavía presenta numerosas incógnitas e incertidumbres. Estos conocimientos se han aplicado a las técnicas de protección, aunque siempre de forma simplificada. Así, el método que se utiliza actualmente en las normativas es el modelo electrogeométrico o método de la esfera rodante, basado en la evolución del rayo pero que no tiene en cuenta cuestiones básicas como la concentración de cargas, los materiales de la estructura o la influencia de otros puntos de impacto, tal como queda reflejado claramente en los textos de numerosos autores:

"La forma o la composición del objeto sobre el suelo no se tiene en cuenta en absoluto en el modelo electrogeométrico" [2].

"La esfera rodante puede utilizarse únicamente para la construcción en la práctica, pero no es aplicable como expresión cuantitativa del efecto protector de los terminales aéreos. No puede ser la base de estudios científicos." [3]

"...la validación del método de la esfera rodante se basa en la validación del modelo electrogeométrico simplificado para las líneas de transmisión, pero no hay teorías o estudios documentados con datos de campo para validar su aplicación a edificios u otras estructuras" [3]



Actualmente se utilizan puntas simples de diferentes características, conductores y pararrayos con dispositivo de cebado (PDC). Para su posicionamiento se utilizan diferentes métodos. El método del cono de protección ha evolucionado hasta ser similar al de la esfera rodante.

También se sigue dando como válido el método de las mallas, a pesar de no tener sentido físico y estar en contradicción con la esfera rodante:

“Las normas para las mallas captadoras no están basadas en la teoría de la esfera rodante sino en la experiencia práctica”. [4]

“Esta construcción (el método de las mallas) ha sido verificada por una larga experiencia, sin ninguna investigación teórica ni experimental.” [2]

“Al aplicar el método de la esfera ficticia a una protección de tipo mallas se ve que un rayo puede caer dentro de una malla, sin embargo, este tipo de protección está considerado como uno de los más fiables.” [2]

Para el posicionamiento de los PDC se utiliza el método de la esfera rodante aunque teniendo en cuenta el avance en el cebado del pararrayos, esto es, los efectos físicos del cabezal sobre las cargas. Existen también numerosos escritos que cuestionan la zona protegida por estos pararrayos:

“La ventaja del avance en el cebado traducido en radio de protección como se indica en la norma NF C 17-102 no está demostrada”[2] .

“Lo que se les reprocha a los PDCs es un exceso de confianza en términos de volumen de protección y no que sean inadecuados desde un punto de vista físico”[2]

A pesar de todo lo dicho, estos son los métodos que se utilizan en las normativas existentes y que están comúnmente aceptados como correctos para la instalación de los sistemas de protección contra el rayo.

3. Validación científica de los sistemas utilizados en el mundo.

Las características de los captadores de rayo han estado sometidas por mucho tiempo a discusión. No existe hasta la fecha un laboratorio de ensayos que pueda reproducir completamente el fenómeno del rayo. Esto es aplicable tanto para los captadores del tipo Franklin como los del tipo PDC. Los primeros, que se han utilizado por más de dos siglos, aún no disponen de resultados publicados de ensayos de campo donde se haya determinado el radio de captura o eficiencia de intercepción de una punta a una altura dada. Por otro lado, en los ensayos de campo realizados con descargas naturales no se ha recibido la suficiente cantidad de descargas de rayo para ser consideradas estadísticamente aceptables.

En los últimos años han sido publicados en EUA y Europa varios informes que cuestionan las bases científicas de los captadores:

“Es lamentable que la eficiencia de un captador PDC no puede ser demostrada en relación con el radio de protección; pero tampoco es posible, con los conocimientos disponibles en la actualidad, demostrar la eficiencia de una punta simple o cualquier otro elemento de protección”



Para la validación científica de los SPCR normalizados que se utilizan en el mundo, tanto para los tipos Franklin como PDC, se ha realizado un estudio empírico sobre la efectividad de los mismos. Esta se logró, fundamentalmente, por la notoria ausencia de incidentes o de reclamaciones por daños importantes, especialmente cuando se compara con:

- La inmensa cantidad de daños ocurridos en edificios no protegidos.
- La gran cantidad de impactos de rayo esperada en edificios protegidos durante los años acumulados de sus sistemas de protección. Si estos impactos de rayo esperados no hubieran sido interceptados por sus sistemas de protección hubieran ocurrido decenas de miles de incidentes.

En sus conclusiones, todos los informes resultantes de dichos estudios coinciden al apuntar que ninguno de los sistemas y métodos usados tienen una base científica completamente probada y consolidada. A pesar de esto, la enorme experiencia acumulada sobre todos los tipos de SPCR, instalados de acuerdo con sus respectivas normas, demuestran ampliamente su utilidad. Por lo tanto, su instalación es necesaria, a pesar de las faltas que pudieran existir en las bases, aunque la intercepción podría ser considerada con más cuidado conforme a las nuevas estadísticas de los parámetros del rayo.

De modo similar se ha procedido para los sistemas de protección contra rayos con PDC de fabricantes europeos instalados en todo el mundo de acuerdo con las normas nacionales aplicables para este tipo de SPCR.

Con este objetivo, se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- Estadísticas europeas sobre la cantidad y años de servicio de los PDC fabricados en Europa.
- Tipo de edificio de dimensiones medias y valor medio de N_g a nivel mundial.
- Cantidad de descargas de rayos que los captadores interceptarían si actuaran como una punta simple.
- Cantidad de descargas de rayos que se esperaban impactasen en los edificios y estructuras protegidos. Los cálculos fueron realizados de acuerdo con la evaluación de riesgos de IEC/EN 62305-2, así como las normas nacionales de PDC.
- Cantidad de fallos tolerables para los diferentes niveles de protección bajo las regulaciones antes mencionadas.

El estudio realizado en Europa muestra que durante los 4 652 600 años de servicio acumulados por estos 550 000 SPCR con PDC, se esperaban 174 473 descargas de rayo en las instalaciones protegidas. De acuerdo con los datos disponibles, la valoración de incidentes en las referidas instalaciones es despreciable: muy pequeña cantidad, insignificantes daños materiales y no personal injurias. Es muy importante destacar que la cantidad de estos escasos incidentes es menor que un orden de magnitud con respecto al nivel más restrictivo aceptado por las reglas establecidas. [5]

Además, este trabajo brinda un interesante análisis de las áreas de protección contra rayos de los PDC cuando se compara con las áreas de protección obtenidas con puntas simples. El resultado de esta comparación indica que en el segundo caso más de 165 000 descargas de rayo



podrían no haber sido interceptadas, consecuentemente podrían haber causado daños en las estructuras protegidas y, por tanto, existir miles de reclamaciones. Obviamente, no es el caso.

En conclusión, se describen 25 años de segura y efectiva experiencia de protección contra rayos con los PDC, demostrada por los años de servicio acumulados en las unidades instaladas mundialmente, muchas de estas en países con las más altas incidencias anuales de rayo. Por otro lado, las normas europeas de PDC también han demostrado ser seguras, efectivas, prácticas y útiles.

Actualmente se emplean diferentes normas, captadores de rayo y métodos de posicionamiento para el diseño de los SPCR. Pero al tratarse de normas prescriptivas, no poseen una manera estructurada para la evaluación continua del comportamiento de los SPCR. Además, las eficiencias de los SPCR se basan en datos extrapolados, por lo que hay una falta de la información experimental sobre todos los parámetros que afectan a los SPCR instalados en estructuras reales bajo diferentes circunstancias ambientales.

Con todo este conocimiento, el grupo de CENELEC para la protección contra rayos (CLC/TC 81X) solicitó en 2010 por medio del Buró Técnico (BT) "revisar la posibilidad de establecer una norma pura de comportamiento, independiente de cualquier tecnología, permitir el desarrollo de las tecnologías de sistemas de protección contra rayo existentes y futuras" y como consecuencia de ello, actualmente hay en versión de borrador un nuevo proyecto de norma (prEN50622).

El objetivo de este proyecto es el monitoreo continuo de muchos SPCR con diferentes particularidades, como latitud, altitud, clima o ambiente y evaluar estadísticamente su comportamiento.

Un trabajo similar se realizó en Cuba hace pocos años para la recopilación de información y tratamiento estadístico sobre los tipos, cantidades instaladas y comportamiento real de captadores de rayo por parte de la Agencia Cubana de protección contra Incendios (APCI). Las actividades relacionadas con la protección contra el rayo están singularmente bien organizadas, reguladas y auditadas por esta institución también se dedica a la capacitación de los técnicos especializados en protección contra el rayo, así como a la certificación de los proyectos y las instalaciones de protección contra el rayo.

El estudio abarca un período de 14 años, desde octubre de 1997 hasta octubre de 2011. La fecha de inicio estuvo marcada por el momento en que la Agencia de Protección contra Incendios de Cuba (APCI) comenzó a realizar la certificación de estos productos y sus instalaciones. Los datos ofrecidos en el presente documento no son exactos, pues -por un lado- algunas de las fuentes consultadas no disponen de estadísticas completas y actualizadas y, -por otro- se realizan montajes de sistemas por parte de entidades pertenecientes a los órganos de la defensa del país cuya información no es pública. En consecuencia, las cifras reflejadas constituyen una estimación realizada a partir de los registros de las diferentes dependencias territoriales de la agencia para la certificación de los documentos de proyecto ejecutivo y de los sistemas instalados reportados por las empresas especializadas más importantes del país. [7]



El trabajo muestra que durante los 65 000 años de servicio acumulados aproximadamente por estos 6940 SPCR con PDC, se esperaban 3550 descargas de rayo en las instalaciones protegidas.

Los efectos fisiológicos del rayo constituyen la primera causa de muerte en Cuba asociada a fenómenos naturales. La razón de fallo de los sistemas externos de protección contra rayos determinada a partir de las reclamaciones por daños físicos a las estructuras y lesiones reportadas a las personas es muy baja (inferior a 1 %) y cuando se han investigado las causas de tales incidentes, se ha constatado que han sido atribuibles fundamentalmente a:

- Defectos de diseño (zonas del edificio no cubiertas por el sistema de protección contra rayos o reformas de ampliación de la estructura protegida sin la modificación correspondiente del sistema de protección)
- Falta de mantenimiento de los sistemas de protección contra rayos a sistemas con muchos años de servicio.
- Conducta personal inapropiada en las proximidades de los sistemas.
- Insuficientes medidas de protección contra rayos (inexistencia de dispositivos de protección contra sobretensiones)

Teniendo en cuenta que existen miles de instalaciones de protección contra rayo repartidas por todo nuestro país, el valor medio nacional de días de tormenta al año es de 80 y el valor promedio anual de muertes a causa de los efectos del rayo en los últimos 20 años es de 65, puede plantearse que el comportamiento de las mismas ha sido satisfactorio pues los incidentes han sido ajenos a las tecnologías de captadores empleadas y, en cualquier caso, estadísticamente no significativos.

La amplia experiencia existente en Cuba y a nivel mundial sobre el comportamiento de los PDC, basada los datos estadísticos colectados en una cantidad significativa de edificaciones protegidas con esta tecnología durante un período de tiempo considerable, demuestran la efectividad de la protección que se consigue con este tipo de dispositivo captador.

4. Normalización internacional de los sistemas de protección contra el rayo.

Como es bien conocido existen dos tipos de sistemas de protección contra el rayo que disponen de una larga experiencia de utilización con resultados satisfactorios regulados por una normativa específica: los denominados sistemas convencionales, pasivos tipo Franklin y los llamados sistemas activos o PDC.

Normas vigentes relativas a los sistemas externos convencionales:

- Internacional: Serie IEC 62305 y su homóloga CENELEC EN 62305 2da. edición
- Nacionales más relevantes no basadas en IEC:
 - EEUU: NFPA 780
 - Australia: AS/NZ S 1768:2007
 - Canadá: CAN7CSA B72-M87

Normas vigentes relativas a sistemas externos activos o PDC:

- España: UNE 21186 2ª edición
- Francia NFC 17.102 2ª edición



- Portugal : NP 4426
- Argentina: IRAM 2426
- Eslovaquia STN 34 1391
- Rumania I-20
- Macedonia MKS N.B4 810

Otros reglamentos de obligado cumplimiento:

- España: Código Técnico de la Edificación (apartado SU8: Seguridad frente a la acción del rayo) – Obligado cumplimiento en edificios nuevos y reformas. Incluye sistemas activos y pasivos.
- Francia: Arrêté du 15/01/08 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées

Proyectos de normalización más relevantes en marcha:

- pr EN 550622 Lightning Protection Systems Pure Performance Standard: proyecto de norma europea, en fase borrador con comentarios, que pretende establecer una norma de validación de sistemas de protección contra el rayo, independiente de cualquier tecnología, no solo existente, sino futura.

5. Normalización en Cuba de los sistemas de protección contra el rayo.

A mediados de la década del 90 del pasado siglo, con el auge del comercio entre Cuba y los países europeos, los captadores PDC comenzaron a invadir el mercado y a emplazarse en las cubiertas de muchísimas estructuras y edificaciones del territorio nacional.

Por aquel entonces, existía la norma nacional de protección contra rayos NC 96-02-09: Protección contra Descargas Eléctricas Atmosféricas de 1987, elaborada por el CTN 13 de Protección Contra Incendios. Esta no se encontraba al nivel de actualización de las normas internacionales sobre el tema. En 2003 el CNT 64 de Protección Contra Rayos perteneciente al Comité Electrotécnico Cubano (CEC) de conjunto con la Oficina de Nacional de Normalización (ONN) aprobaron la Parte 1 de NC IEC 61024, en un intento por enmendar esta deficiencia. Como la norma original, publicada por IEC en 1990, estaba en proceso de revisión, se decide no continuar con la aprobación de las restantes partes hasta tanto no saliera a la luz pública la nueva. Al no existir la reglamentación necesaria para los trabajos relacionados en la protección contra rayos, la APCI decidió tomar parte en el asunto con la homologación de los captadores de tipo PDC debido a la relación de los mismos con la protección contra incendios. Esto serviría para regular la comercialización y uso en el país de aquellos dispositivos que cumplieran con las exigencias de calidad establecidas, que procedieran de fabricantes reconocidos y que contaban con los ensayos de laboratorios correspondientes.

A finales del año 2006, el CEC y la adoptan como norma cubana para la protección contra rayos la NC IEC 62035. Esta es la única norma sobre la especialidad aprobada hasta el día de hoy. Sin embargo, existe ninguna norma cubana de PDC a pesar de ser el sistema mayoritariamente empleado en el país.

La Agencia de Protección contra Incendios (APCI) tiene establecido un sistema de homologación para PDC atendiendo al cumplimiento del protocolo de ensayos de laboratorio



establecidos en las correspondientes normas, principalmente norma UNE 21.186 y su equivalente NFC 17 102. Así mismo, la instalación de estos sistemas se certifica bajo cumplimiento de las normas de instalación antes citadas.

6. Elementos a considerar en la selección del SPCR.

Varios han sido los criterios utilizados para evaluar unos y otros tipos de SPCR. Sin embargo, se considera pertinente citar algunos aspectos raramente tratados, pero que son cruciales para ayudar a los usuarios de los SPCR en la toma de decisión sobre cuál tecnología de captura de rayo emplear en su instalación.

Coste de materiales

Los SPCR que emplean captadores tipo Franklin requieren usar una gran cantidad de elementos metálicos, generalmente fabricados de cobre, por lo que el coste por concepto de materiales es mayor. Los SPCR que emplean PDC requieren mucha menor cantidad de elementos metálicos. Aunque el coste del captador es superior, el coste total del sistema resulta inferior.

Complejidad de montaje

En los sistemas con captadores Franklin se requiere del montaje de múltiples elementos como son: los propios captadores, soportes, conductores de interconexiones, uniones mecánicas, fijaciones, etc. Sin embargo, en los sistemas con PDC se utiliza menor cantidad de elementos, por lo que el montaje resulta mucho más sencillo y consume menor tiempo.

Dificultad del diseño

Aunque el método electrogeométrico de la esfera rodante es uno de los más exactos que actualmente se conoce para el diseño del sistema de intercepción del rayo con captadores de tipo Franklin, su aplicación del resulta muy engorrosa cuando se trata de edificios con una arquitectura compleja. Por el contrario, cuando el sistema exterior de protección contra rayos emplea los tipo PDC, el radio de protección resulta relativamente fácil de determinar a partir de la tabla o ecuación características jugando con los parámetros de altura del captador, tiempo de avance del cebado del modelo seleccionado y nivel de protección contra rayos asignado al sistema.

Complejidad del mantenimiento

Aunque las respectivas normas de captadores tipo Franklin y PDC coinciden en la frecuencia con que deben realizarse las inspecciones y mantenimientos, los primeros necesitan mayor cantidad de acciones de esta índole (apriete de las uniones mecánicas, firmeza de las sujeciones, medición de la continuidad eléctrica, estado de corrosión de las partes, etc.) por el hecho de utilizar mucha mayor cantidad de elementos que los segundos.

De todo lo anterior, pudiera pensarse que los propietarios o administraciones de edificios pertenecientes a entidades, organizaciones o países que no dispongan de grandes cantidades de recursos financieros preferirán proteger sus instalaciones contra las descargas directas de rayos a un menor coste, o sea, con PDC.



7. Conclusiones

Se han repasado las principales carencias que se le reprochan a los diferentes métodos de protección contra el rayo que se utilizan en diversas normativas. Se ha puntualizado también sobre el hecho de que, a pesar de esas insuficiencias, los sistemas de protección contra el rayo diseñados e instalados según esas normativas han resultado ser eficaces en todos los estudios que se han hecho, y que incluso se ha argumentado que la escasez de estos estudios se debía a la falta de reclamaciones por parte de los usuarios, esto es, a su satisfacción con los sistemas de protección instalados.

No existe hasta la fecha una norma internacional de protección contra el rayo para captadores PDC; aunque sí una cantidad considerable de países que disponen de normas nacionales que regulan el uso de esta tecnología. Estas normas han coexistido en el pasado con IEC 1024, IEC 61024 y coexisten actualmente con la 62305 tanto de la IEC como de CENELEC.

En nuestro país la eficacia de los PDC se ha demostrado empíricamente con claridad, ya que se trata de un país con una densidad de rayos altísima donde existen miles de sistemas de protección contra el rayo controladas de forma sistemática por la APCI. Sin embargo, la única normativa que existe en Cuba trata únicamente de los sistemas de protección convencionales, esto es con mallas y puntas, cuando la gran mayoría (alrededor del 90%) de las instalaciones están realizadas con pararrayos con dispositivo de cebado.

Se precisa una normativa nacional que regule los sistemas de protección de PDC para unificar los criterios de diseño, instalación y verificación, o bien una norma global que tenga en cuenta todos los aspectos de la protección contra el rayo. Por tanto, sería pertinente que el CEC y la ONN se proyectasen a este respecto.

8. Bibliografía

- [1] Horváth, T. "Standardization on lightning protection. Based on the physics or on the tradition? ICLP2002.
- [2] INERIS, Le risque foudre et les installation classe pour la protection de l'environnement. Septembre 2001.
- [3] Horváth, T. "Rolling Sphere - Theory and application". ICLP2000. p. 301-305.
- [4] IEC 81/223A/CC. Compilation of comments on 81/214/CD. Observations of the Secretariat.
- [5] Pomar, V.; Polo, S; Faveaux, S.; Llovera, P: "Effectiveness of worldwide existing PDC lightning protection systems manufactured in Europe", ILPS 2011
- [6] Ruiz, D ; Polo, S ; Pomar, V ; Pomar, C . "Lightning Protection: Basis & Praxis", ILPS 2011
- [7] Amores, F. "Experiencia en Cuba sobre el comportamiento de los captadores de rayo", APCI 2011.