

# Sistemas de protección contra sobretensiones

Por Ing. Emilio Ramón Cabrera Fernández, Técnico C en Telemática, Energético CSGT Cienfuegos, e Ing. Nicasio Echarte del Sol, Técnico C en Telemática, Energético CSGT Villa Clara, ETECSA  
nicasio.echarte@etecsa.cu, emilio@cfg.etecsa.cu

## Introducción

La información estadística conocida recoge que, permanentemente, se forman alrededor de 5,000 tormentas en la tierra, con el consiguiente peligro para las personas y los bienes. La intensidad media mundial de la descarga de un rayo se estima en 20,000 A; pero se llegan a contabilizar rayos de hasta 200,000 A [1].

Cada año caen cerca de 2 millones de rayos. Sus efectos pueden ser ocasionados por impactos directos ó causas indirectas. El impacto directo puede tener consecuencias catastróficas para estructuras, personas o animales. Los daños por causas indirectas —caída de rayos en las inmediaciones o sobre tendidos aéreos o inducciones en estos conductores— suelen ser más numerosos con cuantiosas pérdidas económicas [5].

En Cuba, los efectos provocados por este fenómeno han causado innumerables pérdidas. Esto ha condicionado el desarrollo de mecanismos encaminados a reducir sus efectos. Como fuente de protección y aseguramiento de las instalaciones de telecomunicaciones —en términos de Sistema de Protección Integral (SPI)— y teniendo en cuenta la dinámica de las instalaciones tecnológicas —más sensibles a los fenómenos atmosféricos y con exigencias para su operación—, es necesario dar seguimiento, revisar y controlar estos sistemas.

## Desarrollo

El incremento de las descargas atmosféricas, en los últimos años, ha condicionado la implementación de Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosféricas (SPCR), que no sólo incluyan el captador sino que constituyan una cadena de protección donde cada eslabón se complemente y cumpla su función esencial: proteger las descargas atmosféricas que, inevitablemente, caen en personas, estructuras y bienes materiales.

Este sistema incluye distintos subsistemas con características específicas que, a veces, se obvian o se dejan al azar. Sin embargo, deben realizarse con el compromiso de la ejecución de proyectos técnicamente válidos y eficientes.

La forma más segura de protección contra el impacto directo del rayo, consiste en su captación, derivación y disipación a tierra. Para que una instalación posea un sistema de protección adecuado, debe ser capaz de [2]:

- ♦ Captar el rayo.
- ♦ Conducir la corriente del rayo a tierra sin que se produzcan daños.
- ♦ Dispersarla en la tierra de forma rápida y segura.
- ♦ Evitar los efectos secundarios del rayo (sobretensiones).

Una correcta protección debe dotar a la estructura de dos sistemas de protección:

- ♦ Protección externa contra impactos directos de rayos —pararrayos, tendido o jaula de Faraday—.
- ♦ Protección interna contra sobretensiones provocadas por la caída del rayo —limitadores de tensión—.

### Sistema de Protección contra Rayos

Está formado por tres elementos [3]:

- 1- Elemento captador o pararrayo
- 2- Bajantes
- 3- Tomas de tierra

**1-Elemento captador o pararrayo:** es el más importante en la protección contra el rayo, de él depende la utilidad del resto de la instalación, debe estar adecuadamente ensayado y certificado.

Desde la invención del pararrayos, diferentes tecnologías han aparecido, con más o menos exitosas. El principio ha sido excitar la formación del rayo ionizando el aire para atraer la descarga en la punta del pararrayos.

Los diferentes tipos de pararrayos son:

**Puntas Franklin:** basado en el diseño original de Benjamin Franklin de 1752 usando el efecto de puntas. Su zona de cobertura es muy limitada y está condicionado directamente a su altura y por el nivel de protección necesario.

**Mallas captadoras:** conocidas como Jaula de Faraday. Se basa en que el interior de una caja cerrada por paredes metálicas y con perfecta continuidad, no se ve afectada por ninguna variación del campo eléctrico externo. Sólo son posibles aproximaciones poco estéticas, costosas y no totalmente efectivas.

**Pararrayos radiactivos:** intento de mejorar la Punta Franklin. Se creó en 1914, cuando L. Szyllard demostró que una punta metálica provista de sales radiactivas, inmersa en un campo eléctrico, proporciona una corriente mucho mayor que sin el material radiactivo. Actualmente, su uso está prohibido en muchos lugares.

**Pararrayos dieléctrico-condensadores o electro-atmosféricos:** formado por dos electrodos metálicos aislados entre sí y conectados, uno a potencial atmosférico y otro a tierra. Intenta producir la ionización ambiental y el trazador a partir de la diferencia de potencial producida entre ellos. En teoría, para que esto se produzca es necesario un fenómeno de carga-descarga como absoluta garantía de aislamiento y campo eléctrico at-

mosférico suficiente. Su actividad es deficiente debido a sus tiempos muertos.

**Pararrayos electro pulsante:** son los Pararrayos con Dispositivo de Cebado que incorporan un dispositivo interno capaz de emitir impulsos de alta tensión. Se caracteriza por responder al acercamiento del rayo, adelantándose en su captura a otros elementos de su zona de acción, para conducirlo a tierra de forma segura. El líder ascendente puede formarse en lugares elevados donde haya una acumulación de cargas suficiente. Su efectividad está determinada por la velocidad y el momento exacto en que se produzca.

**2-Bajantes:** cada pararrayos ha de ir unido a tierra, al menos, por un bajante. Los bajantes se deberán diseñar por el camino más corto y recto posible y deberán ser como mínimo de cobre desnudo de 50 mm<sup>2</sup> —por su comportamiento eléctrico frente a la corriente tipo rayo, es preferible la pletina—.

También hay que considerar la ubicación del pararrayos y la de la toma de tierra para realizar este diseño. El bajante siempre deberá ir por el exterior de la estructura a proteger. Si esto es imposible, la norma permite ejecutarlo por el interior bajo tubo o funda aislante no inflamable. Debe reiterarse la reducción de la eficacia del SPCR, la complicación en la verificación y mantenimiento, y el aumento de los riesgos de penetración de sobretensiones en el interior del edificio.

**3-Tomas de tierra:** los sistemas de protección externos e internos estarán apoyados por un buen sistema de toma de tierra, para la evacuación de las corrientes del rayo así como una adecuada equipotencialidad entre todos los sistemas de tierra —tanto de los sistemas de protección como de los circuitos eléctricos y telefónicos del espacio a proteger—. Existen diferentes tipos de tomas de tierra [6], por ejemplo:

**Electrodos de acero cobrizado:** se utilizan en cualquier tipo de terreno, fáciles de instalar —martillo neumático o maza—. Con el modelo de picas enchufables, se llega a la medida que permita el terreno. En tierra normal, jardines o campos, se necesita una media de 3 picas de 1,5 m de longitud mínima, enterradas verticalmente, formando un triángulo equilátero, que se unirán mediante cables desnudos o cinta de cobre, enterrados en una zanja de 50 a 80 cm de profundidad, y se conectarán a la red de tierras por medio de puentes de comprobación. La distancia de separación entre las diferentes picas será igual al doble de la longitud de estas  $D = 2 \times L$  —longitud de las picas—.

**Placas:** indicado para zonas de composición muy pedregosa. Al ser todas de cobre, tienen menos problemas de corrosión. Para su instalación, se necesita realizar un pozo por cada placa de unas dimensiones de 2x2x2 m aproximadamente, separados entre sí 3 m y unidos mediante zanja de 50 cm de profundidad que deberán ser rellenados, seguidamente, con tierra vegetal.

**Electrodo dinámico:** consiste, principalmente, en un tubo hueco de cobre relleno con una mezcla de compuestos iónicos. El producto absorbe la humedad ambiental y se disemina en el terreno que rodea al electrodo, aportando iones libres y reduciendo gradualmente la resistividad del terreno. Para su colocación es necesaria la utilización de un compresor y el terreno debe ser muy rocoso porque en terrenos arcilloso-arenosos, la barrena de perforación padece de enganchones y hace muy difícil su utilización. Se recomienda la utilización de 3 electrodos en configuración de triángulo.

**Electrodo de grafito:** el grafito, por su alta conductividad eléctrica y térmica y por ser inerte frente a los agentes químicos, es el elemento ideal para construir un electrodo de toma de tierra. Los materiales usados como relleno de la perforación —polvo de grafito y polvo gredoso— aseguran el contacto entre el electrodo y el terreno gracias a su capacidad de penetrar, incluso, en fisuras rocosas.

Un electrodo está formado por una varilla de grafito sólido rodeada de un envoltorio de polvo de grafito y sales que, al evitar daños mecánicos durante su

transporte e instalación, mejora la conductividad del electrodo. Este conjunto se introduce en el pozo o perforación.

**Equipotencialidad de las tomas de tierra [2]**

Cuando el edificio a proteger dispone de una toma de tierra en el fondo de la excavación para las masas de las instalaciones eléctricas, las tomas de las instalaciones de pararrayos se unirán entre ellas. Esta conexión se realiza a nivel del suelo, al pie de la toma de tierra. Si la realización de esta conexión no es posible, la interconexión se hará sobre la placa de tierra. La trayectoria del conductor de unión debe realizarse de forma que evite una eventual inducción sobre los cables y materiales ubicados en las inmediaciones.

La interconexión debe hacerse por un dispositivo que permita su desconexión para posteriores controles de su resistividad.

#### **Sistema de Protección contra Sobretensiones**

Esta parte del sistema es la encargada de eliminar o reducir las sobretensiones transitorias que no son más que un aumento de voltaje, de muy corta duración, medido entre 2 ó más conductores.

Las sobretensiones transitorias son la perturbación más importante contra la que debe protegerse, si se disponen de equipos electrónicos. Estas tienen diferentes causas:

- ♦ Descargas eléctricas atmosféricas: de cualquier tipo —nube-tierra y nube-nube—.

- ♦ Conmutaciones de maquinaria de gran potencia: el arranque y parada de motores.

- ♦ Fallos causados por la compañía eléctrica: cortocircuitos, interrupciones bruscas del suministro, etc.

- ♦ Aumentos bruscos del potencial en las tomas de tierra

**Consecuencias de las sobretensiones [4]**

- ♦ Mal funcionamiento: aunque no hay daño físico, los niveles lógicos o analógicos del sistema son alterados y causan pérdida de datos, datos y software corruptos, caídas de las redes inexplicables, bloqueos, etc.

♦ Degradación: una exposición a sobretensiones transitorias degradará, sin que el usuario lo note, los componentes electrónicos y circuitos, lo que reduce la vida efectiva de los equipos y aumenta las posibilidades de fallos.

♦ Daños: las sobretensiones transitorias de gran magnitud pueden dañar componentes, placas de circuitos, incluso, llegar a quemarlas y a destruir el equipo y la instalación eléctrica, y conectarse en el posible foco de un incendio. Afectan, sobre todo, a los equipos electrónicos, informáticos y de telecomunicaciones.

#### Dispositivos de protección contra sobretensiones

Un protector contra sobretensiones debe permanecer inactivo mientras la señal es normal, y activarse al detectarse la sobretensión; ser capaz de soportar la corriente asociada a la sobretensión; derivar la corriente a tierra; reducir la sobretensión a un nivel soportable por los equipos y volver al estado inactivo cuando haya desaparecido una vez la perturbación.

#### Parámetros de los protectores contra sobretensiones [3]

a- Características de la línea a proteger:

Tensión nominal ( $U_n$ ): es la tensión nominal del sistema que se protege. Para el caso de corriente alterna, se indica el valor eficaz (rms) y la frecuencia de funcionamiento.

Tensión máxima de funcionamiento ( $U_c$ ): valor eficaz ó d.c de la tensión máxima en la línea que soporta el protector sin entrar en funcionamiento.

b- Corriente soportada por el protector:

Corriente nominal de descarga ( $I_n$ ): corriente de pico con onda 8/20 ms que soporta el protector repetidas veces.

Corriente máxima ( $I_{max}$ ): es la máxima corriente de pico con onda 8/20ms que se ha aplicado al protector, y la deriva a tierra de forma segura.

Corriente impulso ( $I_{imp}$ ): es la máxima corriente de pico, con onda 10/350 ms y una carga y energía determinadas, que se ha aplicado al protector y, a su vez, lo deriva a tierra de modo seguro.

c- Reducción de la sobretensión:

Nivel de protección ( $U_p$ ): parámetro que caracteriza la capacidad del protector de limitar la tensión entre sus terminales. Su valor, en voltios, no debe superarse durante ninguno de los ensayos que se realizan, que incluyen los impulsos de corriente y la respuesta a la onda de tensión de 1,2/50 ms.

Tiempo de respuesta ( $t_r$ ): parámetro que caracteriza la rapidez de activación de los protectores, aunque puede variar según la pendiente de la onda aplicada. Se considera que el tiempo de respuesta de los varistores es de 25 ns y en las vías de chispas de 100 ns.

d- Otros parámetros a considerar:

Situación del protector: exterior / interior, según pueda o no soportar la intemperie.

Método de montaje: fijo ó portátil.

Tipo de conexión: un puerto / dos puertos, según esté en paralelo o en serie con el equipo a proteger.

Temperatura de trabajo: intervalo de temperaturas a usarse en el protector.

Protección de la carcasa contra interacciones mecánicas

Protección de la carcasa contra el fuego: tipo de material.

Impedancia serie: cuando el protector se instala en serie con la línea, debe especificarse la inductancia o resistencia que introduce.

#### Selección de los protectores [2]

1- Investigar las características de la línea para saber la tensión y la corriente máximas de funcionamiento en continua ó en alterna entre cada uno de los conductores.

$U_c >$  Tensión máxima de funcionamiento de la línea

$I_n >$  Corriente máxima de funcionamiento de la línea

2- Seleccionar el tipo de protector y su corriente máxima según los efectos que deba soportar.

**Corriente directa del rayo. Clase I:** protector con capacidad de descarga de rayo. Protección alta 10/350 ms. Estos protectores deberán montarse a la entrada, porque su nivel de protección sólo es compatible con la conexión de entrada instalada ó con la de los equipos de dicha instalación.

**Efectos secundarios del rayo. Clase II:** protectores con capacidad de descarga alta. Protección media 8/20 ms. Son los más empleados porque ofrecen un nivel de protección compatible con la mayoría de los equipos que se conectan a la red de alimentación. Su uso es adecuado como protección media cuando existen protectores instalados de Tipo 1 ó como primer escalón en zonas urbanas. Siempre deben colocarse aguas debajo de los protectores Tipo 1 en las instalaciones con protección externa, en el cuadro de baja tensión. Su montaje en cabecera será suficiente cuando no exista protección externa.

**Sobretensiones ya amortiguadas. Clase III:** protectores con capacidad de descarga media. Protección baja 8/20 ms. Deben instalarse para la protección de equipos sensibles tanto en el caso de particulares como en industrias.

3- Seleccionar la tensión residual del protector según los equipos a proteger. Para líneas de suministro eléctrico se recomienda:

Equipos muy robustos —grandes motores, aire acondicionado—. Tensión residual  $U_p = 4 \text{ kv}$

Equipos poco sensibles ó que cumplan las normas en su fabricación e instalación.  $U_p = 1,5 \text{ kv}$

Equipos muy sensibles y sin ninguna protección contra perturbaciones electromagnéticas  $U_p < 1 \text{ kv}$

### Coordinación de los Sistemas de Protección Integrales

Para una correcta protección contra sobretensiones, se requiere una seguridad escalonada y coordinada, con varias etapas que actúen en secuencia y,

por una parte sean capaces de soportar la corriente del rayo y, por otra, dejar una tensión residual no perjudicial para los equipos. Conseguir un alto poder de descarga y un bajo residual en un mismo protector es difícil, por lo que el empleo de un único protector no asegura la protección de una instalación donde existen equipos eléctricos muy sensibles. Deben colocarse 2 ó más protectores coordinados. El primero (*PI*) debe estar en la cabecera; los segundos (*P2*, *P3*), dependiendo del *Up* requerido, estarán en las distribuciones de las líneas más sensibles y lo más cerca posibles de los equipos a proteger.

*PI* debe seleccionarse por *I<sub>max</sub>*; y los protectores secundarios deben elegirse para conseguir el menor *Up* posible. Para obtener la actuación coordinada correcta de los protectores, debe respetarse una distancia mínima entre protectores de 10 m, debido a que el comportamiento inductivo que presenta el cable eléctrico frente a las sobretensiones, provoca un retraso de la intensidad para lograr que *PI* se active primero y derive la mayor parte de la energía, y los protectores secundarios realicen, posteriormente, la función de disminuir el residual dejado por el primer protector.

#### Tecnologías para la confección de protectores [6]

**a-Vías de chispas y descargadores de gas:** alta capacidad de descarga—hasta 100 kA—10/350 ms—. Su tensión residual es elevada, pero soportan corrientes muy altas. Cuando la señal es normal, permanecen abiertos, sin circulación de corriente. Cuando se sobrepasa su tensión de ruptura, el elemento entra en cortocircuito y se lleva la corriente a tierra.

**b-Varistores:** su tensión residual es menor que la de las vías de chispas, y soportan corrientes menores; pero, aún elevadas. Tienen una impedancia muy alta cuando la señal es normal, y disminuye rápido al llegar la sobretensión.

**c-Diodos supresores de transitorios:** son muy rápidos y capaces de dejar tensiones residuales muy bajas; no obstante, no soportan corrientes mayores de unos amperios.

#### Mantenimiento de los Sistemas de Protección Integrales

El mantenimiento preventivo constituye el punto de partida para el análisis del estado técnico de las instalaciones. Las acciones que deben ejecutarse, relacionadas en los modelos de Orden de Mantenimiento, registran los problemas para su inmediata intervención. Ejemplos de los principales trabajos a realizar:

**Instalación exterior:** revisión del estado técnico del sistema de pararrayos y del de tierra —conexiones, soldaduras, equipotencialidad—; mediciones de los parámetros de la instalación —continuidad, resistencias de tierra—; acciones de intervención de menor envergadura para la solución de los problemas detectados.


**Instalación interior:** revisión del estado técnico interior del sistema —equipotencialidad, distribución de barras de tierra, conectividad, corridas de cables—; revisión de la instalación de descargadores de rayos de AC, DC y RF, conexiones y drenaje; revisión de los calibres de cables de conexión de equipotencialidad; medición de los parámetros de la instalación —continuidad de la equipotencialidad de los elementos de la instalación puestos a tierra—; limpieza de barras de tierras, sustitución de terminales y conexiones sulfatadas; acciones de intervención de menor envergadura para la solución de los problemas localizados.

Del análisis realizado, para la ejecución de mantenimientos preventivos de los SPI en la Empresa en el 2008, se apuntó que deben efectuarse de la siguiente manera:

Dirección Territorial	Cantidad de instalaciones	Dirección Territorial	Cantidad de instalaciones
Pinar del Río	115	Camaguey	68
Habana	66	Granma	63
Ciudad de La Habana	178	Holguín	75
Matanzas	128	Santiago de Cuba	86
Villa Clara	93	Guantánamo	120
Cienfuegos	58	Isla de la Juventud	64
Sancti Spíritus	82		
Ciego de Ávila	76	<b>Total</b>	<b>1272</b>

## Conclusiones

Se ha presentado una síntesis de las partes y elementos de los sistemas de protección y se han ofrecido consideraciones para seleccionar, adecuadamente, sus componentes esenciales.

También, se ha mostrado cómo con el cumplimiento estricto de las tareas del mantenimiento de los SPI, se garantiza la seguridad de las instalaciones ante los eventos naturales que provocan grandes pérdidas tanto a la Empresa y como al país. 

## Referencias bibliográficas

[1] "Pararrayos, tecnologías de protección externa del rayo". Disponible en: <http://www.sispoint.com/rayo.htm>. (Consulta: noviembre/2007).

[2] "SPCR Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas". Disponible en: [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/lat\\_archivos/spcr/spcr.htm](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/lat_archivos/spcr/spcr.htm). (Consulta: noviembre/2007).

[3] NC-IEC 62305. Protección contra Rayo – Parte 4. Protección de equipos eléctricos y electrónicos contra Lemp, 2006.

[4] Hermoso Alameda, Blas. *Riesgos y medidas de Protección contra Rayo*. España: Universidad Publica de Navarra, 2003.

[5] "Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas". *Cuardeno técnico*, no. 168. Biblioteca Técnica de Schneider Electric, agosto 2008.

[6] "Aplicaciones Tecnológicas 2006. Protecciones externas. Disponible en: <http://www.cirprotec.com/productos/externa/pararrayos/index.htm>. (Consulta: noviembre/2007).

[7] "Protecciones contra rayo y sobre tensiones". DEHN-SOHNE Productos. Disponible en [http://www.dehn.de/www\\_DE/PAGES\\_ES\\_INT/productos/prod.html](http://www.dehn.de/www_DE/PAGES_ES_INT/productos/prod.html). (Consulta: noviembre/2007).