



Método de superficies Ionizantes: nuevo enfoque para la protección contra descargas atmosféricas

Soiram E. Silva

Recibido: Octubre del 2008

Aprobado: Diciembre del 2008

Resumen/ Abstract

En Los métodos clásicos de protección contra descargas atmosféricas se basan en la experiencia empírica. Esta observación conduce a la aplicación de un conjunto de reglas, las cuales se aplican con cierto grado de seguridad. En ellas se establece que la zona de protección dada por un elemento captador como una punta Franklin es un cono que brinda un ángulo de apantallamiento de 45° . La protección no es total y tiene una cierta probabilidad de falla ante una descarga de cualquier magnitud. Como alternativa a los métodos clásicos se encuentra el modelo electrogeométrico. Éste estudia la física del rayo en su último paso de avance, denominado Distancia de Descarga, y establece que su longitud, depende de la magnitud pico del rayo. De su aplicación a la protección contra descargas atmosféricas nace el método de las Esferas Rodantes como herramienta en el diseño de sistemas de protección con elementos pasivos aceptado en normas de la IEC e IEEE. El problema que presenta este método es la dificultad para obtener un arreglo protector con el mínimo de elementos captadores. Como respuesta a esto, se presenta un nuevo método de diseño denominado de superficies Ionizantes, aplicable a estructuras de cualquier tipo, el cual utiliza el concepto de superficie Ionizante de un arreglo protector, la estructura, y su entorno, para el diseño de sistemas de protección contra descargas atmosféricas. Para su aplicación se propone una metodología que establece los datos necesarios y pasos a seguir en el diseño del sistema de protección.

Palabras claves: protección contra rayos, descargas atmosféricas, pararrayos

Traditional methods of lightning protection are based on empirical experience. This observation leads to the implementation of a set of rules that apply with some degree of safety. They state that the zone of protection afforded by an air terminal as a Franklin rod is like a cone that provides a shielding angle of 45° . The protection is not complete and has a certain probability of failure on discharges of any size. As an alternative to traditional methods there is the Electrogeometrical model. He studied the physics of lightning in its last phase, known as striking distance, and established that its length depends on the magnitude of the Lightning peak current. Its application to lightning protection comes the Rolling Sphere Method as a tool in the design of protection systems with passive elements, which is accepted by the IEC and IEEE. The problem with this method is the difficulty in obtaining a settlement of protection with a minimum of air terminals. In response, provides a new design method called ionizing surface applicable to structures of any type, which uses the concept of the ionizing surface of a protective arrangement, structure and environment for the design of lightning protection systems. For the application proposes a methodology that provides the necessary information and steps in the design of the protection system.

Key words: Lightning protection, lightning discharges, lightning conductors.

INTRODUCCIÓN

Todas las estructuras que construye el hombre sobre la superficie de la tierra, están expuestas a diversos fenómenos naturales. La misión que tienen los

ingenieros de las diversas especialidades es que las estructuras que se construyan estén protegidas de la acción destructiva que pueden causar los fenómenos naturales sobre las mismas. En el caso de la

Ingeniería Eléctrica, uno de los fenómenos naturales que más daño produce a los sistemas eléctricos, son las descargas atmosféricas, las cuales consisten en un flujo de corriente entre nubes y tierra, que tienen muy corta duración, pero muy alta intensidad. La primera línea de defensa del sistema de protección es la red de terminación aérea, la cual está constituida por los elementos captadores de las descargas atmosféricas. Su función es recibir el impacto directo de las descargas nube-tierra.

En las normas internacionales es aceptado el *método de las esferas rodantes* como herramienta válida en el diseño de la red de terminación aérea con elementos pasivos. Este método es producto de una interpretación que se hace al *modelo electrogeométrico*, el cual estudia la física de la descarga en su último salto, denominado último paso de avance.

En este trabajo se presenta otra interpretación del *modelo electrogeométrico*, y sobre la base de ella se desarrolla un nuevo método de diseño de la red de terminación aérea de un sistema de protección con elementos pasivos, denominado *método de superficies ionizantes*, el cual es comparado con el método de las esferas rodantes.

FORMACIÓN DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

En la actualidad existen diferentes teorías sobre el proceso de formación de las descargas atmosféricas [1]. El hecho importante de todas estas teorías es que en nubes de tormenta, ocurre un proceso de separación de cargas. Así quedan regiones en la nube con carga negativa, y regiones con carga positiva. Experimentos han demostrado que lo más usual es que el cuerpo de la nube se encuentre con carga negativa, mientras que la parte superior de la misma se encuentre con carga positiva, sin embargo, una pequeña región del cuerpo, puede tener carga positiva. Las regiones cargadas de la nube, inducen en la superficie terrestre, la acumulación de carga de signo contrario a la que se encuentra en la nube.

Lo anterior trae como consecuencia, la formación de campos eléctricos entre nube y tierra. La dirección del campo eléctrico dependerá de la zona de la nube que esté cargada positiva o negativamente. El campo eléctrico que se forma es igual al gradiente de potencial, por lo que aparece una diferencia de potencial entre nube y tierra, la cual tiene una polaridad fija.

La descarga atmosférica se forma por la ocurrencia de dos procesos; el primero de ellos es la ionización del aire que rodea los centros de carga y la construcción de los denominados *Pasos de avance* (stepped leaders), que conducen la carga de la nube al aire. La magnitud de la corriente asociada a los pasos de avance es pequeña (del orden de 100 A) comparadas con la corriente final de la descarga. Los

pasos de avance se propagan en direcciones aleatorias, y en saltos discretos que van de los 10 a los 80 m de longitud. La velocidad de propagación más frecuente de los mismos es sobre 0,05% de la velocidad de la luz, o aproximadamente 150000 m/s. La longitud del último paso de avance antes de que se produzca la descarga, se denomina *distancia de descarga*.

El segundo proceso que ocurre en la formación de una descarga atmosférica es el *rayo de retorno*. El mismo es en extremo brillante, y se propaga desde la tierra a la nube. Sigue el mismo camino que formaron los pasos de avance. El rayo de retorno constituye el flujo de carga eléctrica desde la tierra a la nube para neutralizar el centro de carga que originó los pasos de avance, el mismo tiene como valor medio 23 kA de valor pico, y una velocidad de propagación sobre el 10% de la velocidad de la luz. La cantidad de carga que baja de la nube hasta la tierra, es igual a la cantidad que sube de la tierra a la nube. La secuencia se puede observar en la figura 1.

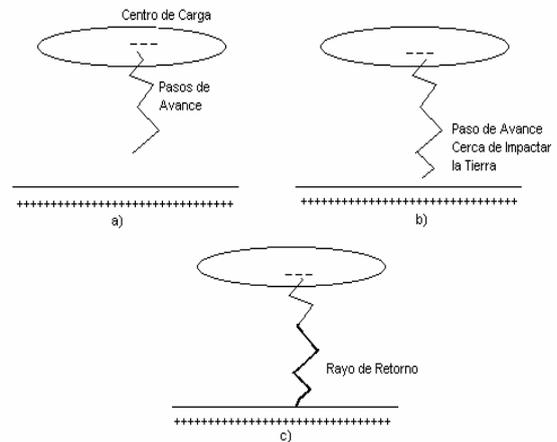


Fig. 1. Secuencia de una descarga atmosférica.

Las observaciones hechas de manera experimental sugieren que la magnitud pico de la corriente del rayo de retorno y la distancia de descarga, están interrelacionadas. Un número de ecuaciones empíricas han sido propuestas para determinar la distancia de descarga. Las principales son las siguientes:

$$S = 2 \cdot I + 30 \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{I}{6.8}\right)} \right) \quad \text{Darveniza} \quad (1)$$

$$S = 10 \cdot I^{0.65} \quad \text{Love} \quad (2)$$

$$S = 9.4 \cdot I^{\frac{2}{3}} \quad \text{Whitehead} \quad (3)$$

$$S = 8 \cdot I^{0.65} \quad \text{IEEE} \quad (4)$$

Donde:

S= Distancia de descarga en metros

I= Corriente pico del rayo de retorno en kA

Puede desconcertar el notar que las ecuaciones escritas arriba, varían como mucho en un factor de 2:1. Sin embargo, los investigadores ahora favorecen la distancia de descarga dada por (4), esto debido a que la misma representa el peor de los casos, en el cual la distancia de descarga es la menor, y por lo tanto los cálculos que se realicen con esta ecuación serán los más conservadores.

EL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO

La relación entre distancia de descarga y corriente pico de rayo de retorno, implica que todos los rayos que tengan la misma corriente pico, van a tener un último paso de avance de igual longitud.

Las observaciones de experimentos indican que es necesario agregar un coeficiente K para diferenciar las distancias de descarga a una punta protectora, a un cable de guarda, o a la tierra. Se repite (4) con esta modificación:

$$S = 8 \cdot K \cdot I^{0.65} \quad (1)$$

Los investigadores han determinado de forma empírica que el valor de K debe ser 1 para descargas que caen sobre cables de guarda o tierra, y 1.2 para las que caen sobre puntas protectoras. (5) establece la relación entre un parámetro de tipo eléctrico, (como lo es la corriente del rayo de retorno), con un parámetro de tipo geométrico, (la longitud denominada distancia de descarga), de ahí el nombre *Modelo Electrogeométrico*. Este modelo nos indica como es la física del rayo en su último paso de avance antes de impactar un objeto.

MÉTODO DE LAS ESFERAS RODANTES

Constituye un método de diseño de la Red de Terminación Aérea (RTA) de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPDA) [2], surge como una interpretación de la ecuación de la distancia de descarga planteada en el modelo electrogeométrico. La dependencia entre corriente de rayo y distancia de descarga, permite identificar la región del espacio donde puede impactar el rayo, una vez conocido el punto donde se origina el último paso de avance de la descarga atmosférica. Esta región del espacio se denomina *zona de descarga*.

ZONA DE DESCARGA

La zona de descarga de un rayo va a ser un lugar geométrico que se define como.

Los puntos del espacio, cuya distancia al punto donde se origina el último paso de avance, es la distancia de descarga $S=f(I)$ dada por (5). [3][4].

La zona de descarga del rayo coincide con la definición matemática de una esfera de radio S, cuyo centro es el punto donde se origina el último paso de avance. De esta forma, la zona de descarga de un rayo es un lugar geométrico, el cual se puede determinar a partir del conocimiento de la corriente pico, y el lugar donde se origina el último paso de avance de la descarga atmosférica que se quiere estudiar.

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE ZONA DE DESCARGA EN EL DISEÑO DE RTA DE SPDA

Para proteger una estructura contra el impacto de un rayo de cierta corriente pico I, es necesario que la misma quede fuera del lugar geométrico donde ocurrirá la descarga. Para lograr esto, se debe forzar la zona de descarga de tal manera que los únicos puntos que se encuentren sobre este lugar geométrico sean la tierra o la RTA del SPDA la cual esta puesta a tierra.

Esto quiere decir que dos puntos con potencial de tierra deben tocar el lugar geométrico de la descarga, y así forzar a que la estructura quede fuera de la zona de descarga del rayo. Como se observa en (5), el valor de S aumenta o disminuye junto con I, lo que implica que a mayor valor de I mayor será el tamaño de la esfera que define la zona de descarga. Estas son las ideas en las que se fundamenta el *método de las esferas rodantes*.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE LAS ESFERAS RODANTES

El método consiste en:

Dejar rodar una esfera imaginaria de radio S sobre la superficie a proteger. El valor de S es el que corresponde a la corriente pico de diseño. La esfera se apoya para rodar sobre puntas, cables de guarda y cualquier otro objeto metálico aterrado.

Se describe así una superficie sobre la estructura a proteger que representa la zona de descarga para cualquier rayo de corriente pico igual a la de diseño. Ésta superficie es la *zona protectora de la red de terminación aérea* (ZPRTA).

Si algún elemento de la estructura a proteger toca o perfora la ZPRTA del SPDA, se encuentra expuesto al impacto de la descarga atmosférica.

PARTICULARIDADES DEL MÉTODO DEL LAS ESFERAS RODANTES

Una red de terminación aérea diseñada para proteger una estructura contra un rayo de corriente pico I, también protege contra descargas de mayor magnitud, y deja zonas desprotegidas para descargas de menor magnitud a la de diseño. Esto se desprende de la dependencia del tamaño de la esfera que define la zona de descarga al valor de la corriente pico del rayo.

No se puede proteger contra todas las descargas atmosféricas, ya que el radio de la esfera se reduce a cero al disminuir la corriente pico del rayo. Debido a esto se debe escoger un valor mínimo de corriente pico de rayo para realizar el diseño de la red de terminación aérea. Este valor mínimo depende del tipo de estructura a proteger, y corresponde con el rayo de mayor corriente pico que puede impactar la estructura sin causarle daño.

Si se coloca la RTA del SPDA a una altura igual a la distancia de descarga S , que corresponde al rayo de menor amplitud pico del cual se quiere proteger, y además se supone que la estructura se encuentra fuera de la zona de descarga, entonces el punto donde se originará el último paso de avance para este rayo, quedará, a una altura de tierra igual a S . Una vez que los pasos de avance lleguen a este punto, tendrán sólo dos posibilidades, las cuales son:

- El rayo caiga de manera vertical hasta la tierra.
- El rayo se propague de manera horizontal hasta la RTA del SPDA.

No existe otra posibilidad, ya que los únicos puntos aterrados que están en la zona de descarga son estos dos. figura 2.



Fig. 2. Protección contra descargas atmosféricas de corriente pico igual a la de diseño.

Para corrientes de rayo mayores, ocurrirá lo mismo que en el caso anterior, con la diferencia de que el punto donde se origina el último paso de avance quedará a una altura mayor, esto implica que la descarga se propagará hasta la RTA del SPDA en un ángulo distinto al del horizontal, pero aun así, la estructura quedará fuera de la zona de descarga, y además, a mayor distancia de esta, figura 3.

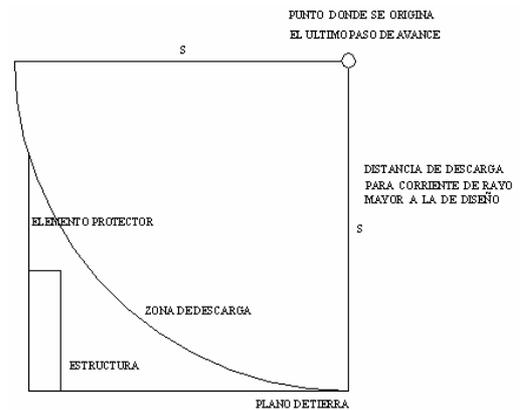


Fig. 3. Protección contra descargas atmosféricas de corriente pico mayor a la de diseño.

Para corrientes de rayo menores, el punto donde se origina el último paso de avance quedará a menor altura, esto implica que la estructura puede penetrar la zona de descarga del rayo, lo cual deja regiones expuestas al impacto de la descarga, figura 4.

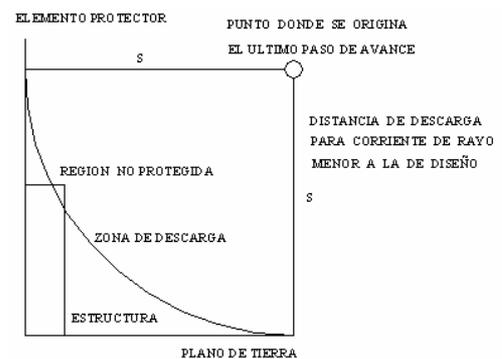


Fig. 4. Protección contra descargas atmosféricas de corriente pico menor a la de diseño.

MÉTODO DE SUPERFICIES IONIZANTES

Constituye un nuevo método para el diseño de la RTA de un SPDA aplicable cualquier tipo estructura [5]. Al igual que las esferas rodantes se basa en una interpretación de la ecuación de la distancia de descarga planteada en el modelo electrogeométrico. Sobre todas las estructuras que se encuentran a la intemperie, se puede definir una superficie

imaginaria denominada *superficie ionizante* (SI), la misma contiene todos los posibles puntos desde los cuales se puede originar el último paso de avance de una descarga atmosférica de corriente pico I .

DEFINICIÓN DE SUPERFICIE IONIZANTE

En términos geométricos, se puede definir la SI de una estructura, ante descargas atmosféricas de corriente pico I como:

El lugar geométrico de todos los puntos del espacio exterior a la estructura, que distan de ella la distancia $S=f(I)$, donde S es la distancia de descarga dada por (5).

Las dimensiones de la SI de una estructura son dinámicas con respecto a I . Se dice dinámicas con respecto a I , debido a que el tamaño de la SI varía con el valor de corriente pico del rayo que se aproxima a la estructura. La forma geométrica de la SI depende sólo de la forma de la estructura sobre la que se define.

El concepto de superficie ionizante permite apreciar como todas las estructuras que se encuentran a la intemperie, están expuestas al impacto directo de descargas atmosféricas. En el instante en que los pasos de avance de un rayo de corriente pico I alcanzan la SI de la estructura definida por $S=f(I)$, la descarga atmosférica se dirigirá a la estructura y ocurrirá un impacto directo.

En la figura 5 se muestra la SI de una estructura de altura 60m, para una descarga de 10 kA pico. La SI se define con una distancia (5) de descarga $S(10 \text{ kA})=35,735 \text{ m}$.

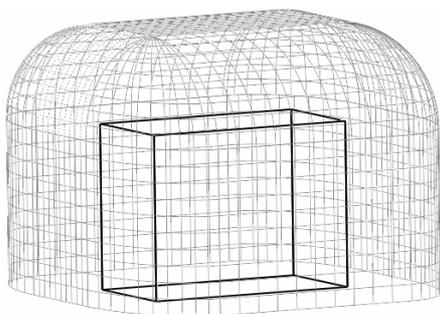


Fig. 5. Superficie Ionizante de estructura de altura 60 m, para descarga atmosférica de 10 kA.

ELEMENTOS DE LA RTA DEL SPDA

A cada elemento captador de descargas atmosféricas que compone la RTA del SPDA, le corresponde a su vez una SI. Desde este punto de vista, se pueden diferenciar tres elementos captadores con sus respectivas SI:

Superficie del Terreno: El terreno sobre el cual se encuentra ubicada la estructura posee una SI natural. La forma de esta depende de la topografía del terreno. En el caso de terreno plano, la SI del

mismo corresponde a un plano horizontal elevado a la altura $S=f(I)$ sobre la superficie del terreno.

- 1) Puntas Metálicas: La SI de una punta metálica esta compuesta por un cilindro vertical de radio $S=f(I)$, y un casco esférico de igual radio.
- 2) Cables de guarda: Su SI la constituye la mitad superior de un cilindro horizontal de radio $S=f(I)$, con cascos esféricos de igual radio en sus extremos.

Las SI se muestran en la figura 6.

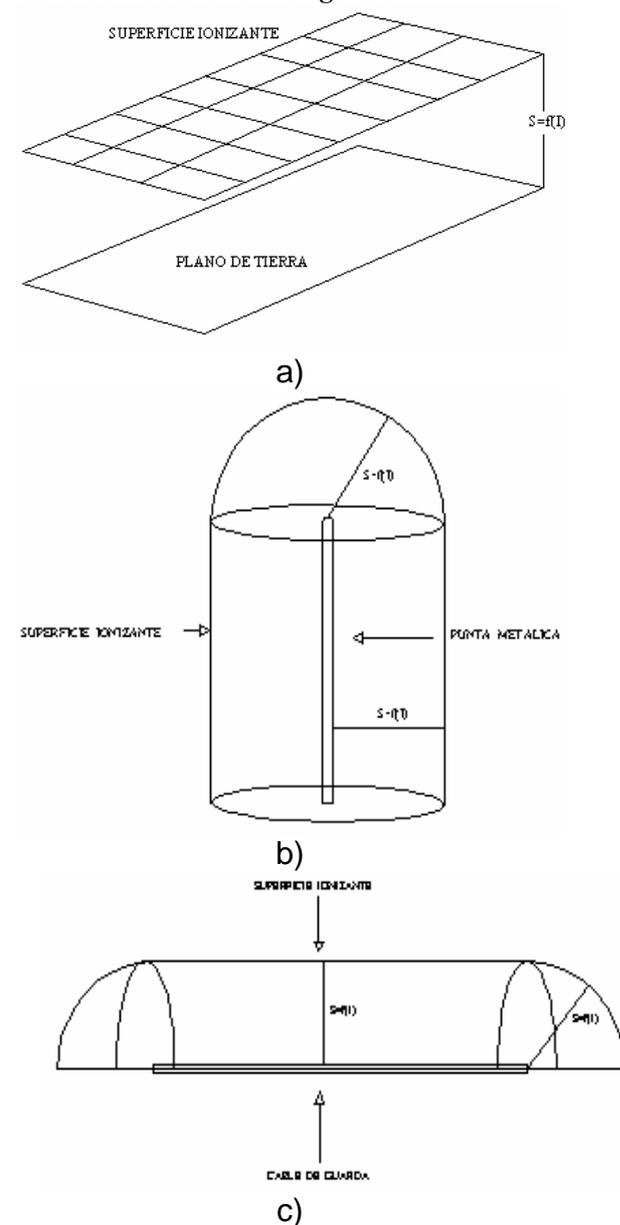


Fig. 6. Superficie Ionizante de elementos captadores a) plano de tierra, b) punta metálica, c) cable de guarda.

MÉTODO DE SUPERFICIES IONIZANTES

Al colocar elementos captadores sobre la superficie de la estructura a proteger, la superposición de sus SI, genera una nueva SI que cubre la SI natural de la estructura. Esta nueva SI se denomina *superficie Ionizante de la red de terminación aérea*.

La estructura se dice protegida, si la SI de la RTA, junto con la SI del terreno cubren la SI natural de la estructura. Esta es la idea principal del método.

Al igual que en el caso del *método de las esferas rodantes*, no se puede proteger contra todas las descargas atmosféricas. Se debe escoger un valor mínimo de corriente pico del rayo para realizar el diseño. De igual forma, este valor mínimo depende del tipo de estructura a proteger, y corresponde con el rayo de mayor corriente pico que puede impactar la estructura sin causarle daño.

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE RTA DE SPDA BASADA EN EL MÉTODO DE SUPERFICIES IONIZANTES

A continuación se presentan los pasos de una metodología de diseño de RTA de SPDA basada el método de superficies Ionizantes:

Definir la SI natural de la estructura a proteger para la corriente mínima de diseño.

Definir la SI del terreno sobre el cual se encuentra ubicada la estructura a proteger para la corriente de diseño.

Colocar un elemento captador en la superficie de la estructura. La elección del lugar de ubicación, tipo, y dimensiones del elemento captador, depende de la configuración de la estructura a proteger y el criterio del diseñador. Esto constituye *la red de terminación aérea parcial* (RTAP).

Definir la SI de la RTAP para la corriente de diseño, a partir de la superposición de las SI de los elementos captadores individuales que la componen. Si la SI de la RTAP, junto con la SI del terreno cubren la SI natural de la estructura, se dice que la estructura esta protegida, y la RTAP constituye *la red de terminación aérea definitiva* (RTAD), concluye el proceso de diseño. En caso contrario seguir al paso 6.

Modificar la RTAP. Esto se hace al agregar un elemento captador adicional, además de un posible cambio en la ubicación de los elementos captadores ya existentes en la red. Esto último depende de la estructura a proteger, y del criterio del diseñador. Con las modificaciones dadas en el paso 6, se obtiene la nueva RTAP.

Repetir los pasos de 4 a 7.

Ejemplo de aplicación de la metodología

En la figura 7 se muestra una de las etapas intermedias en el proceso de diseño con el método de superficies ionizantes para la estructura de altura 60 m mostrada en la figura 5. La superficie de color negro degradado a gris es la SI de la estructura a proteger para una descarga de 10 kA pico, y distancia de descarga $S=35,735$ m.

La SI del terreno se muestra como un plano horizontal elevado a 35,735 m sobre la base de la estructura. La fachada esta protegida hasta una altura de 35,735 m debido a que la SI del terreno cubre la SI de la estructura, hasta la altura indicada.

En la parte superior de la figura 7, está la SI de una RTAP compuesta por dos bases metálicas (conductores verticales) unidas por un cable de guarda (conductor horizontal). La altura de las bases y el cable de guarda es 35,735 m, y la longitud de este último es 100 m. Se puede apreciar como la SI de la RTAP unida con la SI del terreno, no cubren toda la SI natural de la estructura, la parte gris no cubierta indica la presencia zonas no protegidas.

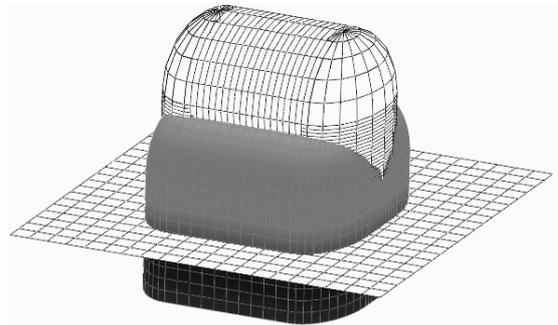


Fig. 7. Etapa intermedia en el proceso de diseño de RTA de SPDA basado en el método de superficies Ionizantes.

Las dimensiones de los elementos captadores de la RTAP, tienen sus valores máximos teóricos. El sentido común indica que a mayor tamaño de los elementos captadores, mayor será el nivel de protección. Esta conclusión intuitiva es verdadera hasta cierto punto. Si en el ejemplo de la figura 7 se colocan las bases metálicas y el cable de guarda a una altura mayor a 35,735 m, esto no repercute en un aumento del grado de protección.

Lo anterior puede ser verificado en la figura 8, la cual muestra la SI de una nueva RTAP en la que se ha aumentado la altura de sus elementos captadores a 45,735 m. Se puede apreciar como la zona debajo del cable de guarda tiene menor grado de protección.

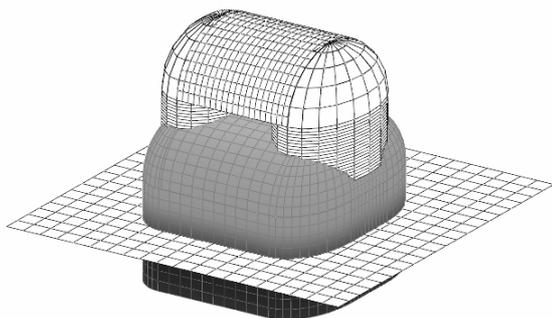


Fig. 8 Superficie Ionizante de la red de Terminación Aérea Parcial modificada.

COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO DE SUPERFICIES IONIZANTES Y MÉTODO DE LAS ESFERAS RODANTES

Un diseño de RTA de SPDA hecho con el Método de Superficies Ionizantes, cumple con los requisitos establecidos en las normas internacionales sobre protección contra rayos [1][6][7], ya que se basa en los mismos principios que el Método de las Esferas Rodantes. Utiliza la misma ecuación de distancia de descarga. (5). Esto implica que el método propuesto puede ser usado sin necesidad de modificar la normativa internacional que rige esta materia.

El método es sencillo de aplicar en comparación con el de las esferas rodantes. La ventaja que presenta, es que permite utilizar el principio de superposición a las SI de cada componente de la RTA del SPDA, además de que las formas geométricas de las SI de los elementos captadores son sencillas: cilindros y esferas.

De esta forma se puede hacer un diseño paso a paso en el que la SI de la RTAP nueva, se obtiene de la SI de la RTAP anterior, al añadir la SI del nuevo elemento captador. De esta forma se pueden hacer diseños con la menor cantidad de elementos captadores, lo cual se traduce en un SPDA de menor costo. En el Método de Esferas Rodantes, la ZPRTA de un SPDA dado es una superficie compleja. Al agregar un nuevo elemento captador la ZPRTA tiene que ser construida de nuevo. El Método de Superficies Ionizantes se adapta muy bien para ser aplicado con ayuda de programas de diseño en 3D.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un nuevo método de diseño de RTA de SPDA denominado Método de Superficies Ionizantes.

El método propuesto se basa en una nueva interpretación geométrica de la ecuación de distancia de descarga planteada en el Modelo Electrogeométrico.

El método propuesto se basa en el concepto de superficie Ionizante.

La SI de los elementos captadores tienen una geometría sencilla: cilindros y esferas.

El diseño de RTA basado en este método permite usar el concepto de superposición de SI lo cual se traduce en un proceso de diseño sencillo, comparado con el *método de las esferas rodantes*.

La filosofía del *método* permite realizar diseños paso a paso, lo cual permite obtener SPDA con la menor cantidad de elementos captadores. Un SPDA más económico.

El método propuesto es general y aplicable cualquier tipo estructura.

Se aplica muy bien con la ayuda de programas de diseño 3D.

REFERENCIAS

- [1] IEEE., *Guie for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations, IEEE Std 996, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1998.*
- [2] RALPH L., *Lightning Protection of Buildings, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 1A-15, NO.3, MAY/JUNE 1979.*
- [3] SILVA S.: Análisis del Modelo Electrogeométrico y su aplicación en la protección de edificaciones contra descargas atmosféricas, Memorias de las I Jornadas de Ingeniería Eléctrica JIELEC 2000, UNEXPO, núcleo "Antonio José de Sucre", Barquisimeto Edo. Lara, Venezuela, 2000.
- [4] OJELA N. y S. Silva.: Metodología para la implementación de sistemas contra descargas atmosféricas, Memorias de las I Jornadas de Ingeniería Eléctrica JIELEC 2000, UNEXPO, núcleo "Antonio José de Sucre", Barquisimeto Edo. Lara, Venezuela, 2000.
- [5] SILVA S. : Método de Superficies Ionizantes y su Aplicación en la Protección Contra Descargas Atmosféricas, Memorias V Jornadas de Investigación Científico Tecnológicas, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida, Edo. Mérida-Venezuela 2002.
- [6] IEC.: *Protection Against Lightning, IEC 62305, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2006*
- [7] NFPA.: *Standard for the Installation of Lightning Protection System, NFPA 780, National Fire Protection Association, Quincy, 2004.*

AUTOR

Soiram Ernesto Silva Artigas.

Ingeniero Electricista. Maestrante en Modelos Aleatorios (UCV Actual). Miembro del comité técnico No 11, Sub – Comité No 7 " Instalaciones Eléctricas " del Comité de Electricidad Venezolano (CODELECTRA). Profesor Asistente, Universidad Bolivariana de Venezuela, Sede Caracas.

e-mail:profesorsoiram@yahoo.es

ssilva@ubv.edu.ve