

Algunas formas de proteger tiendas militares de campaña móviles contra los impactos de los rayos

/ Some ways to protect mobile military tents against lightning impacts

Francisco Román Campos¹, John Jairo Pantoja Acosta², José Félix Vega Stavro³

¹Ph.D. Ingeniero Electricista, Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
fjromanc@unal.edu.co

²Ph.D. Ingeniero Electrónico, Grupo de Investigación EMC, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia
jipantojaa@unal.edu.co

³Ph.D. Ingeniero Electrónico, Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
jfvargas@unal.edu.co

Página
41

ESING

Fecha de recepción: 26/08/2014 Fecha de aceptación: 23/09/2014

Resumen

En este artículo se presentan algunas formas de proteger contra rayos las tiendas militares móviles de campaña. El estudio sigue las recomendaciones dadas por normas internacionales de protección contra rayos para conducir la corriente del rayo a tierra en forma segura. Estas recomendaciones sugieren que la corriente del rayo que impacta el sistema de protección externo sea conducida a tierra por varios conductores paralelos llamados bajantes y que posteriormente se disperse en la tierra mediante un conductor que forme un anillo alrededor de la estructura a manera de un sistema equipotencial. De esta forma puede garantizarse que las personas que se encuentran durmiendo dentro de la carpa no presenten diferencias importantes de potencial entre la cabeza y los pies, el cual llamaremos aquí "voltaje cabeza-pies". Así mismo, las configuraciones de protección contra rayos presentadas aquí, también protegerán contra las corrientes indirectas de los rayos y contra el "voltaje cabeza-pies", a las personas que se encuentren durmiendo en carpas vecinas al punto de impacto del rayo.

Palabras clave

Descargas eléctricas atmosféricas, protección contra rayos, voltaje cabeza-pies, potencial de paso.

Abstract

In this paper, some ways to protect military mobile tents against lightning are described. This study follows the recommendations given by international lightning protection standards to divert the lightning current safely to ground. These standards recommend that the lightning current, which impacts the external lightning protection systems, should be conducted to ground through parallel conductors, called down conductors. Later on, this current is diverted into the ground by a ring conductor which acts as an equipotential system. In this way, important "head-to-feet" potential differences, for people in lying position inside the tent, are avoided. In addition, the lightning protection configurations presented in this work, will also protect against indirect lightning currents and the called here "head-to-feet volta-

Para citar este artículo / To cite this article

F. Campos, J. Pantoja, J. Vega. Algunas formas de proteger tiendas militares de campaña móviles contra los impactos de los rayos. Revista Ingenieros Militares, No.9, pp. 41-46. 2014.

Igualmente se midió por primera vez en Colombia 40 rayos en la zona de la Palma, Cundinamarca [5]. El Grupo EMC-UN ha estudiado y modelado desde el año 2000 [6]-[9], los accidentes causados por los rayos y que afectan el cuerpo humano. Dentro de las conclusiones a las que ha llegado el grupo EMC-UN mediante el modelado de la puesta a tierra del objeto impactado por el rayo, se destaca el hecho de que la corriente del rayo puede seguir varias trayectorias en su camino a la tierra [9]. Estos resultados son importantes para entender e identificar con precisión las trayectorias que puede seguir la corriente del rayo cuando se presenta un accidente. Para proteger a las personas contra los efectos de los accidentes de los rayos, es posible seguir los lineamientos ofrecidos por la norma IEC [10], los cuales pueden resumirse así: cuando un rayo impacta el sistema externo de protección contra rayos, por ejemplo una punta de Franklin, la corriente del rayo debe ser conducida con seguridad a la tierra. Para ello y para evitar sobre-dimensionar los conductores de la protección externa contra los rayos, se forza a que la corriente del rayo se divida en por lo menos dos trayectorias conductoras en su descenso hacia la tierra. Estos conductores, llamados bajantes, deben llegar a un anillo conductor, el cual tiene dos funciones: una es actuar como electrodo de puesta a tierra para drenar en el terreno la corriente del rayo; y otra es actuar como una superficie equipotencial. La superficie de igual potencial que se forma alrededor del anillo de tierra permite que las personas que se encuentran dentro de la estructura, queden protegidas contra las posibles diferencias de potencial que producen las corrientes de los rayos en su camino hacia la tierra.

Los principios anteriormente mencionados se presentan a manera de ilustración en la Figura 2, propuesta por Stig Lundquist en la Universidad de Uppsala [11]. En la Figura 2 se aprecia como el rayo impacta en el conductor (5) y es guiado hacia el conductor enterrado (1) mediante 4 conductores bajantes (6). Las varillas de tierra (2) de 0,2 m de longitud y las rocas (3) mejoran el contacto del conductor enterrado (1) con la tierra, mientras que el colchón de in-

flar (4) sirve para aislar a la persona de las posibles diferencias de potencial que se presenten en el interior de la tienda de campaña.

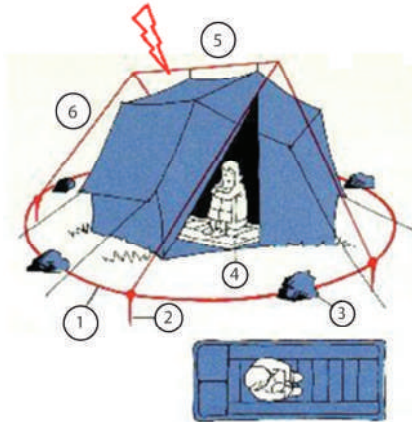
El esquema de protección mostrado en la Figura 2 puede ser insuficiente cuando una o varias personas se encuentran dormidas dentro de la tienda de campaña, porque los potenciales que se presentan entre la cabeza y los pies pueden hacer que circule una corriente mortal a través del cuerpo. Esto sucede porque puede aparecer una pequeña diferencia de potencial entre los pies y la cabeza, cuando la persona está acostada. Esto puede evitarse si la persona se acuesta sobre una superficie equipotencial que haga que los pies y la cabeza se encuentren al mismo potencial durante el corto tiempo en que la corriente del rayo es guiada hacia la tierra por el conductor 2. Para evitar que esto suceda se proponen dos esquemas de protección basados en las normas IEC [10] y la guía de protección contra rayos del personal [12]. Estos esquemas se explican en el numeral siguiente.

Esquemas de protección

A continuación se presentan dos esquemas de protecciones contra rayos para tiendas de campaña o refugios temporales. El primero corresponde a un sistema basado en un terminal aéreo, mientras que el segundo utiliza un alambre elevado.

Los esquemas presentados están basados en recomendaciones de organismos internacionales para el diseño de protecciones contra rayos [10]-[12] y están orientados a proveer protección contra los tres efectos principales de una descarga atmosférica [12]: impacto directo, flameo o flashover y potencial de paso. El impacto directo se presenta cuando la trayectoria principal del rayo o una de sus bifurcaciones intercepta a la víctima y la corriente del rayo o parte de ella circula por la víctima. El flameo se presenta cuando el rayo intercepta una estructura con alta impedancia respecto al suelo y se crea un potencial de contacto que excede el potencial de ruptura del aire, creando una descarga eléctrica conocida como chispa. El potencial de paso corresponde a una diferencia de tensión

en la superficie del terreno ocasionada por el flujo de la corriente del rayo por un medio resistivo como el suelo. El potencial de paso, en el orden de las decenas de kilovoltios, puede ocasionar un flujo de corriente a través del cuerpo humano causando un choque eléctrico.



1. Conductor enterrado alrededor de la tienda
2. Barra metálica
3. Rocas
4. Colchón de aire
5. Protección externa contra rayos
6. Bajantes

Figura 2. Adaptación libre de la protección contra rayos de una tienda de campaña propuesta por Stig Lundquist en [11]. Nótese el impacto del rayo en el conductor superior (5) de la tienda de campaña. La corriente del rayo es conducida por los 4 conductores bajantes (6) hasta el anillo conductor enterrado (1). Las varas metálicas (2) y las rocas (3) mejoran la puesta a tierra del sistema y el colchón de aire (4) aísla a la persona de la tierra.

Protección con terminal aéreo

En la Figura 3 se propone un esquema de protección contra rayos utilizando un terminal aéreo o pararrayos como terminación de la descarga atmosférica. En este esquema, se busca que el pararrayos intercepte el rayo para luego conducirlo a tierra por medio de dos bajantes. Las bajantes se conectan a la malla subterránea de puesta a tierra, necesaria para establecer una superficie equipotencial y proveer protección contra efectos de potencial de paso. El pararrayos tipo Franklin consiste en una varilla de cobre con diámetro mínimo de 3/8 de pulgada. Si el ancho (A) del refugio es superior a 6 m, se debe adicionar un pararrayos cada 6 m. Las bajantes y la malla de puesta a tierra pueden ser de cables de cobre #2 AWG (diámetro de 6.544 mm) con hilos de tamaño mínimo #17 AWG. Es recomendable introducir las bajantes en tu-

bería de PCV para evitar contacto directo con personal y sujetar las bajantes a la estructura al menos cada metro.

Se recomienda que el espaciamiento de las intersecciones en la malla de puesta a tierra, correspondientes a las medidas (a), (b) y (g) en la Figura 3c, sean menores a 1 m.

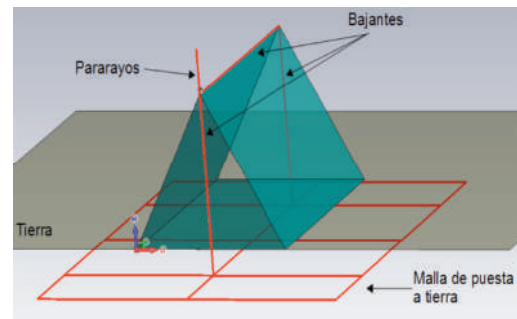
La longitud del pararrayos tipo Franklin (L_p) debe estar entre 25.4 cm y 70 cm, mientras que la malla de puesta a tierra debe estar enterrada a una profundidad (L_e) mayor a 20 cm pero menor a 76 cm.

Protección con alambre elevado

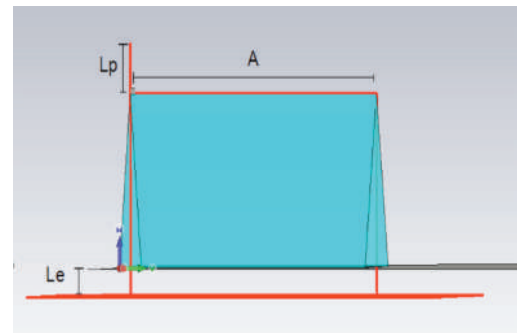
En la Figura 4 se muestra un esquema de protección contra rayos utilizando un alambre elevado como terminación de la descarga atmosférica. En este esquema, el alambre intercepta y conduce al rayo hacia tierra.

Al igual que en el caso anterior, se requiere una malla de puesta a tierra, la cual debe estar conectada a los dos extremos del alambre.

En este esquema, el alambre elevado consiste en un cable de acero con diámetro mayor a 1/4



(a)



(b)

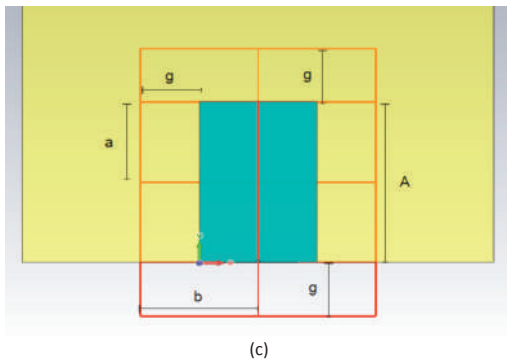
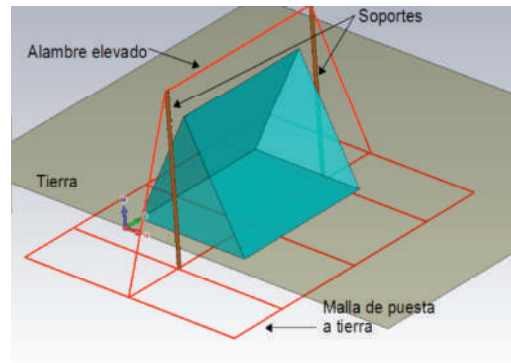
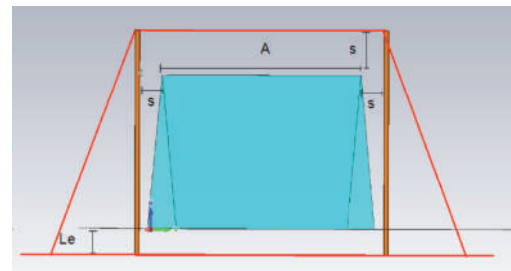


Figura 3. Esquema de una protección contra rayos utilizando un terminal aéreo: (a) perspectiva, (b) vista lateral y (c) vista superior.

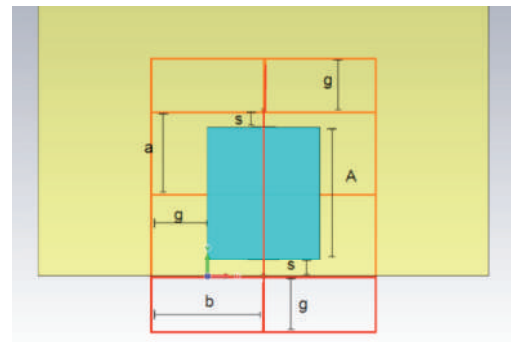
de pulgada, el cual evita que por una elevación de temperatura en el momento del impacto del rayo, se incendie la tienda de campaña. Adicionalmente, por su longitud y altura este sitio será el escogido para que el rayo impacte, evitando que incendie la tienda y al ser conducido por las bajantes, evitará que la corriente del rayo siga trayectorias indeseadas produciendo un impacto directo en la persona, o flameo o potenciales de paso o contacto. Este alambre debe estar separado (s) al menos 20 cm del refugio. Los mástiles de soporte deben ser de un material no conductor. El resto de materiales y dimensiones del sistema de protección son iguales al caso anterior. Los dos esquemas de protección propuestos disminuyen los riesgos de impacto directo, de potencial de paso y de potencial cabeza-pies en la misma medida, teniendo en cuenta que se proporciona una terminación al rayo y una trayectoria hacia tierra por medio de dos conductores y, además, la malla de puesta a tierra evita diferencias de potencial dentro del refugio. Dado que el diseño con terminal aéreo presenta menor separación de los conductores con la carpa que el esquema con alambre elevado, existe mayor riesgo de flameo por la creación de potenciales de contacto. Este riesgo se disminuye recubriendo los conductores con PCV y alejando elementos metálicos de los conductores del sistema de protección al menos 20 cm. Sin embargo, la protección con alambre elevado presenta la desventaja que requiere el uso de soportes adicionales y mayor cantidad de material conductor.



(a)



(b)



(c)

Figura 4. Esquema de una protección contra rayos utilizando un alambre elevado: (a) perspectiva, (b) vista lateral y (c) vista superior.

Conclusiones

Colombia es uno de los países del mundo con mayor número de muertos por rayos, por millón de habitantes y por año. Dado que las víctimas por rayos se presentan especialmente en las zonas abiertas, el personal militar es una población particularmente expuesta a los rayos.

En este artículo se han presentado tres posibles formas de proteger contra los rayos las tiendas de campaña que el personal militar usa en sus

desplazamientos. Los esquemas planteados proveen protección contra los tres efectos principales de un rayo: impacto directo, flameo o flashover y potencial de paso. Dado que las soluciones aquí planteadas requieren de elementos metálicos de mucho peso, se plantea la necesidad de encontrar materiales livianos que permitan asegurar una protección efectiva contra los rayos del personal militar.

Referencias

- [1] N. Navarrete-Aldana • M. Cooper • R. L. Holle. "Lightning fatalities in Colombia from 2000 to 2009, Natural Hazards DOI 10.1007/s11069-014-1254-9" *23rd International Lightning Detection Conference 18-19 March 5th International Lightning Meteorology Conference 20-21 March*. Tucson, AZ, USA. 2014.
- [2] R. L. Holle, "Annual Rates of Lightning Fatalities by Country." *20th International Lightning Detection Conference*, Tucson, AZ, USA, 2008.
- [3] F. Román. "Línea experimental para el estudio de los rayos - Proyecto LEER.", IX Jornadas nacionales de Energía, Bogotá, Colombia, ACIEM, Mayo 27 - 28, 1992a.
- [4] F. Román. "Distribution transformers failures and Lightning activity in Colombia." *21 International Conference on Lightning Protection*, Berlín, Septiembre 22-25, 1992b.
- [5] F. Román., A. Mejía, "The First Lightning Measurement in the Field in Colombia." *21 International Conference on Lightning Protection*, Berlín, Septiembre 22-25, 1992.
- [6] F. J. Roman Campos, E. Lotberg, "Informe sobre un Accidente causado por un Rayo en un Campo de Fútbol. Hille; Gävle, Suecia el 29 de Julio de 1994", *Rev. Mundo Elect. Colomb.* ISSN: 0120-8926 ed: Orvisa Comunicaciones, vol.14 fasc.39 pp.120-123, 2000.
- [7] F. Román., A. Alarcón, F. Santamaría, "Analysis of a Lightning Accident in Gavle, Sweden., *Memorias del VIII International Symposium on Lightning Protection*, São Paulo, Brazil, 21st-25th November, 2005.
- [8] F. Santamaria, A. Alarcon, F. Román, "Analysis of a Lightning Accident Considering a Modified Human Body Model, paper VIII-12", *28th International Conference on Lightning Protection ICLP*, Kanazawa Japan, Septiembre 18-22, 2006, p.p.1249-1253
- [9] F. Santamaria, O. Diaz, A. Alarcon, F. Román., "Behaviour of the Shoe-to-Earth Contact Under Lightning-Like Current Impulses." *29th International Conference on Lightning Protection*, Uppsala, Sweden, 23rd - 26th June, 2008.
- [10] IEC, "Protection against lightning," in *Part 1: General principles* vol. IEC 62305-1, ed, 2010.
- [11] Protección contra rayos provisionalmente para tiendas. Disponible en: http://www.hvi.uu.se/Lightning/blixtskydd/askskydd_for_talt.html
- [12] "Guide for Lightning Protective Measures for Personnel" U.S. Army Training and Doctrine Command 2002.