

Correlación entre la actividad ceráunea y la localización de daño en equipos eléctricos y electrónicos a causa de rayos en Bogotá, Colombia

Correlation between keraunic activity and location of damage in electric and electronic equipments because of lightning in Bogotá, Colombia

HENRY FELIPE IBÁÑEZ OLAYA

Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Automatización y Control de Procesos Industriales de la Universidad de Los Andes y Magíster en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Alta Tensión de la Universidad Nacional de Colombia. Docente del programa de Tecnología en Electricidad e Ingeniería en Distribución y Redes Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Coinvestigador del Grupo de Investigación en Protecciones Eléctricas GIPUD, reconocido por Colciencias.
hfibanezo@udistrital.edu.co

HELMUTH EDGARDO ORTIZ SUÁREZ

Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia y candidato a Magíster en Ingeniería Eléctrica, con énfasis en Sistemas de Potencia de la misma Universidad. Docente del programa de Tecnología en Electricidad e Ingeniería en Distribución y Redes Eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Coinvestigador del grupo de Investigación GIPUD.
heortiz@udistrital.edu.co

CARLOS ALBERTO AVENDAÑO AVENDAÑO

Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia y Especialista en Alta Tensión de la misma Universidad. Docente del programa de Tecnología en Electricidad e Ingeniería en Distribución y Redes Eléctricas de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Director del grupo de Investigación GIPUD, reconocido por Colciencias.
caavendanoa@udistrital.edu.co

Fecha de recepción: abril 15 de 2005

Clasificación del artículo: investigación
Fecha de aceptación: junio 27 de 2005

Palabras clave: correlación pérdidas-rayos, densidad de descargas eléctricas atmosféricas a tierra, estadística de daños, localización de pérdidas, nivel ceráuneo.

Key words: correlation damage-lightning, density of lightning to earth, statistics of damage, localization of damage, keraunic level.

RESUMEN

En este artículo se presenta la metodología utilizada para establecer la correlación entre la actividad ceráunica y la localización de zonas de riesgo de daño de equipo eléctrico y electrónico en la ciudad de Bogotá, Colombia, generados por impacto directo o indirecto de rayos. El estudio se hizo dada la carencia de un mapa local de Densidad de Descargas Eléctricas Atmosféricas a Tierra (DDT) en la ciudad; utiliza información histórica como cantidad, costos y localización de pérdidas de equipo eléctrico y electrónico suministrada por empresas aseguradoras, y la medición del nivel ceráunico de la región en estudio para comprobar la validez de los datos.

ABSTRACT

In this paper the used methodology appears to establish the correlation between keraunic activity and the location of zones of risk of damage of electrical and electronic equipment in the city of Bogota, Colombia, generated by direct hit or indirect of lightning. The study is made given the deficiency of a local map of density of atmospheric electrical unloads to ground in the city; it uses historical information like amount, costs and location of losses of electrical equipment and electronic provided by insuring companies, and the measurement of the keraunic level of the region in study to verify the validity the data.

1. Introducción

Los rayos son la causa más significativa de perturbaciones en los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica y la mayor causa de pago de las aseguradoras por daño de equipo eléctrico y electrónico en el mundo.

Por ejemplo en Alemania, entre 1992 y 1997, el 26% de las pólizas pagadas correspondieron a daños causados por sobretensiones de origen atmosférico (Eunice y Casasbuenas, 2003: 3). En Colombia, en el periodo 1993-1994 las compañías aseguradoras reportaron un incremento del 30% en el pago de primas por siniestralidad en equipo eléctrico y electrónico, que alcanzó un monto de \$16.000 millones (US \$16 millones) en 1994 (Olaya, Santana y García, 1996).

Como país ubicado en la zona de confluencia intertropical, Colombia presenta una elevada actividad de rayos en comparación con países situados sobre los trópicos (Williams *et al*, 1996). En Bogotá y sus alrededores se concentra el 70% de la industria y el 20% de la población, razón por la cual es necesario tener un mapa local de Densidad de Descargas Eléctricas Atmosféricas a Tierra (DDT), que sirva para realizar el diseño de los sistemas de protección

contra rayos; los mapas locales no existen, aunque sí se cuenta con mapas globales de DDT para el país, con los cuales no sería apropiado realizar un diseño particular de protección contra rayos. En el país, la información de DDT para un lugar específico se puede conseguir con Interconexión Eléctrica S.A. (ISA) pero a un costo elevado¹.

Con las restricciones antes mencionadas se desarrolló un trabajo intitulado Estadísticas de daño de equipo eléctrico y electrónico a causa de rayos en Bogotá², con el cual se pretendió realizar un primer acercamiento al fenómeno del rayo en la ciudad, determinando las zonas en las cuales se presenta la mayor cantidad de pérdidas de equipo eléctrico y electrónico por rayos, y el impacto económico generado por este fenómeno. Para confrontar la información obtenida, ésta se comparó

¹ Aunque se cuenta con una red de localización de descargas eléctricas atmosféricas, los datos obtenidos sólo se utilizan para labores de mantenimiento de las líneas de transmisión del país y para estudios de investigación del fenómeno del rayo. Hasta la fecha, con esta información no se han elaborado mapas locales de DDT.

² Trabajo de grado desarrollado por integrantes del grupo de investigación en protecciones eléctricas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (GIPUD), Bogotá, Colombia.

con los valores históricos promedio del nivel ceráuneo para la ciudad de Bogotá D.C.

2. Recolección de información

La recolección de la información acerca de cantidad y costo de las pérdidas de equipo que han sido cubiertas por pólizas de aseguramiento contra daños a causa de rayos se efectuaron a partir de datos suministrados por las compañías que ofrecen este servicio en Bogotá D.C..

De las 25 aseguradoras más representativas de Bogotá D.C., agremiadas en la Federación de Aseguradores Colombianos, FASECOLDA, 11 ofrecen pólizas contra daño de equipo eléctrico y electrónico por rayos: Agrícola de Seguros, ABN Amro Seguros, Central de Seguros, Colseguros, Chubb de Colombia, La Previsora S.A., Solidaria de Colombia, Suramericana de Seguros, Seguros Bolívar, Mapfre Seguros y Liberty Seguros.

Puede afirmarse que ninguna de las aseguradoras cuenta con información detallada de las pérdidas por rayo, puesto que para una compañía pagar a un ajustador³ que defina el suceso del siniestro mediante un informe técnico, es una inversión relativamente alta; por esto, la decisión de la mayor parte de las aseguradoras es pagar la totalidad de los equipos eléctricos o electrónicos dañados por rayos sin objeción alguna. Algunas de las aseguradoras visitadas contratan ajustadores sólo cuando el siniestro es de grandes proporciones.

Para el presente estudio se utilizaron datos de 400 siniestros por impacto directo e indirecto de rayos en Bogotá, en los cuales se vieron afectados 726 equipos eléctricos o electrónicos. Esta clase de siniestro representa el 19,3% del total (robo, incendio, terremoto, terrorismo, etc.); los datos analizados corresponden a un periodo de nueve años, comprendidos entre 1994 y 2002.

Para el análisis estadístico de la información suministrada por las aseguradoras se empleó la distribución T de Student, con un nivel de confianza del 90%.

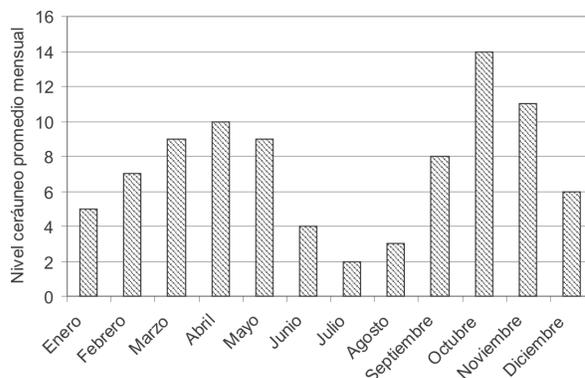
3. Análisis de información

La información suministrada por las 11 aseguradoras se analizó considerando las siguientes variables: a) costo de pérdidas; b) cantidad de pérdidas; c) localización de pérdidas; d) tipo de equipo afectado. Las dos primeras se correlacionaron con el nivel ceráuneo promedio mensual y con la variación temporal multianual del nivel ceráuneo para la ciudad de Bogotá D.C.

3.1 Nivel ceráuneo

El nivel ceráuneo⁴ promedio mensual obtenido de los valores históricos registrados entre 1974 y 1990 en Bogotá D.C. (Torres, 2002), se presenta en la figura 1.

Figura 1. Nivel ceráuneo promedio mensual para Bogotá D.C., período 1974-1990



En la figura puede observarse que los periodos más tormentosos Bogotá D.C se presentan en dos trimestres: marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre; por lo general, meses de época lluviosa.

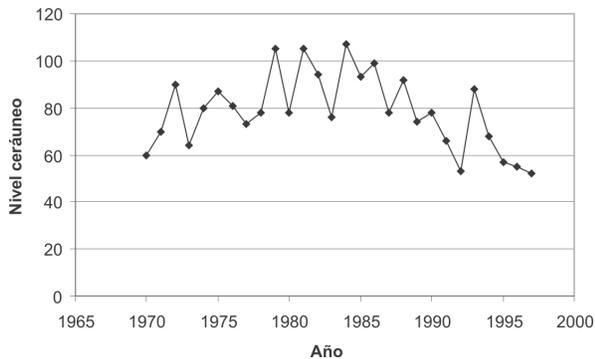
El nivel ceráuneo es un parámetro meteorológico con variaciones cíclicas temporales, como se presenta en la figura 2. Sin embargo, aunque los valores promedio multianuales varían con el tiempo, su

³ Los ajustadores son firmas especializadas en verificar siniestros.

⁴ El nivel ceráuneo se define como el número de días tormentosos (días en los cuales se escucha al menos un trueno) en un periodo determinado de tiempo (generalmente un año) y en una zona específica.

distribución en los diferentes meses del año tiene una tendencia similar a la mostrada en la figura 1, es decir, siempre se presentará la mayor actividad atmosférica en los trimestres ya mencionados.

Figura 2. Variación temporal multianual del nivel ceráuneo para Bogotá D.C., periodo 1970-1997

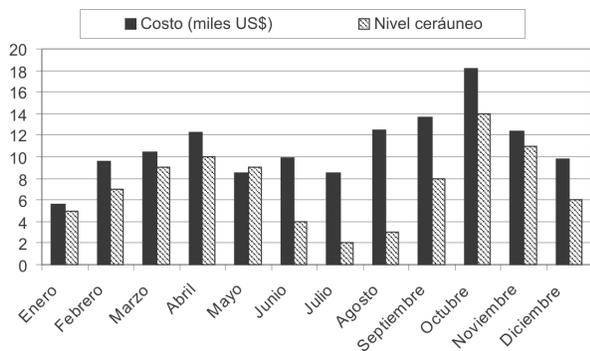


Fuente: Torres, H. (2002) *El rayo, mitos, leyendas, ciencia y tecnología*, p. 131.

3.2 Costo de pérdidas

La figura 3 muestra la correlación entre el costo promedio mensual de las pérdidas pagadas por las empresas aseguradoras en el periodo 1994-2002 (columnas a la izquierda) y el nivel ceráuneo mensual (columnas a la derecha). El costo se presenta en miles de dólares en valor presente.

Figura 3. Correlación entre costo promedio mensual por pago de pérdidas y nivel ceráuneo



Fuente: cálculo de los autores

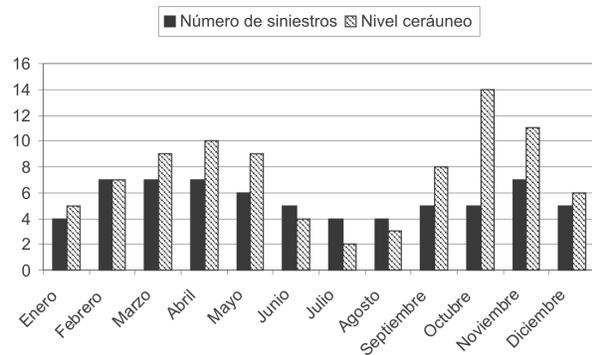
Se considera costo de pérdida el valor de la reposición del equipo o equipos afectados, sin incluir otros costos como los causados por paros en el proceso productivo. Al comparar el costo promedio mensual por pago de pérdidas con el nivel ceráuneo mensual, se observa que el mayor pago por pérdidas se efectúa en los trimestres de tormenta mencionados.

El comportamiento del costo promedio en los diferentes meses del año presenta una tendencia similar al que muestra el nivel ceráuneo, encontrándose que el mes en que se realiza el mayor pago por pérdidas es octubre, mes que también ostenta el mayor nivel ceráuneo, y al observar solo el primer trimestre de tormentas, en abril es cuando se presenta el mayor pago por pérdidas y el mayor nivel ceráuneo.

3.3 Cantidad de siniestros

La figura 4 muestra la correlación entre el número promedio mensual de los siniestros pagados en el periodo 1994-2002 (columnas a la izquierda) y el nivel ceráuneo mensual (columnas a la derecha).

Figura 4. Correlación entre número de siniestros y nivel ceráuneo

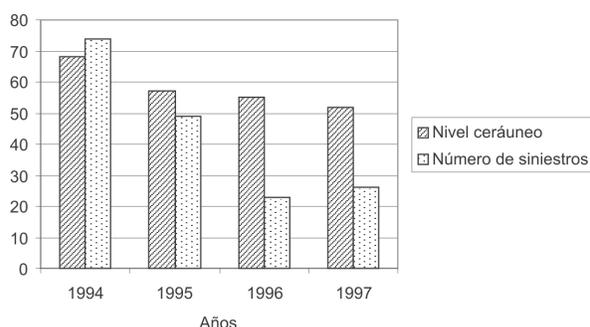


Fuente: cálculo de los autores

Al comparar el número promedio mensual de siniestros con el nivel ceráuneo mensual, se observa que la mayor cantidad de pérdidas ocurre en los trimestres de tormenta, mostrando la misma tendencia en el tiempo.

En la figura 5 se observa que en el periodo 1994-1997 se presenta una disminución del nivel ceráuneo multianual para la ciudad de Bogotá en relación con lo presentado en la figura 2; así, se pasa de un valor de 68 días tormentosos en 1994 a 52 días en 1997; igual comportamiento describe el número de pólizas de aseguramiento pagadas en ese mismo período.

Figura 5. Comportamiento del número de siniestros y el nivel ceráuneo multianual para el período 1994 -1997 en Bogotá⁵ D.C.



Puede concluirse que la correlación de los valores mensuales promedio de siniestros y el nivel ceráuneo promedio existe, dado que el comportamiento de las dos variables mostradas en la figura 5 presenta la misma tendencia. Asimismo, puede afirmarse que el costo promedio mensual por pago de pérdidas y el número promedio mensual de pérdidas presentan una alta correlación con el nivel ceráuneo mensual, lo cual permite determinar las zonas con mayor actividad ceráunea de Bogotá D.C. a partir de las pérdidas reportadas.

3.4 Localización de pérdidas

La ciudad de Bogotá está situada sobre un altiplano de la cordillera de Los Andes a 2.600 m sobre el

⁵ Se presenta información solo hasta 1997 porque se carece del valor del nivel ceráuneo en los años posteriores; en Colombia esta información puede conseguirse en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM pagando un costo por dato mensual. Ver tarifas en la página web: <http://www.ideam.gov.co>, Acuerdo 0043 de mayo 21 de 1998.

nivel del mar. El límite oriental de la ciudad lo conforman cerros que la recorren de norte a sur, con alturas promedio de 3.100 m; el área restante presenta una topografía plana con excepción del cerro de Suba ubicado en el noroeste de la ciudad.

Para la construcción del mapa del nivel de riesgo de pérdidas de equipo eléctrico y electrónico de Bogotá D.C., se ubicaron todos los casos identificados en un mapa geográfico de la ciudad, el cual se dividió en zonas de 1.500 m²; en cada zona se totalizaron los siniestros, obteniéndose el mapa que muestra la figura 6⁶. De acuerdo con el número de siniestros en el mapa de localización, se definen cinco zonas de riesgo, así:

Tabla 1. Clasificación de zonas de riesgo de pérdidas de equipo eléctrico y electrónico en Bogotá

Descripción de la zona	Convención empleada en mapa
Zonas con número de pérdidas entre 21 y 35	
Zonas con número de pérdidas entre 10 y 20	
Zonas con número de pérdidas entre 6 y 9	
Zonas con número de pérdidas entre 1 y 5	
Zonas en las cuales no se reportaron pérdidas o no se cuenta con información	

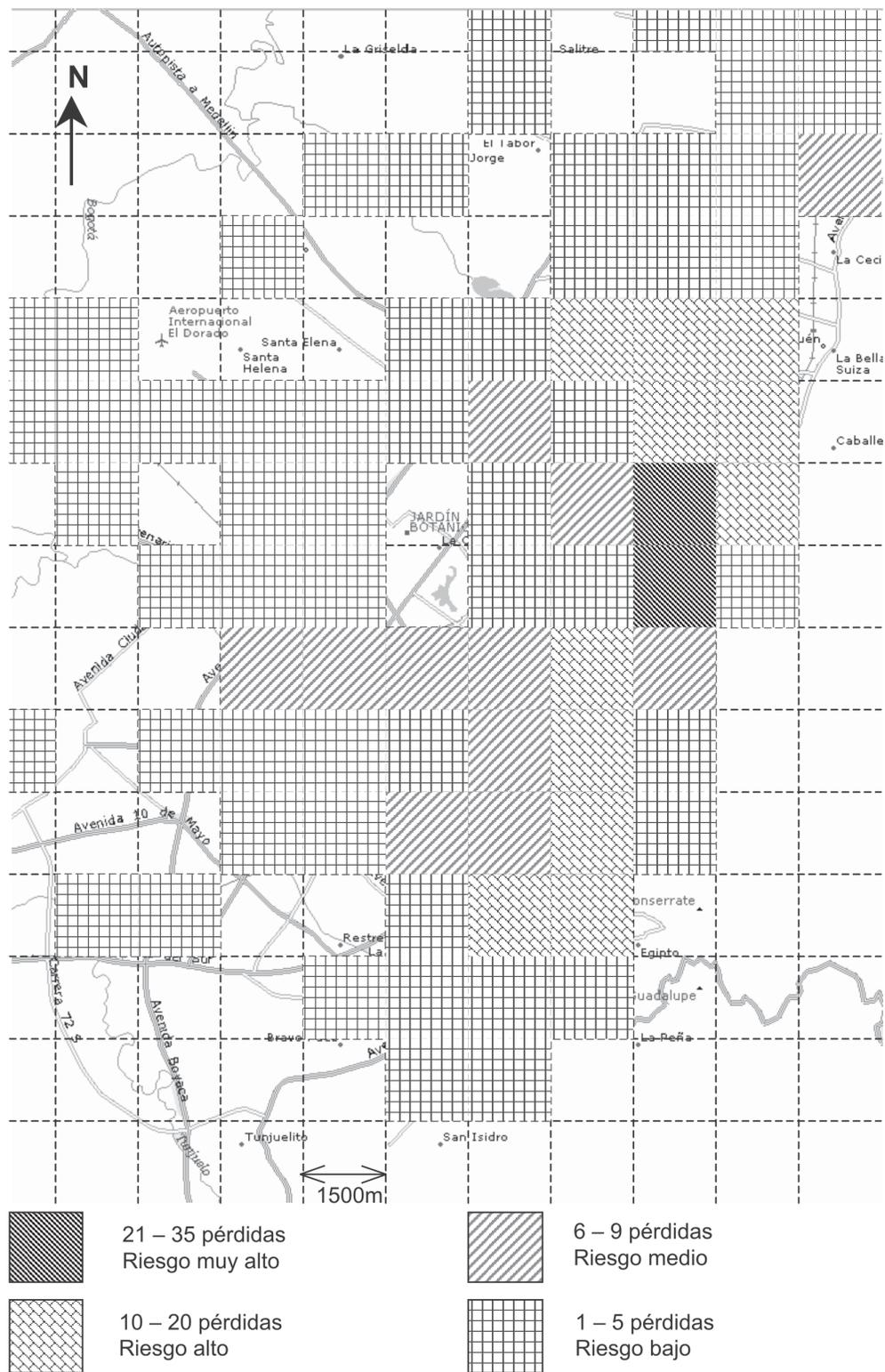
Fuente: propuesta de los autores

El mapa permite observar que las zonas con mayor riesgo de daño de equipo eléctrico y electrónico a causa de rayos están ubicadas al oriente de la ciudad, cerca de los cerros orientales.

Las zonas con riesgo muy alto de pérdidas se encuentran entre las calles 68 y 92; las zonas con riesgo alto se encuentran entre las calles 6ta y 68 y

⁶ La versión a color de este mapa puede consultarse en la página web: http://www.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gipud/produccion_archivos/mapa_correlacion.pdf

Figura 6. Mapa de riesgo de pérdidas de equipo eléctrico y electrónico en Bogotá



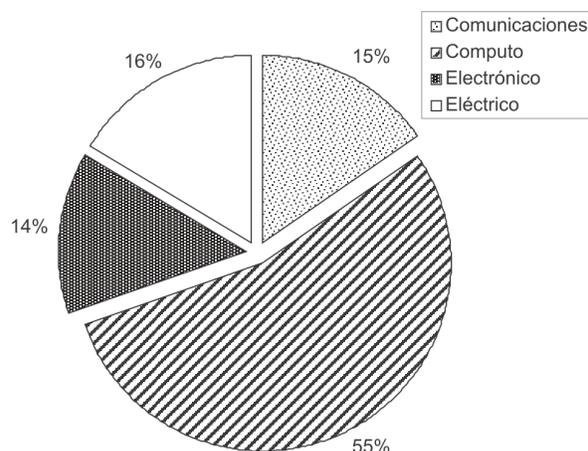
entre las calles 92 y 127, todas cercanas a los cerros orientales. Las zonas con riesgo medio de pérdidas se ubican en la parte central de la ciudad y las zonas de riesgo bajo en el resto de la ciudad. No se dispone de información de la zona sur de la ciudad.

De esta manera, las correlaciones realizadas entre costo de pérdidas, número de pérdidas y nivel ceráuneo y observando el mapa de nivel de riesgo permiten afirmar que, aunque toda la ciudad tiene el mismo nivel ceráuneo (alrededor de 110 días tormentosos al año), la DDT no es igualmente uniforme. La mayor DDT se presenta en la zona oriental de la ciudad, cerca de los cerros, en especial entre las calles 68 y 92; una baja DDT se presenta al occidente y al norte de la ciudad; no pudieron hacerse afirmaciones sobre la parte sur de la ciudad por falta de información.

3.5 Tipo de equipo afectado

La totalidad de equipos afectados se agrupó en cuatro clases: equipos de comunicaciones, de cómputo, electrónicos y eléctricos. Después se determinó la participación de cada uno de ellos en el total de equipos afectados (véase figura 7).

Figura 7. Caracterización de los equipos afectados por rayo



En la figura 7 se observa que la mayor proporción de equipos afectados son los de cómputo (55%); este resultado significa que en las zonas con riesgo

de pérdida muy alto y alto es conveniente proteger esta clase de equipos de las sobretensiones causadas por rayos.

4. Conclusiones

- Existe una alta correlación entre la actividad ceráunea y la siniestralidad de equipos eléctricos y electrónicos a causa de impactos directos e indirectos de rayos. La misma correlación podrá ser aplicada en regiones en las cuales no se cuenta con un mapa de DDT, para determinar las zonas más vulnerables.
- De acuerdo con las correlaciones efectuadas entre costo de pérdidas, número de pérdidas y nivel ceráuneo y observar el mapa de riesgo de pérdidas, puede afirmarse que aunque toda la ciudad tiene el mismo nivel ceráuneo, la DDT no es igualmente uniforme; la mayor se presenta en la zona oriental de la ciudad, cerca de los cerros, la menor al occidente y norte de la ciudad. Por tanto, no es correcto predecir la DDT de un lugar específico a partir del nivel ceráuneo general, como se plantea en las diferentes ecuaciones que se emplean a nivel nacional e internacional (Anderson, Ericsson, 1980, p. 65-102; CIGRE, 1991).
- La ausencia de un mapa local de DDT o uno de nivel de riesgo, hace imposible que las aseguradoras discriminen los costos de las pólizas de aseguramiento contra rayos de acuerdo con la zona de la ciudad. Esto podría solucionarse utilizando la metodología planteada en este estudio, esto es, creando un mapa de riesgo.
- En los meses con mayor actividad de tormentas se presenta también la mayor cantidad y costos por pérdidas reconocidas por las aseguradoras.
- La mayor cantidad de equipos afectados por rayos pertenece al grupo de cómputo; el resultado señala su alta vulnerabilidad, que están incorrectamente protegidos o incluso no cuentan con ninguna protección.

- Aunque existe variación temporal del nivel ceráuneo, la correlación existente entre éste y la cantidad de siniestros atribuida a rayos se mantiene, lo cual permite estimar las zonas con mayor o menor riesgo de la ciudad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de las empresas aseguradoras que facilitaron la información para la realización del presente estudio: Agrícola de Seguros, ABN Amro Seguros, Central de Seguros, Colseguros, Chubb de Colombia, La Previsora S.A., Solidaria de Colombia, Suramericana, Seguros Bolívar, Mapfre Seguros y Liberty Seguros.

Referencias bibliográficas

- | | |
|--|---|
| [1] ANDERSON, R. B., ERIKSSON, A. J. <i>Lightning parameters for engineering application</i> . Electra 69. | [4] RAMÍREZ, E. y CASASBUENAS, P. (2003) <i>Estadística de daño de equipos eléctricos y electrónicos a causa de rayos en Bogotá</i> . Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C. |
| [2] CIGRE (1991) Document 63. <i>Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines</i> . | [5] TORRES, H. (2002) <i>El rayo, mitos, leyendas, ciencia y tecnología</i> , Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. |
| [3] OLAYA, J. C., SANTANA, W. y GARCÍA, J. (1996) <i>Red colombiana de localizadores y medición de descargas eléctricas atmosféricas - RECMA</i> , Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. | [6] WILLIAMS, E. et al (1996). <i>Latitude dependence of ground flash density in the tropics and subtropics</i> , AMER.Geo. Meeting, San Francisco. |