



POSICIONAMIENTO DE DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS EN GOOGLE EARTH USANDO TIEMPO DE ARRIBO

FREDDY NAREA y NELSON FALCON

Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología. Laboratorio de Física de la Atmosfera y el Espacio Ultraterrestre. Dpto. de Física. Venezuela.

fjnarea@uc.edu.ve, nelsonfalconv@gmail.com

Resumen

Las descargas eléctricas atmosféricas y son fenómenos meteorológicos transitorios en la troposfera, cuya ocurrencia no siempre vinculada a la pluviosidad, pueden afectar las canalizaciones eléctricas y las actividades humanas. Su cuantificación promedio por unidad de area y de tiempo, es el nivel ceráunico local. La ocurrencia de Electrometeoros (relámpagos y rayos), en un lugar específico de la superficie de la Tierra, es un fenómeno estocástico o probabilístico. Se implementa un método de localización de las descargas eléctricas atmosféricas, a partir de los datos suministrados por un sistema de monitorio y registro de teledetección de descargas eléctricas atmosféricas. Empleando el tiempo de arribo (TOA, Time Of Arrive) y en las curvas hiperbólicas de detección. Dada las diferencias de los tiempos de registros de los eventos y la ubicación exacta de las antenas de localización, se implemento un algoritmo en el lenguaje de programación Matlab que permite analizar la información y enlazarse con el software Google Earth para visualizar la localización de las descargas en esta plataforma. Resultados preliminares muestran la eficacia del método para la teledetección de descargas atmosféricas y la valoración del nivel ceráunico local.

Palabras claves: Electrometeoros, Tiempo de Arribo, Nivel Ceráunico.

POSITIONING ATMOSPHERIC ELECTRICAL DISCHARGES IN GOOGLE EARTH USING TIME OF ARRIVAL

Abstract

Atmospheric electrical discharges are transient meteorological phenomena in the troposphere, whose occurrence is not always linked to rainfall, but can affect electrical conduits and human activities. Its average quantification per unit area and time is the local keraunic level. The occurrence of Electro meteors (lightning and lightning strikes), in a specific place on the Earth's surface, is a stochastic or probabilistic phenomenon. A method of locating atmospheric electrical discharges is implemented, based on the data provided by a monitoring and recording system of remote sensing of atmospheric electrical discharges. Using the time of arrival (TOA, Time Of Arrive) and in the hyperbolic curves of detection. Given the differences in the recording times of the events and the exact location of the location antennas, an algorithm was implemented in the Matlab programming language that allows analyzing the information and linking with Google Earth software to visualize the location of the downloads. on this platform. Preliminary results show the effectiveness of the method for the remote sensing of atmospheric discharges and the assessment of the local keraunic level.

Keywords: Electrometeors, Arrival Time, keraunic Level.

1. Introducción

Los Electrometeoros; al igual que otro fenómeno meteorológico; poseen un carácter estocásticos o probabilístico de ocurrencia para un lugar específico de la superficie de la Tierra, y para cada lapso de tiempo considerado. Esta suerte de aleatoriedad de los fenómenos meteorológicos, y climáticos por extensión, es debida al carácter multifactorial de ellos y al dinamismo de la atmósfera terrestre (Falcon 2009). Así las ciencias de la atmósfera emplean el registro continuo, en cada región, de la ocurrencia de los meteoros para preverlos y estimar sus magnitudes medias. En el caso de hidrometeoros se evalúan mediante pluviómetros que estiman la tasa media de precipitación anual de cada región. Análogamente se puede estimar el número de descargas eléctricas atmosféricas (electrometeoros) anuales, diarias o mensuales de una región particular; este valor medio se denomina Nivel Cerámico local. Venezuela, país tropical ubicado en la parte norte de Sur América, es una de las naciones con mayor actividad cerámica en el mundo (Albrecht et al, 2009, Rojas et al 2012).

Los pulsos electromagnéticos de los electrometeoros pueden afectar directamente las canalizaciones eléctricas que suministran energía a diversos sectores del país. A la vez esta genera una sobre carga del sistema de transmisión, interrumpiendo el servicio y afectando las actividades humanas (Mejias y Falcon 2012).

Todos las descargas eléctricas atmosféricas emiten energía de radio frecuencia cuyo rango varía desde muy baja (VLF) hasta muy alta (VHF). Las emisiones principales a VHF provienen del proceso de ruptura e ionización, mientras que la VLF y LF provienen de altas

corrientes viajando en los canales previamente ionizados (Uman 1984). La descargas nube-tierra se detectan normalmente con sistemas detectores en el rango de bandas VLF-LF, pues mientras la señales VHF se propagan unos cuantos cientos de kilómetros, sufriendo deformación en la onda y atenuación en la señal, las señales VLF y LF se pueden propagar a lo largo del espacio entre la Ionosfera y la Tierra por miles de kilómetros. Además, con antenas bien situadas se puede proporcionar localizaciones precisas a larga distancia y con mínimos errores sistemáticos.

La forma característica de la señal y los componentes asociados a los procesos de descarga de los electrometeoros constituye su firma electrónica, y es diferente para cada banda lo que permite su identificación. Los rayos de retorno irradian principalmente en muy baja frecuencia debido a la cantidad alta de corriente que transportan por distancias relativamente largas de varios kilómetros (Rakov y Uman 2003). Como las frecuencias en la banda VLF se encuentran entre 3-30 kHz con longitudes de onda entre 0-100 km , una antena adecuada para este rango es la antena de doble lazo con tamaño menor que 1/10000 veces la longitud de onda en su circunferencia.

El laboratorio de Física de la Atmósfera y espacio ultraterrestre de FACYT UC, cuenta con un sistema de antenas de detección doble- lazo cuadradas, cruzadas ortogonalmente, colocada de forma diagonal de 8 espiras de alambre de cobre, conectada a un circuito amplificador con operacional NE5534 como el que se ve en la figura 1, siguiendo las especificaciones de diseño de recomendado por Blitzortung.org (Wanke, 2011). Las medidas se tomaron directamente del circuito en un osciloscopio y también en un computador a través de la tarjeta de sonido y por medio del software de edición de audio

Adobe Audition® con el cual se puede almacenar el espectro (Figura 1).

Para determinar el nivel cerámico local es necesario contar con la localización de la descarga eléctrica atmosférica, por esta razón este trabajo tiene como objetivo principal, implementar un método que permita el posicionamiento de las descargas a través de la técnica de Time Of Arrive (TOA, tiempo de arribo) basado en los cálculos de curvas hiperbólicas aprovechando el sistema de posicionamiento global Google Earth, de acceso abierto. Esto permitirá visualizar mediante este software la ubicación exacta de las descargas sobre imágenes satelitales de alta definición. De esta forma es posible encontrar la densidad de descargas por metros cuadrados y por unidad de tiempo, una vez que las mismas han sido detectadas por los sistemas de antenas VLF.

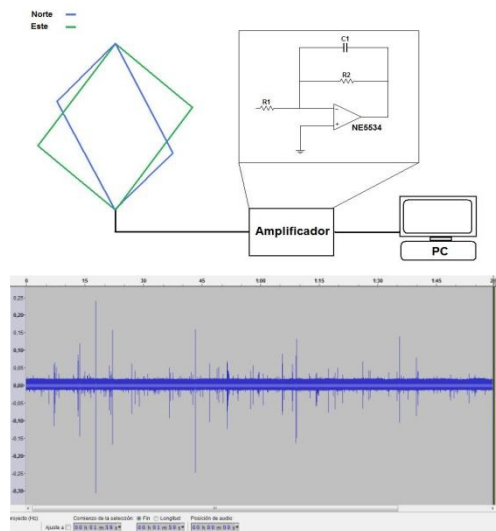


Fig. 1. Sistema VHF de detección de descargas eléctricas atmosféricas utilizado y señal típica de registro

2. Metodología

Para la localización de las descargas eléctricas atmosféricas, se empleará la técnica de Time Of Arrive (TOA) basado en

los cálculos de curvas hiperbólicas (Thomas y cols., 2004; Spirito y Mattioli, 1998). Cada señal recibida genera un tiempo de referencia, esto es que cada estación registra un tiempo de detección de las señales emitidas. Dado estos tiempos se genera una diferencia temporal de la señal recibida por ambas estaciones, cuyas posiciones se conocen con exactitud (ver Figura 1). A partir del tiempo y del orden de llegada de las señales, es posible determinar la posición considerando que la misma pertenece a un punto de determinada hipérbola, cuyos focos son las estaciones y tomando en cuenta que las señales se propagan en el aire, en las frecuencias de interés, aproximadamente a la velocidad de la luz en el vacío ($300\text{m}/\mu\text{s}$).

Si se agrega una tercera estación, junto a una, cualquiera de las dos primeras estaciones, se puede restringir la posición de la señal en una segunda hipérbola. El punto de intersección de las dos medias hipérbolas dan la ubicación de la descarga eléctrica atmosférica. Si d es la distancia entre la fuente (descarga) y la estación receptora; entonces la diferencia entre las localizaciones de dos estaciones y la fuente $|d(A) - d(B)|$ resulta directamente proporcional a la diferencia de los instantes de arribo $|t(A) - t(B)|$, donde la constante de proporcionalidad es la velocidad del pulso electromagnético en el aire.

Para lograr la localización de las descargas eléctricas atmosféricas a partir de las curvas hiperbólicas, es necesario iniciar definiendo la hipérbola como el lugar geométrico de los puntos P tales que la diferencia entre las distancias no dirigidas desde dos puntos fijos (F y F') a P sea una constante:

$$|F'P - FP| = K \quad (1)$$

donde F' y F son los focos y k es la constante de la hipérbola (Figura 1).

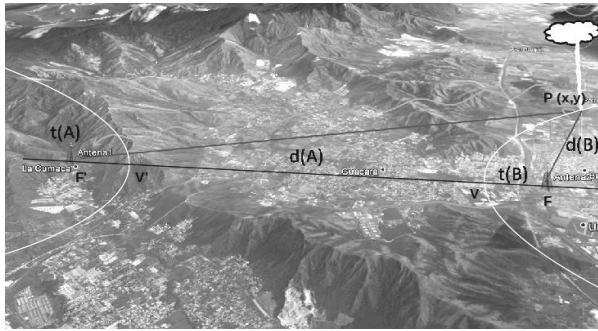


Fig. 1. Ubicación de antenas y localización de las descargas

Al producirse una descarga en un punto que posee coordenadas (x, y) desconocidas, la estación i que posee coordenadas (x_i, y_i) recibe la señal $s(t)$ que se estimará a partir del registro del tiempo de arribo, sincronizado con un reloj dentro del circuito de detección. De esta manera para un número n de estaciones con sus respectivas coordenadas conocidas, se tiene entonces que:

$$\Delta d_{ij} = c|t_i - t_j| \equiv d_i - d_j \quad (2)$$

donde Δd_{ij} es la diferencias entre distancias de cada estación al punto de localización de la descarga, donde los subíndices de enumeración verifican la condición $1 \leq i < j \leq n$ enumeración de todo par de estaciones Λ .

$$\Lambda = \binom{n}{2} \quad (3)$$

Para facilitar la descripción, conviene asumir la ubicación de las estaciones a lo largo de un eje horizontal centrado en el origen de tal manera que las posiciones de las estaciones a lo largo del eje x sean $(D/2)$ y $(-D/2)$ y respectivamente, siendo D la distancia entre las estaciones (distancia entre los focos de la hipérbola). Así la distancia de cada estación al punto de localización de la descarga estará dado por:

$$d = \sqrt{y^2 + \left(x \pm \frac{D}{2}\right)^2} \quad (4)$$

Sustituyendo esta expresión (4) en (2), se obtiene:

$$\frac{x^2}{\Delta d^2/4} + \frac{y^2}{D^2/4 - \Delta d^2/4} = 1 \quad (5)$$

Donde $\Delta d/2$ es el semi eje mayor y $\frac{\sqrt{D^2 - \Delta d^2}}{2}$ el semi eje menor de la hipérbola.

Para un caso más general, donde el centro de la hipérbola esta desplazado y los ejes se encuentre rotados un ángulo θ respecto al eje cartesiano (Figura 2), es necesario realizar un cambio de coordenadas, mediante la matriz de rotación r_{ij} :

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \end{bmatrix} \quad (6)$$

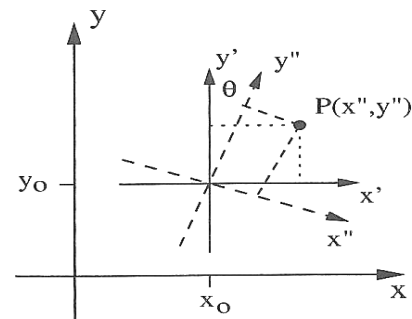


Fig. 2. Transformación de coordenadas

3. Resultados y análisis

Teniendo en cuenta las consideraciones teóricas de la hipérbola y los datos de la ocurrencia de las descargas registradas por el circuito receptor, se implementa bajo ambiente Matlab® un código computacional que permita procesar la información. Inicialmente se posicionan las antenas y se registran las coordenadas GPS de cada una, esto permite generar una representación en un plano, donde las antenas representarían los focos de las hipérbolas que generan para lograr la localización de la descarga dado el tiempo

de arribo (Fig. 4).

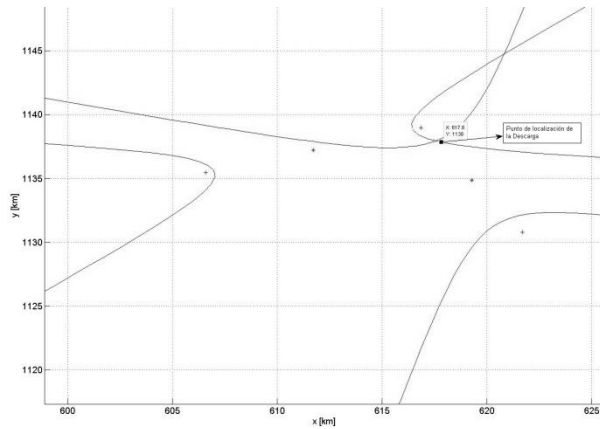


Fig. 3. Representación de las antenas y localización de descargas en Matlab ®

En la Figura 3 se puede observar que con tres ubicaciones de antenas y el tiempo registrado en cada una; se logra localizar debido a la intersección de las hipérbolas una posible descarga. Los ejes del gráfico están dados en *km* ya que representan las posiciones en coordenadas en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM por sus siglas en inglés). Como este sistema se basa en una proyección cartográfica y la región en estudio está dentro de un solo Huso (19P para la Región Central de Venezuela), fue necesario realizar una transformación de coordenadas GPS a UTM.

La información de las coordenadas de las antenas y descargas localizadas por el sistema, son representadas en un mapa de la región. Esta representación es posible implementando un algoritmo basado en Google Earth Toolbox para el lenguaje de programación Matlab; permitiendo así, un enlace con el software Google Earth (es un programa informático similar a un sistema de información geográfica (SIG), creado por la empresa Keyhole Inc., que permite visualizar imágenes del planeta, combinando fotografías de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google que

permite ver imágenes a escala de un lugar). Este enlace permite representar los datos en un mapa actualizado de la región, como se muestra en la Figura 4.



Fig. 4. Localización de antenas y descargas en Google Earth ®

En la Figura 4 se observa que las torres representan las antenas ubicadas en distintas localidades de la región y los bastones la ubicación de las descargas localizadas. Comparando las Figuras 3 y 4, se aprecia que los tres puntos referentes a los focos de las hipérbolas corresponden a la ubicación de las antenas 1, 2 y 3 en el mapa. Y el punto de intersección de las hipérbolas representa la localización de la descarga en la Figura 4.

4. Conclusiones

El procedimiento de emplear el tiempo de arribo mediante hipérbolas descentradas en la recepción en señales de antenas permiten unívocamente determinar la posición de la fuente (Descargas eléctricas nube-tierra). El mapeo en Google Earth facilita el monitoreo de los electrometeoros, permitiendo en calificar las áreas de mayor nivel cerámico y el control preventivo de protecciones contra descargas eléctricas atmosféricas en las canalizaciones eléctricas urbanas.

5. Agradecimientos

Se agradece el financiamiento a través del
FONACIT bajo el N° 2024-0000038.

6. Referencias

Albrecht, R. et al (2009). *Tropical frequency and distribution of lightning based on 10 years of observations from space by the Lightning Image Sensor (LIS)* En Fourth Conference on the Meteorological Applications of Lightning Phoenix AZ.

Falcon, N. (2009). *Electrometeoros y aerosoles piroelectricos en tormentas tropicales*. Revista Ingenieria UC , 16 , 27_33.

MacGorman, D., y Rust, W. (1998). *The Electrical Nature of Storms*. Oxford Univ. Press, N.Y..

Mejías, C y Falcon, N . (2012) Modelado de sobretensiones inducidas en la línea 1 de Planta Centro - Arenosa por descargas eléctricas atmosféricas no directas. Revista Ingenieria UC, 19, 3.

Rakov, V.A. and Uman, M.A. (2003) *Lightning: Physics and Effects*. Cambridge University, Cambridge,

Rojas, S.; Guerra, O.; Jiménez, J.; Falcón, N. Local variation of the superficial atmospheric electricity activity in a tropical región. *Journal of Atmospheric Electricity*, Vol.35, No.1, pp.1-7. 2015.

Spirito, M., y Mattioli, A. (1998). *On the hyperbolic positioning of GSM mobile stations*. En *Signals, Systems, and Electronics*, 1998. ISSSE 98. 1998 URSI International Symposium on (pp. 173_177).

Thomas, J et al (2004). *Accuracy of the Lightning Mapping Array*. *Journal of Geophysical Research*, 109 (D14207).

Uman, M. (1984). *Lightning*. N.Y: McGraw Hill.

Wanke, E. (2011) *Blitzortung.org - A low cost Time of Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network*, Düsseldorf, Germany