

## **ANALISIS COMPARATIVO DE TRES METODOS DE LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LAS FUENTES DE ATMOSFERICOS**

FALCOZ, H. y HOFMANN, C.A.

Departamento de Electricidad Atmosférica  
Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel  
Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos

La localización geográfica de las descargas eléctricas en la atmósfera puede ser realizada mediante dos métodos básicos conocidos. Estos son, la triangulación radio-goniométrica y el método hiperbólico.

Una tercera posibilidad consiste en implementar un método híbrido en el cual se utilizan simultáneamente los dos anteriores.

El objeto de este trabajo consiste en analizar sucesivamente las posibilidades de cada uno de estos métodos, tanto desde el punto de vista de las precisiones alcanzables en la localización del punto de emisión, como de los medios e infraestructura necesarios para su puesta en funcionamiento.

En base al análisis anterior, se extraen conclusiones a fin de seleccionar en cada caso la configuración óptima del sistema de localización.

Geographic localization of the electric discharges in the atmosphere can be obtained using one of the two basic methods known. These are: radio-gonometric triangulation method or hyperbolic method.

A third possibility could be the application of a hybrid method, applying the two above mentioned methods simultaneously.

The object of this work consists in the successive analysis of the possibilities of these three methods from the point of view of exactness obtained in the localization of the emission, point as well as from the necessary means and organical structure to set each of them going.

From the above mentioned analysis determinations can be taken so as to select in each case the most convenient localization system.

## INTRODUCCION

La localización geográfica de las áreas tormentosas por radio observación requiere diferentes técnicas según el propósito de la investigación. La práctica más usual es seguir la evolución tormentosa como una ayuda al pronóstico del tiempo. En estos casos sólo unas pocas descargas necesitan ser localizadas, asegurando que ellas cubren todos los centros significantes de actividad tormentosa.

En otras investigaciones de carácter meteorológico, por el contrario, puede ser de interés conocer el número de pulsos por unidad de tiempo generados en cada celda como así mismo la evolución electromagnética de las mismas. En estos casos, es necesario disponer de un equipamiento experimental, capaz de ubicar cada pulso generado, el cual debe operar naturalmente en forma automática.

Los métodos básicos conocidos para la localización geográfica de las descargas eléctricas son el de triangulación radiogoniométrica y el hiperbólico. El primero contando con dos estaciones de observación y el segundo con tres.

Un tercer método posible es presentado en este trabajo, en el cual se combinan los dos anteriores.

El hecho de observar la totalidad de los pulsos, los cuales pueden sucederse con intervalos del orden del mseg, hace necesario la medición en tiempo real. Esto trae como consecuencia que las estaciones observacionales estén en comunicación permanente con aquella que actúa como centralizadora.

Los requerimientos en cuanto al equipamiento diferirán en cada caso, según sea el parámetro a medir y según la información que sea necesario transmitir.

## EL PRINCIPIO DE LOS METODOS

## Triangulación Radiogoniométrica

Este método se basa en la medición del ángulo de arribo de la señal electromagnética a dos estaciones. Una de ellas actúa como satélite y transmite la información angular a la estación centralizadora. Naturalmente, las mediciones angulares estarán afectadas a un determinado error (p. ej.  $\pm 1^\circ$  en los Analizadores de Atmosféricos en muy baja frecuencia, VLFAA, construídos por el Heinrich-Hertz-Institut de Berlín). De este modo, con la información angular proveniente de cada pulso queda definida un área geográfica. Así, todo el espacio circundante a las estaciones está subdividido en un número  $N$  de áreas, cuyas superficies serán función de la distancia a la estación centralizadora, del ángulo azimutal y del error en las mediciones angulares.

Llamaremos  $A_{\phi_i \phi_j}$  al área definida por los ángulos centrales  $\phi_i$  y  $\phi_j$ .

Para poder registrar los datos adecuadamente, es necesario formar en la memoria del sistema de adquisición de datos una matriz, donde cada elemento  $A_{\phi_i \phi_j}$  de dicha matriz corresponda a un elemento de área  $A_{\phi_i \phi_j}$ . De este modo debemos anotar una unidad en el elemento de memoria, cada vez que en el área  $A_{\phi_i \phi_j}$  se produce una descarga.

Se obtiene así una distribución geográfica de la cantidad de descargas producidas durante el intervalo de medición.

#### Método Hiperbólico

Este método fue desarrollado por Lewis, Harvey y Rasmussen, en 1960, para la localización del lugar geográfico de origen de cada atmosférico. Nosotros damos aquí sólo el principio del método dado que en la forma original no sería apto para los fines de nuestro departamento.

Se basa en la medición muy exacta del tiempo de arribo del pulso electromagnético a tres estaciones.

Si un pulso arriba a las estaciones  $E_1$  y  $E_2$  en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  posteriores a su generación, el desfase temporal

$$t_1 - t_2 = \tau_2 \quad (1)$$

es proporcional a la diferencia en las longitudes de los caminos de propagación, o sea

$$\rho_1 - \rho_2 = c \tau_2 \quad (2)$$

donde con  $\rho_i$  indicamos la distancia del punto de emisión a la estación  $E_i$  y con  $c$  la velocidad de la luz.

La ecuación (2) es precisamente la ecuación de una hipérbola con focos en las estaciones para  $\tau_2$  fijado. Esto significa que los pulsos que alcanzan ambas estaciones con igual desfase temporal  $\tau_2$ , fueron generados en algún punto de la hipérbola (2).

Para poder determinar desde cual de los puntos de la hipérbola partió la onda es necesario (aunque no suficiente) medir otro desfase temporal. Esto es, se miden los tiempos de arribo a las estaciones  $E_1$  y  $E_3$ , y por consiguiente se dispone del desfase temporal

$$t_1 - t_3 = \tau_3 \quad (3)$$

el cual también será proporcional a la diferencia de longitudes de los caminos de propagación

$$\rho_1 - \rho_3 = c \tau_3 \quad (4)$$

Nuevamente estamos en presencia de la ecuación de una hipérbola con focos en las estaciones  $E_1$  y  $E_3$  para  $\tau_3$  fijo.

La intersección de las hipérbolas (2) y (4) definen unívocamente el punto de generación de la onda electromagnética.

En forma análoga a lo que ocurre en el método radiogoniométrico, los desfases temporales  $\tau_2$  y  $\tau_3$  serán medidas con determinados errores  $\Delta\tau_2$  y  $\Delta\tau_3$ . De este modo con la información temporal queda definida un área geográfica. Todo el espacio circundante a las estaciones queda, igualmente, subdividida en un número  $N$  de áreas cuyas superficies serán función de la distancia entre estaciones, del error en las mediciones de los desfases y de la distancia fuente a estación  $E_1$ .

La forma de registrar los datos es enteramente análoga a la del método

do radiogoniométrico.

#### Método Radiogoniométrico-Hiperbólico

El método que es presentado en este trabajo conjuga los dos anteriores. Solo dos estaciones son necesarias para la ubicación geográfica de las descargas eléctricas en la atmósfera.

Ambas estaciones ( $E_1$  y  $E_2$ ) miden el tiempo de arribo de la señal y se determina el desfase temporal

$$t_1 - t_2 = \tau \quad (5)$$

y con él queda definida la hipérbola

$$\rho_1 - \rho_2 = c \tau \quad (6)$$

La determinación del punto de la hipérbola desde el cual partió la onda electromagnética se efectúa midiendo el ángulo de arribo de la señal a la estación  $E_1$ .

Nuevamente aquí se presenta el caso en que tanto el desfase temporal como el valor angular son determinados con cierto error. Sean estos  $\Delta\tau$  y  $\Delta\phi$ . Queda así definida un área geográfica que, en este caso, pertenece a un cuadrilátero limitado por los radios y las hipérbolas correspondientes respectivamente a los valores angulares  $\phi \pm \Delta\phi$  y a los desfases temporales  $\tau \pm \Delta\tau$ .

#### EL CALCULO DE ERROR

Realizaremos el cálculo de error en la determinación de la distancia para cada uno de los tres métodos presentados aquí. Cada caso difiere de los demás en el par de variables que son considerados como independientes. Así, en el radiogoniométrico, dos ángulos  $\phi_1$  y  $\phi_2$  son las variables independientes. En el hiperbólico lo son dos diferencias de tiempo  $\tau_1$  y  $\tau_2$ . Por último, en el método híbrido radiogoniométrico-hiperbólico, las variables independientes son un ángulo  $\phi$  y una diferencia de tiempos  $\tau$ . En los tres casos tendremos que el valor del error  $\Delta\rho$  en cada punto será el de una función bidimensional, o lo que es equivalente, se llega a la obtención de una distribución espacial del error. Esto permite, entonces, ubicar las estaciones en la posición geográfica más conveniente una vez fijada la región de observación.

La expresión matemática del error, si llamamos  $x$  e  $y$  a las variables independientes, será para los tres casos:

$$\Delta\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial y} \Delta y\right)^2} \quad (7)$$

#### Método Radiogoniométrico

Para la realización de los cálculos se ha empleado el esquema de la

Figura 1. Desde el punto A es emitido un pulso electromagnético que se registra en las estaciones E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> midiéndose los ángulos φ<sub>1</sub> y φ<sub>2</sub>.

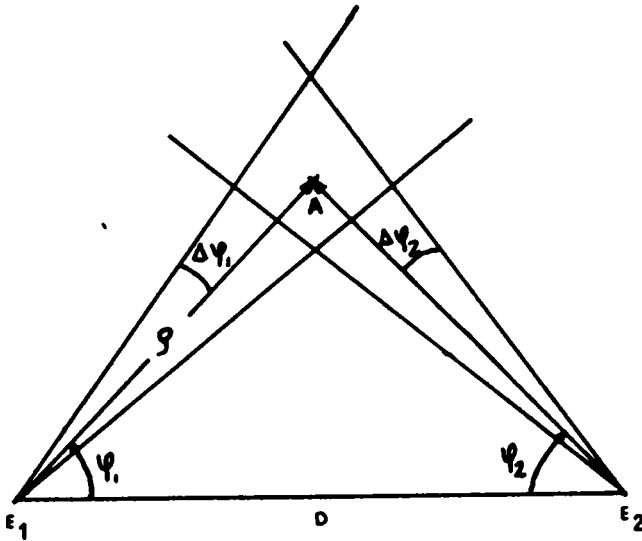


Figura 1: Disposición de las dos estaciones E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> en el método de triangulación radiogoniométrica. Un pulso emitido desde el punto A es asociado a un área limitada por los radios correspondientes a φ<sub>1</sub> ± Δφ<sub>1</sub> y φ<sub>2</sub> ± Δφ<sub>2</sub>. (sector de 2° x 2°). El valor D indica la distancia entre estaciones.

La ubicación del lugar geográfico de la fuente emisora puede ser establecido conociendo el valor de los ángulos φ<sub>1</sub> y φ<sub>2</sub> y la distancia D entre estaciones. Como la medición de dichos ángulos vendrá afectada por un cierto error Δφ<sub>i</sub> generalmente ≠ 0, la determinación de ρ también estará afectada por un error Δρ. El punto A queda definido como centro del área formada por la intersección de los radios correspondientes a φ<sub>1</sub> ± Δφ<sub>1</sub> y φ<sub>2</sub> ± Δφ<sub>2</sub>.

Tomando un sistema de coordenadas polares con centro en la estación E<sub>1</sub>, la distancia ρ puede ser definida como:

$$\rho = \frac{D \operatorname{sen} \phi_2}{\operatorname{sen} (\phi_1 + \phi_2)} \tag{8}$$

Calculando las derivadas parciales ∂ρ/∂φ<sub>1</sub> y ∂ρ/∂φ<sub>2</sub> a partir de esta ecuación y reemplazando en (7) queda, siendo Δφ<sub>1</sub> = Δφ<sub>2</sub> = Δφ :

$$\Delta \rho \approx \rho \Delta \phi \left( 2 \operatorname{cotg}^2 (\phi_1 + \phi_2) + \operatorname{cotg}^2 \phi_2 - 2 \operatorname{cotg} \phi_2 \operatorname{cotg} (\phi_1 + \phi_2) \right)^{1/2} \tag{9}$$

reemplazando el ángulo φ<sub>1</sub> en función de φ<sub>2</sub> y ρ obtenemos

$$\Delta\rho = \rho \Delta\phi \left\{ \cotg^2\phi_2 + 2 \cotg^2\phi_2 \frac{(\rho^2 - D^2 \operatorname{sen} \phi_2)^{1/2}}{D \operatorname{sen} \phi_2} + \frac{2\rho^2 - D^2 \operatorname{sen} \phi_2}{D^2 \operatorname{sen}^2 \phi_2} \right\}^{1/2} \quad (10)$$

A partir de esta expresión fueron calculados los  $\Delta\phi$  para cada par de valores  $\phi_2$  y  $\rho$  fijados. Los resultados están graficados en la Figura 2.

Aquí puede observarse una función de distribución asimétrica del error  $\Delta\rho$  con respecto a las estaciones, pero simétrica alrededor de un eje que contiene a  $E_1$  y  $E_2$ .

El error mínimo se comete en las cercanías de la estación  $E_2$ . El máximo se da a lo largo de eje de simetría. En el intervalo  $E_1 E_2$  el error crece rápidamente para ángulos cercanos a  $0^\circ$ .

Se observa también un crecimiento del error con la distancia.

En definitiva resulta que el error  $\Delta\rho$  depende de los siguientes factores:

- i) del valor angular de  $\phi_1$  y  $\phi_2$ .
- ii) de los errores angulares  $\Delta\phi_1$  y  $\Delta\phi_2$ .
- iii) de la distancia  $D$  entre estaciones.
- iv) de la distancia fuente-observador.

De estos parámetros, naturalmente, sólo son gobernables la distancia  $D$  y los errores  $\Delta\phi_1$  y  $\Delta\phi_2$ . Una vez fijados éstos, queda definitivamente acotado el nivel de error para cada lugar geográfico ubicado.

La observación en los lugares cercanos al eje que une las estaciones donde el error es máximo, puede ser mejorado sensiblemente con la instalación de una tercera estación.

#### Método Radiogoniométrico-Hiperbólico

En el presente caso hacemos uso del esquema de la Figura 3.

El punto A es nuevamente considerado como el centro emisor de un pulso electromagnético que se registra en las estaciones  $E_1$  y  $E_2$  en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  posteriores a su generación. Las distancias  $\rho_1$  y  $\rho_2$  cumplirán simultáneamente con el siguiente par de ecuaciones:

$$\rho_1 - \rho_2 = c \tau \quad (11)$$

$$\rho_2^2 = \rho_1^2 + D^2 - 2 \rho_1 D \operatorname{sen} \phi$$

con lo cual la distancia  $\rho_1$  vendrá expresada por:

$$\rho_1 = \frac{D^2 - (c \tau)^2}{2 (D \operatorname{sen} \phi - c \tau)} \quad (12)$$

Calculando las derivadas  $\partial\rho/\partial\tau$  y  $\partial\rho/\partial\phi$  a partir de esta ecuación y reemplazando en (7) queda:

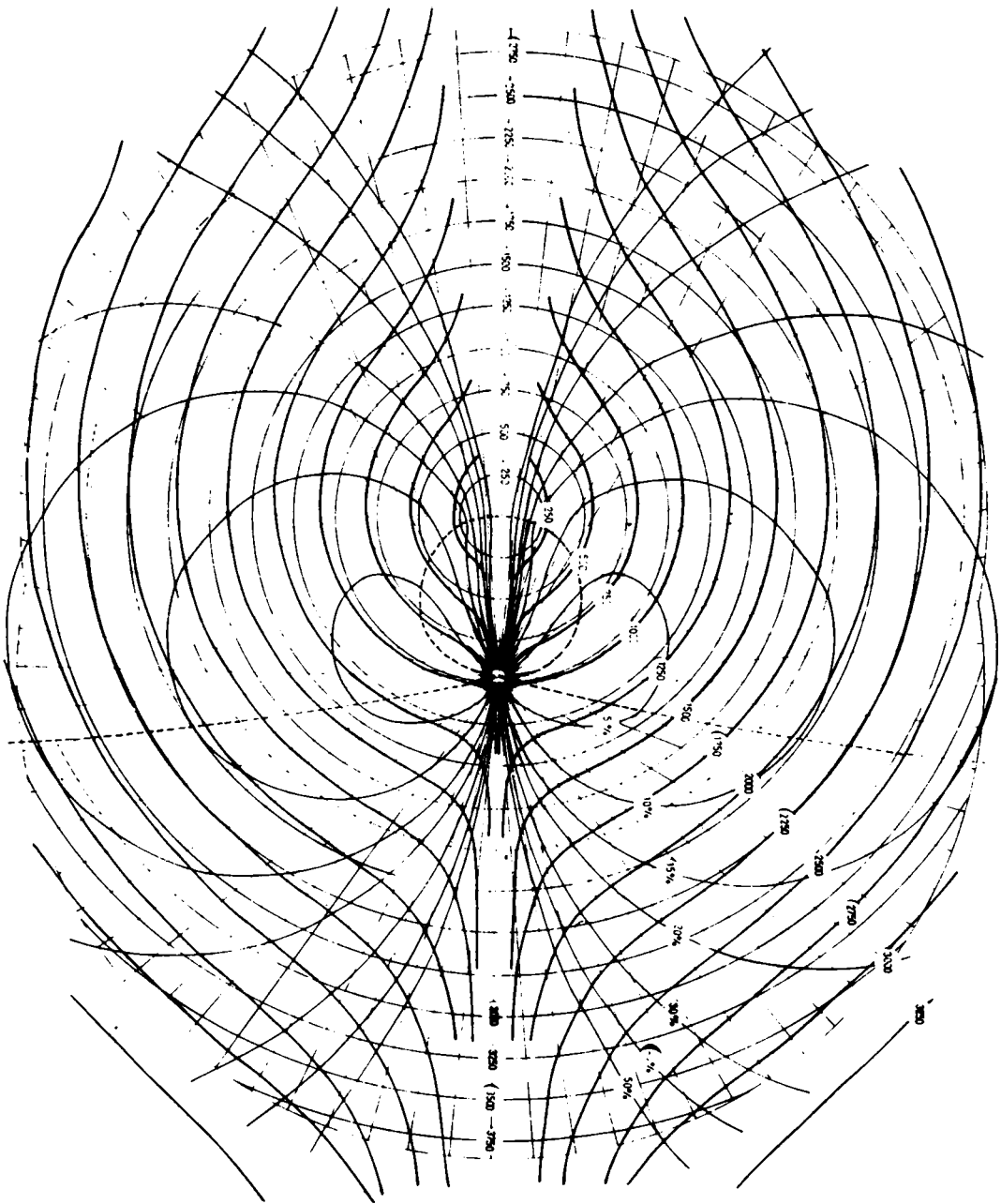


Figura 2: Distribución espacial del error por el método de triangulación radiogoniométrica.

Se considera la distancia  $\rho$  medida desde la estación  $E_1$  (centro de los círculos numerados desde el 250 al 3750) y  $\phi_2$  medido desde la estación  $E_2$  (vértice de los ángulos)

La distancia entre estaciones es de 960 unidades de longitud y  $\Delta\phi_2 = \pm 1^\circ$

Las diferencias de distancias, medidas desde la estación  $E_1$ , entre las curvas y círculos indicados con los mismos números dan el error absoluto en cada dirección en las unidades utilizadas.

Las líneas punteadas unen los puntos de mínimo error.

Se indican además las curvas de error porcentual constante entre 5% y 50%.

$$\Delta\rho = \left\{ \left[ \frac{c(\rho - c\tau)}{D \sin \phi - c\tau} \Delta\tau \right]^2 + \left[ \frac{\rho D \cos \phi}{D \sin \phi - c\tau} \Delta\phi \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (13)$$

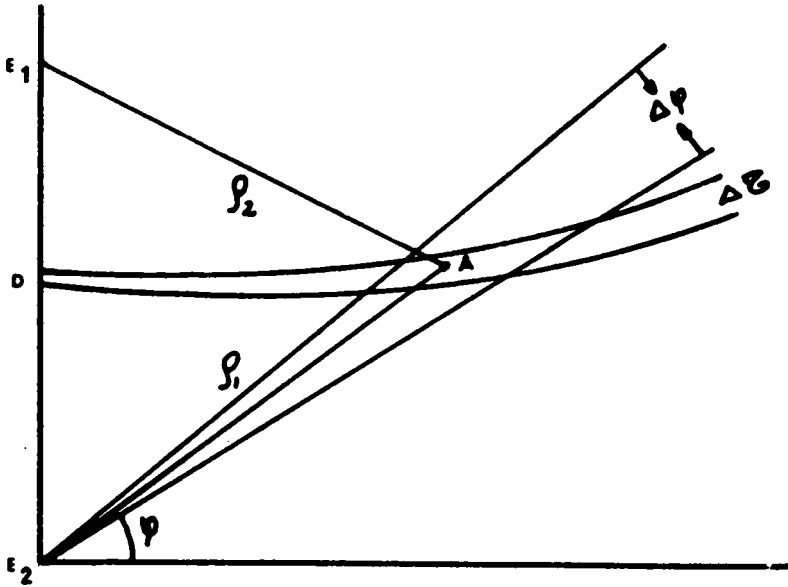


Figura 3: Disposición de las dos estaciones E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> en el método Radiogoniométrico-Hiperbólico. Un pulso emitido desde el punto A es asociado a un área limitada por los radios correspondientes a  $\phi \pm \Delta\phi$  y las hipérbolas correspondientes a  $\tau \pm \Delta\tau$ .

Los valores de los errores  $\Delta\phi$  y  $\Delta\tau$  se tomaron como:

$$\Delta\phi = \pm 1^\circ$$

$$\Delta\tau = 1 \mu \text{ seg}$$

Los resultados son mostrados en la Figura 4. Puede observarse que  $\Delta\rho$  es una función simétrica alrededor del eje que une las estaciones. En el gráfico pueden observarse las curvas para valores entre 9 y 0.2 Km del error absoluto. Se muestra además las curvas de error porcentual entre 0.5 y 10 por ciento.

Como la función  $\Delta\phi$  no es lineal en  $\Delta\tau$ , hemos graficado la curva de 9 Km en error absoluto y la del error porcentual de 10% para valores de

$$\Delta\tau = 1, 2, 5 \text{ y } 10 \mu \text{ seg}$$

Los resultados pueden verse en la Figura 5.

#### Método Hiperbólico

La presentación del problema geométrico lo damos en la Figura 6.

El punto A es considerado como centro emisor. El pulso alcanza las es



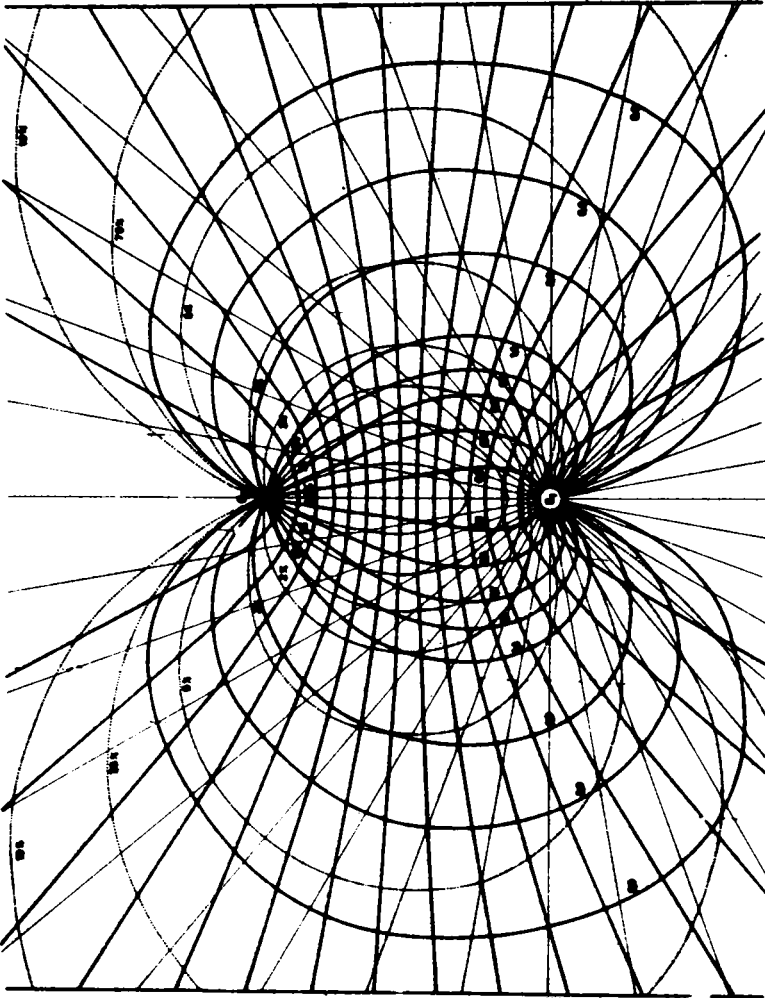


Figura 4: Distribución espacial del error por el método Radiogoniométrico-Hiperbólico. Se muestran 16 hipérbolas características del conjunto y algunos posibles ángulos de coincidencia (cada  $10^\circ$ ). Las líneas llenas son curvas de igual error absoluto cuyo valor en Km está indicado en la serie inferior de números.

Las líneas llenas son curvas de igual error absoluto cuyo valor en Km está indicado en la serie inferior de números.

Las líneas punteadas son curvas de igual error porcentual. Sus valores se indican en la serie superior de números.

La distancia entre estaciones es de 100 Km y los errores angulares y temporales son  $\Delta\phi = \pm 1^\circ$  y  $\Delta t = 1 \mu\text{seg}$  respectivamente.

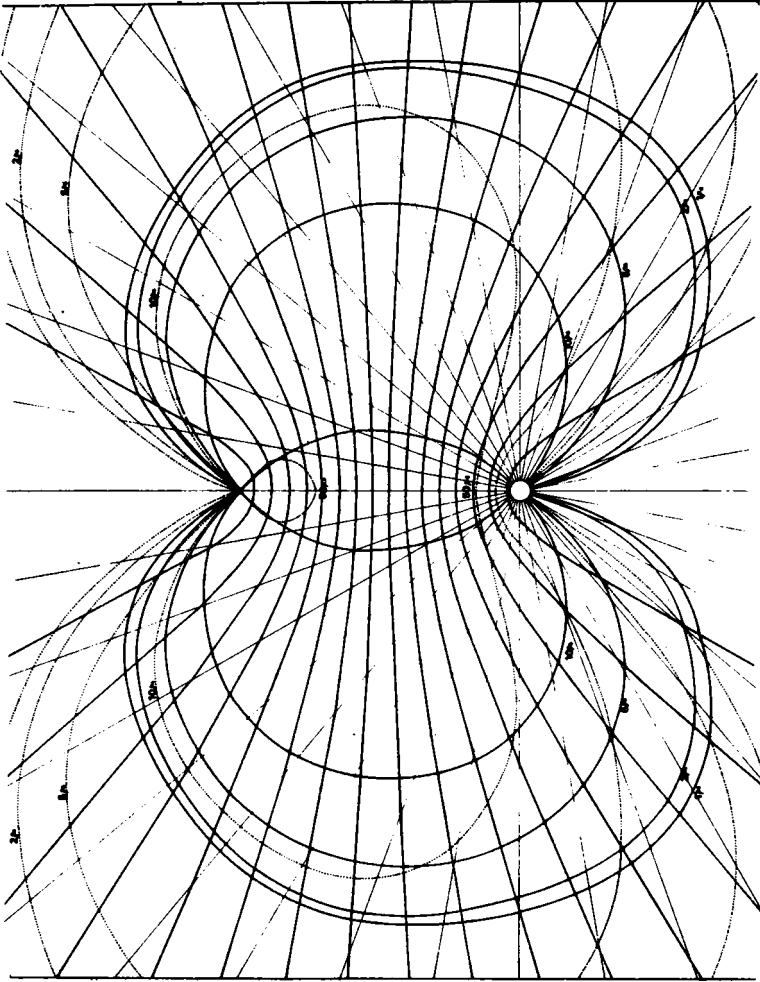


Figura 5: Curvas de error para precisión en  $\Delta\tau = 1, 2, 5$  y  $10$  seg. Las líneas llenas corresponden a curvas de error absoluto de  $9$  Km. Las líneas de puntos corresponden a error porcentual del  $10\%$ .

taciones  $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$  en los tiempos  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$  posteriores a su generación.

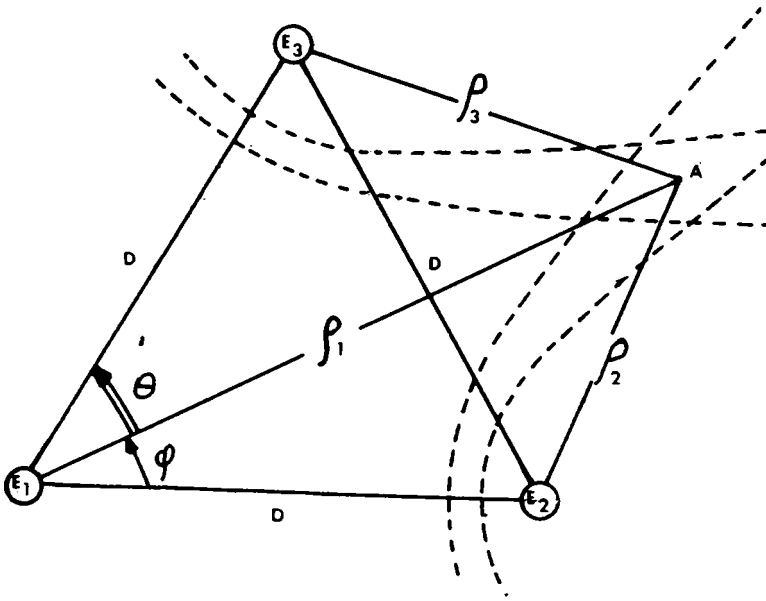


Figura 6: Disposición de las tres estaciones  $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$  en el método hiperbólico. Un pulso emitido desde el punto  $A$  es asociado a un área limitada por las hipérbolas correspondientes a  $\tau_2 \pm \Delta\tau_2$  y  $\tau_3 \pm \Delta\tau_3$ .  $D$  indica la distancia entre estaciones. Los ángulos  $\theta$  y  $\phi$  se miden siempre en el sentido indicado en la Figura, cualquiera sea la ubicación del punto  $A$  sobre el plano.

Las distancias  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ , y  $\rho_3$  satisfacen las ecuaciones:

$$\rho_1 - \rho_2 = c \tau_2 \tag{14}$$

$$\rho_1 - \rho_3 = c \tau_3$$

por un lado y por el otro:

$$\rho_2^2 = \rho_1^2 + D^2 - 2 \rho_1 D \cos \phi \tag{15}$$

$$\rho_3^2 = \rho_1^2 + D^2 - 2 \rho_1 D \cos \theta$$

donde los ángulos  $\theta$  y  $\phi$  cumplen con:

$$\theta + \phi = \pi/3$$

de este modo la distancia  $\rho$  entre la fuente y la estación  $E_1$  vendrá dada por una ecuación de segundo grado

$$A \rho_1^2 + B \rho_1 + H = 0 \quad (16)$$

donde:

$$A = 4 \cdot c^2 (\tau_2 - \tau_3)^2 - 3 (D^2 - (c \tau_3)^2)$$

$$B = 3 \cdot c \tau_3 (D^2 - (c \tau_3)^2) - 4 \cdot c^3 (\tau_2^2 - \tau_3^2) (\tau_2 - \tau_3) \quad (17)$$

$$H = c^4 (\tau_2^2 - \tau_3^2)^2 + 3/4 (D^2 - (c \tau_3)^2)^2$$

entonces, el valor de  $\rho_1$  vendrá dado por:

$$\rho_1 = \frac{-B \pm \sqrt{\Delta}}{2A} \quad (18)$$

donde:

$$\Delta = B^2 - 4 \cdot A \cdot H \quad (19)$$

Dado que las variables independientes son  $\tau_2$  y  $\tau_3$ , las derivadas parciales de  $\rho_1$  respecto a ellas serán:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial \tau_i} = \frac{\partial \rho_1}{\partial B} \frac{\partial B}{\partial \tau_i} + \frac{\partial \rho_1}{\partial \Delta} \frac{\partial \Delta}{\partial \tau_i} + \frac{\partial \rho_1}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial \tau_i} \quad (i = 2,3) \quad (20)$$

Como cada par de valores de  $\tau_2$  y  $\tau_3$  definen un par de hipérbolas es posible que estas no tengan puntos en común o que se intersecten en uno o dos puntos. El primer caso corresponde a  $\Delta$  nulo. En los demás casos obtendremos uno o dos valores de la distancia  $\rho_1$ .

Reemplazando las derivadas (20) en la ecuación (7) tenemos la distribución espacial  $\Delta\rho$  del error.

Los resultados pueden verse en la Figura 7. Las estaciones están ubicadas en los vértices de un triángulo equilátero de 100 Km de lado.

La función error es simétrica respecto de un eje perpendicular al lado  $E_2 E_3$  y que pasa por  $E_1$ . Es precisamente en esta dirección según la cual se obtienen los mínimos errores.

En la Figura 7 están graficadas las curvas de error absoluto entre 0,15 y 3,4 Km y 32 hipérbolas características. Nuevamente el valor de  $\Delta\tau$  fue tomado como 1  $\mu\text{seg}$ .

#### REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACION DE CADA SISTEMA

Antes de describir los requerimientos para cada uno de los sistemas, mencionaremos brevemente los generales para un sistema de localización geo

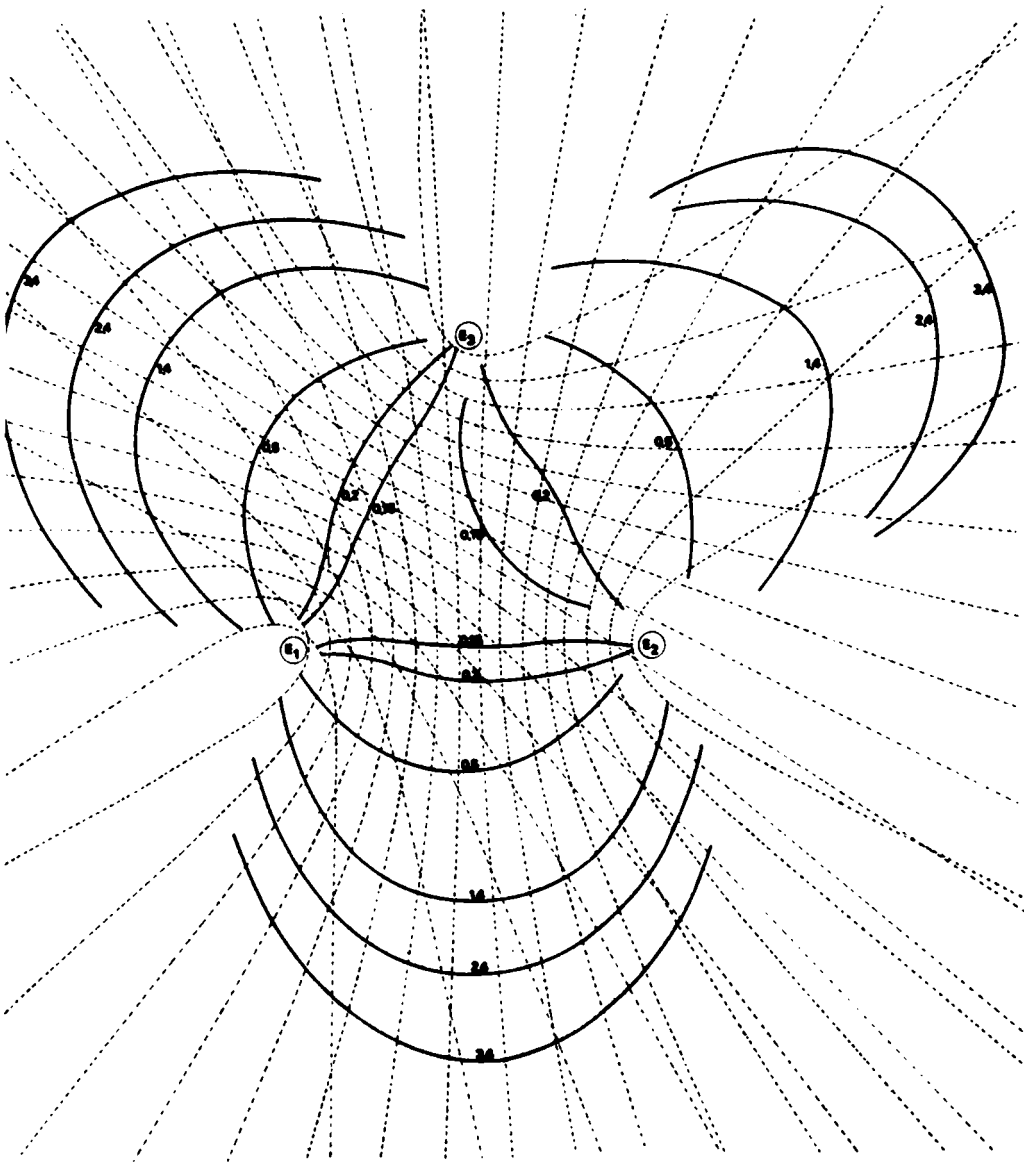


Figura 7: Distribución espacial de error en la determinación de las distancias por el método hiperbólico. Se muestran dos juegos de 16 hipérbolas; u no entre las estaciones  $E_1$  y  $E_2$  y otro entre las estaciones  $E_1$  y  $E_3$ . La distancia entre estaciones es de 100 Km. Las curvas indican igual valor absoluto en Km según los valores numéricos correspondientes. La falta de continuidad en las curvas se debe a carencia de datos.

gráfica de descargas eléctricas atmosféricas.

Hemos mencionado que en investigaciones de carácter meteorológico es necesario poder determinar la totalidad de pulsos emitidos desde cada celda en actividad.

En observaciones realizadas en este departamento, (Hofmann-Pagano-Falcoz, 1972), se ha determinado la distribución de intervalos entre pulsos producidos en condiciones de tormentas severas. Los resultados muestran que los intervalos de máxima probabilidad yacen alrededor de los 7 mseg. Por otro lado, la probabilidad de ocurrencia de pulsos separados con intervalos menores a los 3mseg es muy pequeño frente a la totalidad.

Es entonces necesario contar con un equipo experimental con un tiempo muerto del orden de los 3 mseg.

Una vez medido el ángulo azimutal o determinado el instante de arribo de cada señal, según sea el caso, las estaciones que actúan como satélites deben enviar ese dato a la estación centralizadora, dentro de los 3 mseg anteriormente mencionados.

Los datos de ambas estaciones ingresan a un sistema de adquisición de datos en tiempo real.

#### Sistema Radiogoniométrico

Cada una de las dos estaciones cuenta con un equipo radiogoniométrico, esto es, un sistema capaz de medir el ángulo de arribo de la señal electromagnética. Los analizadores de atmosféricos (VLFAA) desarrollados por el Heinrich-Hertz-Institut, Berlín-Charlottenburg, permiten realizar la medida angular con un error de  $\pm 1^\circ$ . Así mismo, estos equipos permiten determinar ciertos parámetros espectrales. El modo de operar de estos equipos puede verse en el Bericht N°90 del Heinrich-Hertz-Institut, Berlín-Charlottenburg.

El hecho de medir el valor angular con la precisión anotada, significa que desde la estación satélite debe transmitirse, a la estación centralizadora, uno de 180 valores posibles para cada pulso registrado. Esto corresponde al caso de observación a todo azimut.

Como la información es digitalizada, esto implica que es necesario un sistema de transmisión cuya capacidad sea de 8 bit cada 3 mseg.

Existen comercialmente equipos moduladores con capacidad de transmisión de 2600 bit/seg como el requerido en este sistema.

El enlace radial se establece por V.H.F.

La estación centralizadora debe estar provista de un receptor en VHF y un decodificador de la señal transmitida.

El registro de los datos y la determinación del lugar de origen de los pulsos ya ha sido descripto al comentar el Principio de los Métodos.

#### Sistema Radiogoniométrico-Hiperbólico

Cada estación dispone de un receptor de banda angosta y baja frecuencia (en el rango de 1750-2500Hz). El arribo de la señal electromagnética genera en los filtros activos señales senoidales (exactamente iguales en ambas estaciones) cuya amortiguación depende naturalmente del valor de Q. La amplitud y la fase inicial de dichas ondas, depende de la amplitud del pulso de entrada al circuito y del contenido armónico del mismo.

En este caso los dos circuitos resonantes son excitados por el mismo

pulso, pero con un cierto desfasaje de tiempo  $\Delta t$ . De este modo las amplitudes iniciales serán las mismas, pero las fases quedarán en ese mismo  $\Delta t$ .

Debe cumplirse la condición de que  $\Delta t$  sea menor que el período de la onda senoidal para poder diferenciar, de esta manera, los  $\Delta t$  en forma unívoca.

Cumplida esta condición, la medición del tiempo  $\Delta t$  se reduce a realizar una medición de fases en la cual se comparan las fases de los dos circuitos sintonizados.

Para realizar esta operación obviamente es preciso que ambas señales estén disponibles en el mismo lugar, para lo cual la señal generada en una de las estaciones debe ser transmitida a la segunda estación.

Hay que tener en cuenta que al  $\Delta t$  original se le adiciona un tiempo fijo  $\Delta t' = D/c$  (tiempo de transmisión) de modo que en la estación centralizadora el desfasaje total de las señales es:

$$\Delta \tau = \Delta t + D/c$$

cantidad esta que resulta siempre de igual signo, independientemente del lugar de generación del pulso electromagnético.

Los circuitos oscilantes deben ser amortiguados bruscamente un cierto tiempo después del arribo del pulso. De esta manera el sistema queda en condiciones de realizar una nueva medición. Ese tiempo debe ser elegido en función de:

- i) frecuencia de la oscilación
- ii) tiempos entre pulsos de atmosféricos
- iii) tiempo necesario para efectuar la medición de fases
- iv) ancho de banda de transmisor y receptor.

Considerando  $f = 2.500$  Hz, tiempo mínimo entre pulsos de 3 mseg y un ancho de banda de transmisor-receptor de 3 KHz, resulta apropiado un tren de oscilaciones del orden de 2,8 mseg, lo cual implica la existencia de 7 oscilaciones con un período de 400  $\mu$ seg cada una, condición suficiente a los efectos de lograr una onda estable durante por lo menos cuatro períodos a la salida del receptor.

El enlace radial se establece por VHF.

La estación centralizadora cuenta además con un radiogoniómetro que determina el ángulo azimutal de arribo de la señal.

El registro de datos fue descrito bajo el título Principio de los Métodos.

### Sistema Hiperbólico

Es necesario disponer de por lo menos 3 estaciones receptoras. Cada una de ellas opera con un receptor de baja frecuencia totalmente análogo al descrito en el sistema anterior. La transmisión de la onda senoidal se efectúa desde las dos estaciones que actúan de satélite, a la estación centralizadora. Con tres pulsos corridos temporalmente, se pueden determinar 3 desfasajes.

Es necesario entonces contar con dos transmisores y dos receptores en VHF para posibilitar el enlace radial.

## CONCLUSIONES

En la construcción de un sistema de localización geográfica de descargas eléctricas en la atmósfera, en tiempo real, el punto crítico es la transmisión del dato angular o temporal entre estaciones que componen la red. Es conveniente entonces, en cuanto a transmisión se refiere, pensar en un sistema donde el caudal de información a transmitir sea mínimo. Esta ventaja obviamente la llevan los métodos hiperbólicos.

Por otro lado, desde el punto de vista de las precisiones alcanzables el método hiperbólico parece el más ventajoso, siempre y cuando los desfases sean medidos con elevada precisión (del orden de 1  $\mu$ seg). Si esto no es el caso, la precisión del método radiogoniométrico-hiperbólico es mayor puesto que en el hiperbólico el error es directamente proporcional al  $\Delta\tau$  mínimo medido y el mismo crece rápidamente para  $\Delta\tau = 5 \mu$ seg. Esta situación puede analizarse observando las Figuras 5 y 7.



## B I B L I O G R A F I A

- HEYDT, G.; 1967: *Peilanlagen zur Messung von spectralen Amplitudenverteilungen, Amplitudenverhältnissen und Gruppenlaufzeitdifferenz von Atmospheric. Technischer Bericht Nr 90 des Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung. Berlin-Charlottenburg.*
- HOFMANN, C.A.; FALCOZ, H. y PAGANO, M.; 1972: *Medición de las secuencias temporales de producción de atmosféricos. Informe y Memoria Nr 1. Departamento de Electricidad Atmosférica-Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel, pp. 29-34.*
- LEWIS, E.A.; HARWEY, R.B. y RASMUSSEN, J.E.; 1960: *Hyperbolic Direction Finding with Spheres of Transatlantic Origin Journal of Geophysical Research, Vol. 65, n. 7, pp. 1879-1904.*