
Estaciones para Medición de Descargas Atmosféricas

Néstor E. Arias, Juan Ise y José I. Cangemi

La medición de descargas atmosféricas "Rayos" es fundamental para el estudio y planificación de la protección de las actividades humanas en general, y particularmente de las protecciones eléctricas en líneas de transmisión de energía, antenas, sistemas industriales, edificios y otros.

Un aspecto relevante y que sirve para la planificación de las protecciones, es la determinación de la densidad de rayos que impactan en tierra en una región, en un área de un kilómetro cuadrado, y en un año. Los datos registrados pueden ser guardados para un posterior procesamiento, y además, con ellos es posible realizar el cálculo del lugar geográfico de la ocurrencia de descargas (localización de la fulminación).

Con estos fines, se ha encarado un proyecto, CIUNT 26/E346/1 Descargas Atmosféricas, para construir estaciones para la detección de descargas atmosféricas.

En este artículo se presenta lo realizado y algunos resultados obtenidos.

Palabras clave: Descargas Atmosféricas, Antenas, Campos Electromagnéticos

Stations for Measurement Atmospheric Discharges

The measurement atmospheric discharges "Lightnings" is fundamental for the study and planning of human protection in general and particularly for electric protection in lines of energy transmission, antennas, industrial systems, buildings and others.

Some relevant aspects of these measurements and the fact that they are good for the planning of protection are the determination of the density of lightnings that impact on earth in an area of a square kilometer and in one year. The data can be kept for a later processing and also, for calculating the geographical place of occurrence of discharges. The project, CIUNT 26/E346/1 Atmospheric Discharges, is being carried out build stations of atmospheric measurement. This article shows the actions already taken and the result obtained.

Key words: Atmospheric Discharge, Antennas, Electromagnetic Fields

Introducción

Rayos y mediciones cerámicas

Un rayo es una fuente de muy alta energía que produce en su descarga campos eléctricos y magnéticos de elevada intensidad que pueden ser medidos en diferentes regiones (ceranas y lejanas del impacto), tanto como campos inducidos y/o radiados.

Es de interés para la planificación de protecciones contra descargas, contar con datos de la densidad de rayos que impactan en tierra por kilómetro cuadrado y por períodos anuales en una región, para esto debe medirse la ocurrencia de la descarga electromagnética, el trueno y de ser posible la fulminación.

En la figura 1 se puede apreciar una gráfica que representa la corriente en función del tiempo de un rayo de mediana intensidad. Al descomponer esta función por la Transformada de Fourier, se obtiene la corriente en función de frecuencia, como se puede apreciar en la figura 2, la distribución indica una alta concentración de energía en la zona de bajas frecuencias. Este dato es importante para la elección de la sintonía de las antenas (4.000 Hz.) a fin de obtener con su calibración una adecuada sensibilidad de detección.

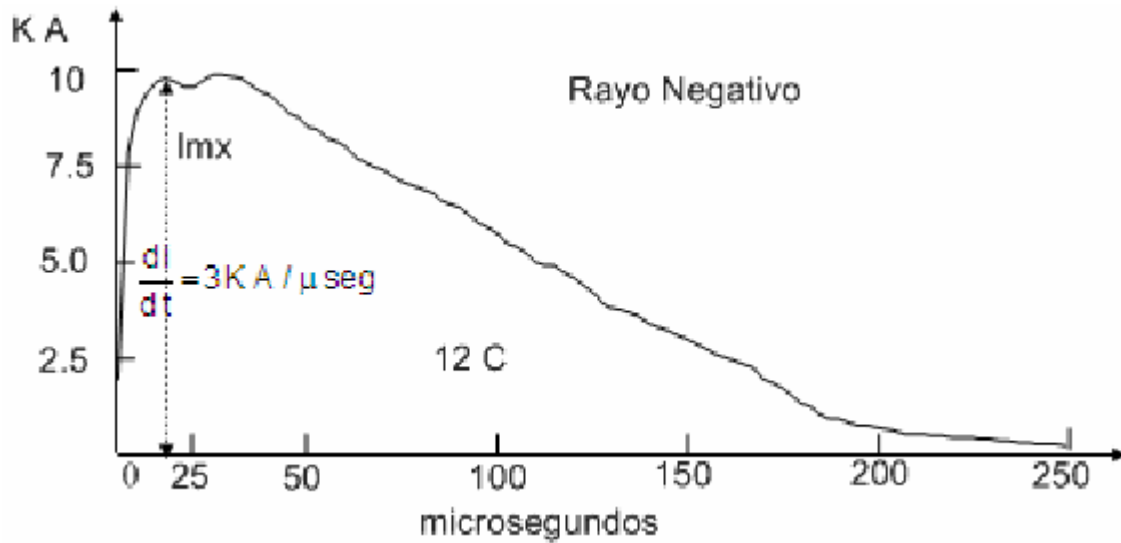


Fig. 1 Rayo negativo de mediana intensidad.

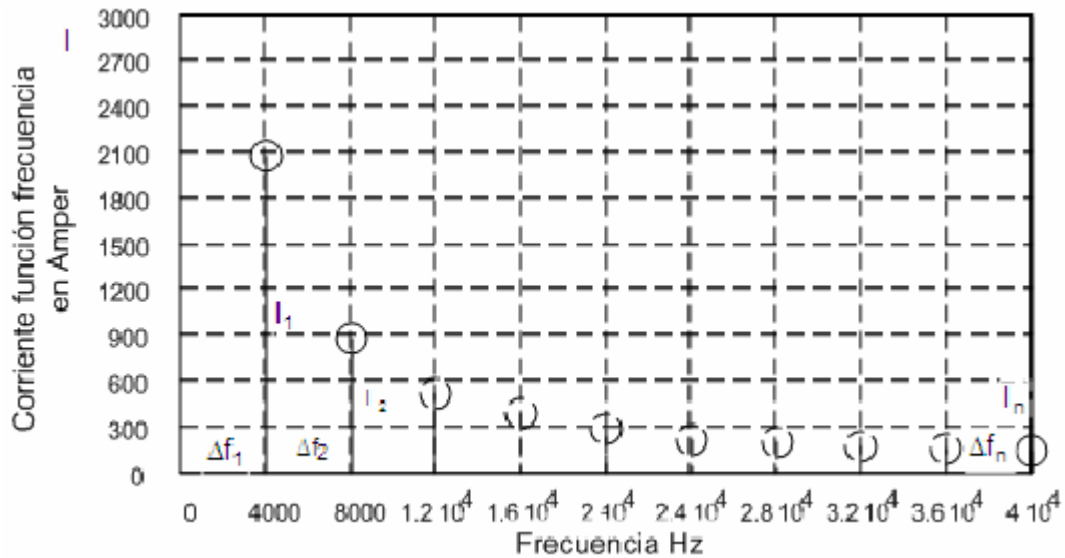


Fig. 2 Asignación de corrientes y frecuencias.

Proyecto en Ejecución

El proyecto tiene por finalidad la construcción de dos estaciones ubicadas a seis kilómetros de distancia una de otra y conectadas ambas por un vínculo radioeléctrico de datos. Como así también, una estación móvil que pueda ser instalada en cualquier localización. En la figura 3 se muestra un esquema de la organización del sistema proyectado.

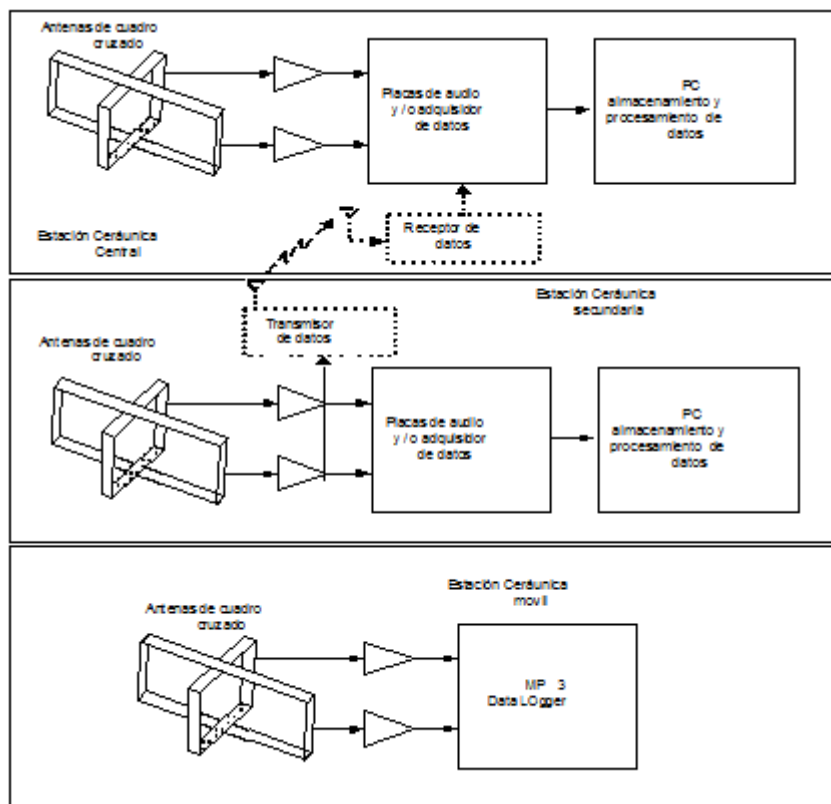


Fig. 3 Proyecto en Curso de Estaciones Cerámicas.

Hasta la fecha, se ha cumplido con la mayor parte del proyecto original, falta completar el vínculo radioeléctrico entre estaciones, algunas sincronizaciones de tiempo entre estaciones, como así también la adquisición automática de datos.

Por el momento las estaciones pueden almacenar datos captados en sus antenas y los tiempos correspondientes a la ocurrencia de rayos se pueden deducir de los programas de grabación de datos. La adquisición de datos se hace mediante placas de audio de PC, tipo Creative PCI, USB Sound Blaster Audigy 2NX y Esi Maya 44 PCI de cuatro canales mono. Todas con procesamiento PCM, y un adquireedor de datos Data Traslation 9816 A de seis canales. Además, para la estación móvil, se usa un dispositivo portátil (tipo MP3) de Stromberg Carlson con entrada Line-in y una memoria de 1,5 G lo que permite al mismo trabajar como un Data Logger de dos canales, adquiriendo datos por períodos de 2 horas con buena resolución PCM.

Por los inconvenientes que presentan los intensos campos eléctricos de cincuenta ciclos y sus armónicas debidos a la distribución de líneas de transmisión de energía en una ciudad, se ha optado por la medición de campos magnéticos mediante antenas de cuadro cruzado. Esto permite tener en una sola estructura dos antenas a 90° que pueden medir campos con componentes norte-sur y campos con componentes este-oeste.

Según la calibración y para un rayo negativo, los campos con componentes norte y este serán positivos y los sur y oeste negativos. De tal manera que cuando se realice el procesamiento de datos pueda discernirse el cuadrante de la caída del rayo a través de las magnitudes relativas y sus signos.

Antenas

Se han construido dos antenas de cuadro cruzado a 90° con criterios diferentes pero con igual área de captación. $A_c=0,025m^2$. Una de las antenas tiene una estructura de madera balsa por razones de peso y el bobinado es

distribuido en toda su extensión, figura 4. La segunda antena tiene bobinado concentrado como se muestra en la figura 5. Ambas antenas están bobinadas con 500 vueltas de alambre de 0,25 milímetro de diámetro.



Fig. 4.

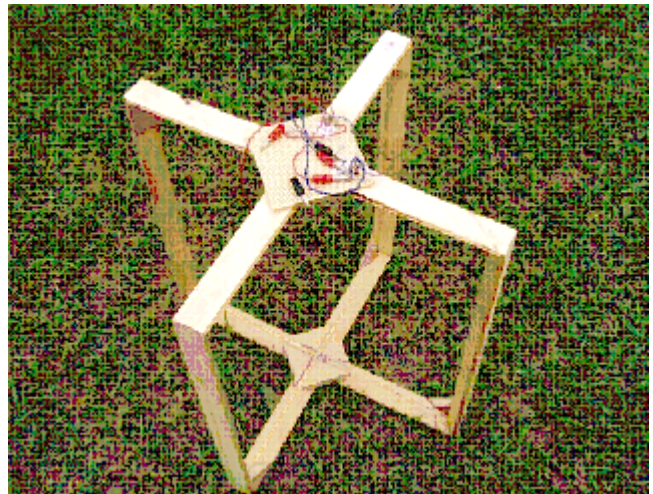


Fig. 5.

Mediciones Realizadas

En el período 2005-06-07 y parte de enero febrero 2008, se han medido descargas en un total de 14 Giga Byte que fueron almacenados y están disponibles para su procesamiento.

Procesamiento

A modo de ejemplo se muestran tres situaciones de análisis y procesamiento.

Caso 1

En este caso se hace un análisis de un archivo en el que se han grabado quince minutos de datos de descargas de rayos del día 25 de octubre de 2006, a las 19 hs. 37 minutos como se muestra en la figura 6. Se pueden apreciar líneas verticales que corresponden, arriba a la captación de la antena norte-sur y abajo a la antena este-oeste.

Contando todas las líneas verticales da un número de descargas por unidad de tiempo, que en este caso es de seis descargas por segundo en un tiempo total de quince minutos.

Ampliando este procedimiento, analizando y procesando todos los archivos de descargas guardados, se puede obtener el nivel de descargas por unidad de tiempo de la región comprendida dentro de la sensibilidad calibrada de las antenas. Esto daría una información equivalente a la del nivel cerámico en la región.

Caso 2

En este caso se toman datos de los archivos de dos estaciones grabadas simultáneamente. Una de ellas situada en domicilio particular y la otra en una estación móvil situada en el parque 9 de Julio. En total se toman datos de cuatro antenas, dos por estación. Esta es una de las pocas grabaciones simultáneas realizadas entre estaciones y procesadas en conjunto.

En el procesamiento se determinan los signos (mas-menos) y las amplitudes relativas de cada par de antenas. Obtenidos estos se calcula la ubicación geográfica de la ocurrencia del rayo.

Para este ejemplo se toman los datos de un rayo del día 12 de marzo de 2007 a horas 18.

Para los cálculos se usa un programa en Mathcad 7®, figura 7 y los datos son procesados en Exel®, figura 8.

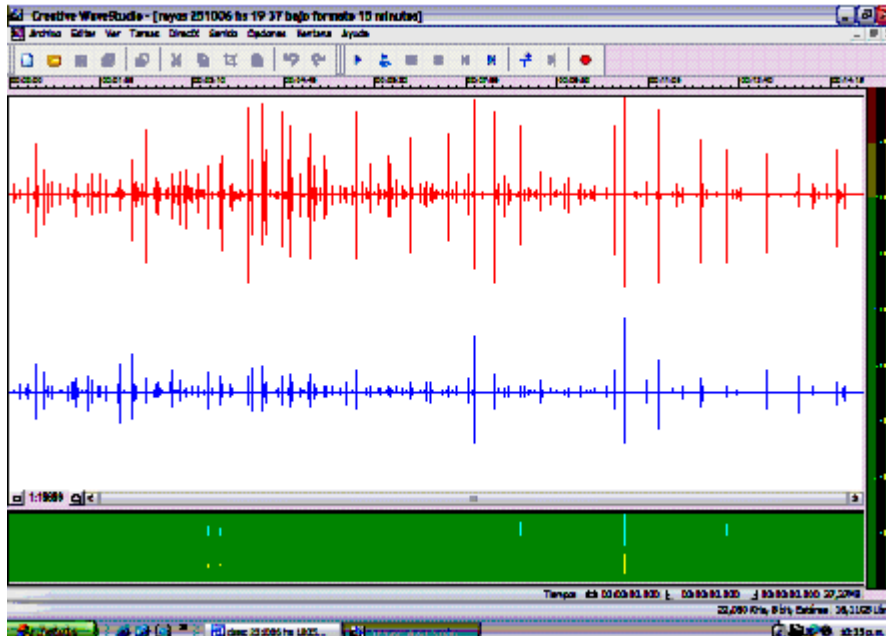


Fig. 6.

```
f:=
a← 1 if n1>0 if e1>0
break if a=1
a← 0 otherwise
a← 2 if e1<0 if n1>0
break if a=2
a← 3 if e1<0 if n1<0
break if a=3
a← 4 if n1<0 if e1>0
a
```

```
f2:=
a← 1 if n2>0 if e2>0
break if a=1
a← 0 otherwise
a← 2 if e2<0 if n2>0
break if a=2
a← 3 if e2<0 if n2<0
break if a=3
a← 4 if n2<0 if e2>0
a
```

```
ζ1:=
ζ← atan(e1/n1)
ζ← ζ if f=1
ζ← atan(e1/n1) + π/1 if f=4
ζ← (atan(e1/n1) + 2π) if f=2
ζ← π + atan(e1/n1) if f=3
ζ
```

```
ζ2:=
ζ← atan(e2/n2)
ζ← ζ if f2=1
ζ← atan(e2/n2) + π/1 if f2=4
ζ← (atan(e2/n2) + 2π) if f2=2
ζ← π + atan(e2/n2) if f2=3
ζ
```

ζ1 = 257.565 deg ESTACION I

ζ2 = 280.369 deg ESTACION II

Fig. 7 (1)

Valores relativos y signo de las mediciones en Estación I Valores relativos y signo de las mediciones en Estación II

<p>$n1= 46.143$ $e1= 209.259$</p> <p>$\zeta_1 := \zeta_1 \frac{180}{\pi}$ $\zeta_1 = 257.565$</p> <p style="padding-left: 40px;">azimut a D1</p> <p>$az_2 = 60$ $az_1 = 240$</p> <p>$ang := \begin{cases} \beta - 360 - az_2 - \zeta_2 & \text{if } az_2 - \zeta_2 > 180 \\ \alpha - 360 - \zeta_1 - az_1 & \text{if } \zeta_1 - az_1 > 180 \\ \beta - az_2 - \zeta_2 & \text{if } \zeta_2 - az_2 < 180 \\ \alpha - \zeta_1 - az_1 & \text{if } \zeta_1 - az_1 < 180 \end{cases}$</p> <p>$\begin{bmatrix} \beta \\ \alpha \end{bmatrix}$</p> <p>$R := 1226$ $D1 = 2.049 \cdot 10^3$ $D2 = 954.623$</p>	<p>$n2=24.6277$ $e2= 134.6$</p> <p>$\zeta_2 := \zeta_2 \frac{180}{\pi}$ $\zeta_2 = 280.369$</p> <p style="padding-left: 40px;">Azimut a D2</p> <p>$ang_1 = 17.565$ $ang = \begin{bmatrix} 139.631 \\ 17.565 \end{bmatrix}$</p> <p>$\alpha := ang_1$ $\beta := ang_0$</p> <p>17.577 $\gamma := 180 - \alpha - \beta$</p> <p>$\alpha = 17.565$ $\beta = 139.631$ $\gamma = 22.804$</p>
--	--

Fig. 7 (2)

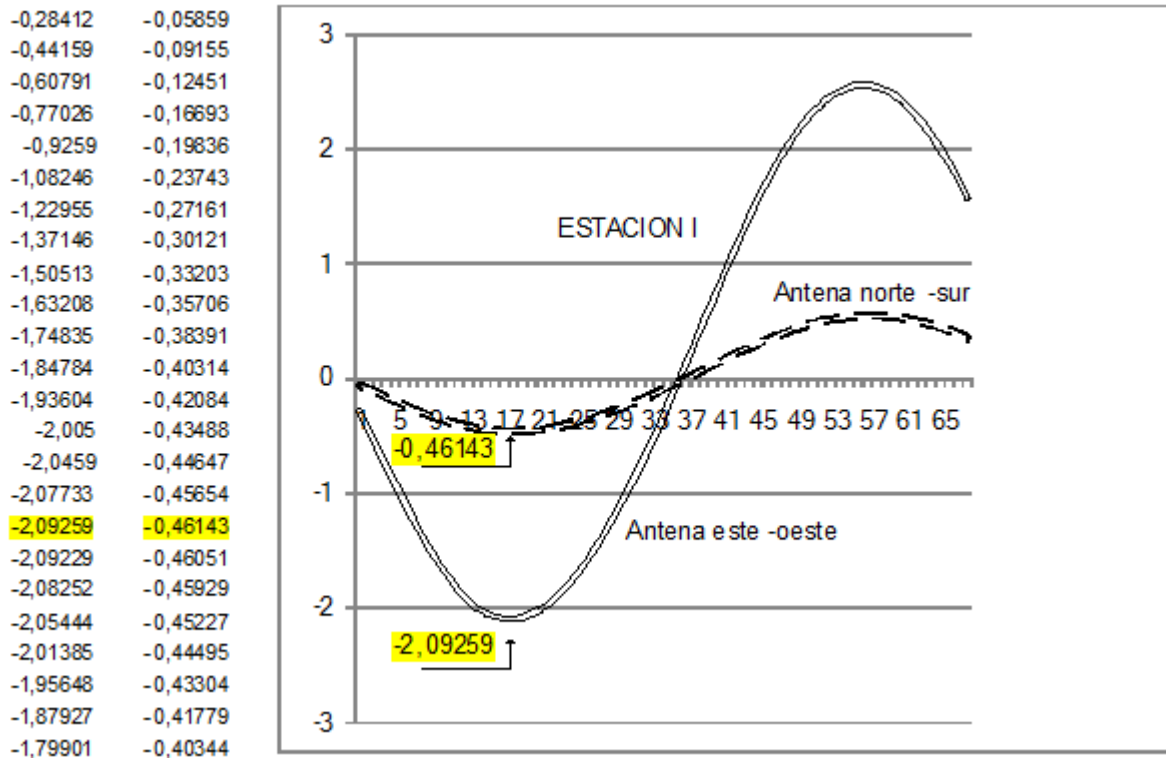


Fig. 8 (1) Valores relativos y signo de descarga en la estación I.

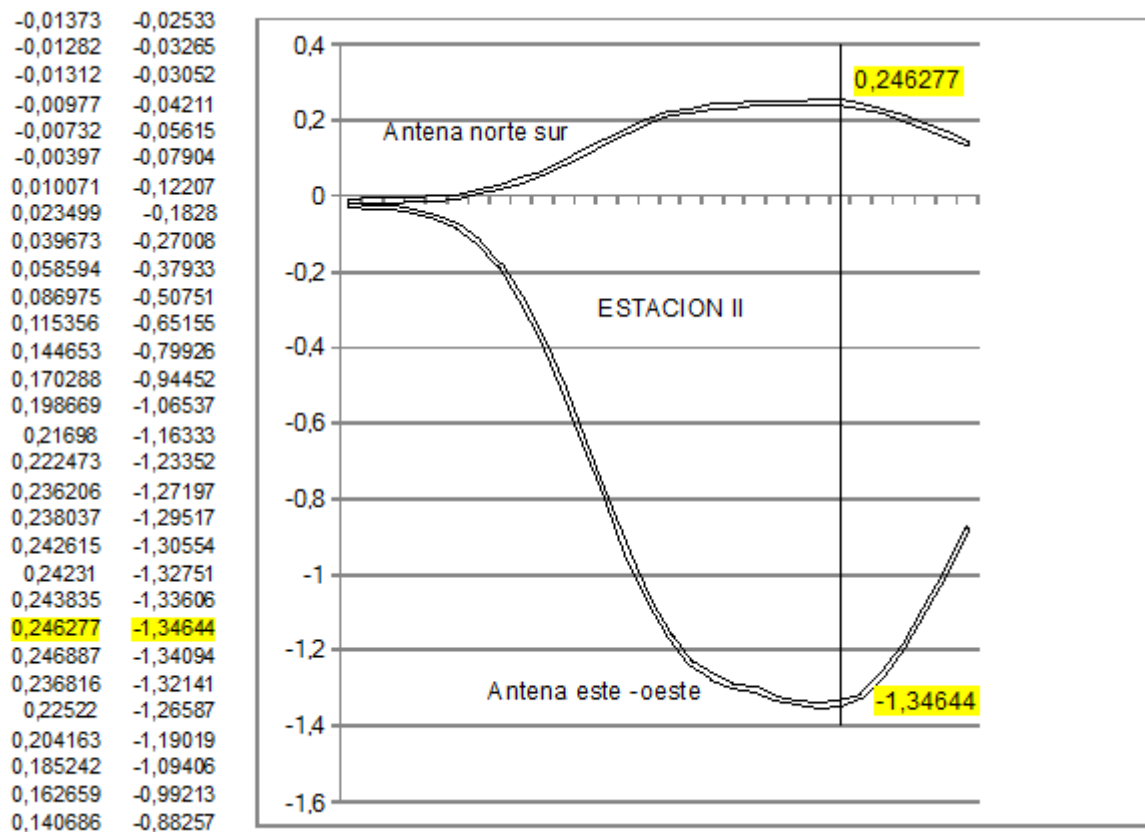


Fig. 8 (2) Valores relativos y signo de descarga en la estación II.

Del cálculo surge que el rayo cayó en la ubicación geográfica (S26.82427, W065.19656) aproximadamente entre las calles Balcarce y Corrientes de San M. de Tucumán como se muestra en la figura 9.

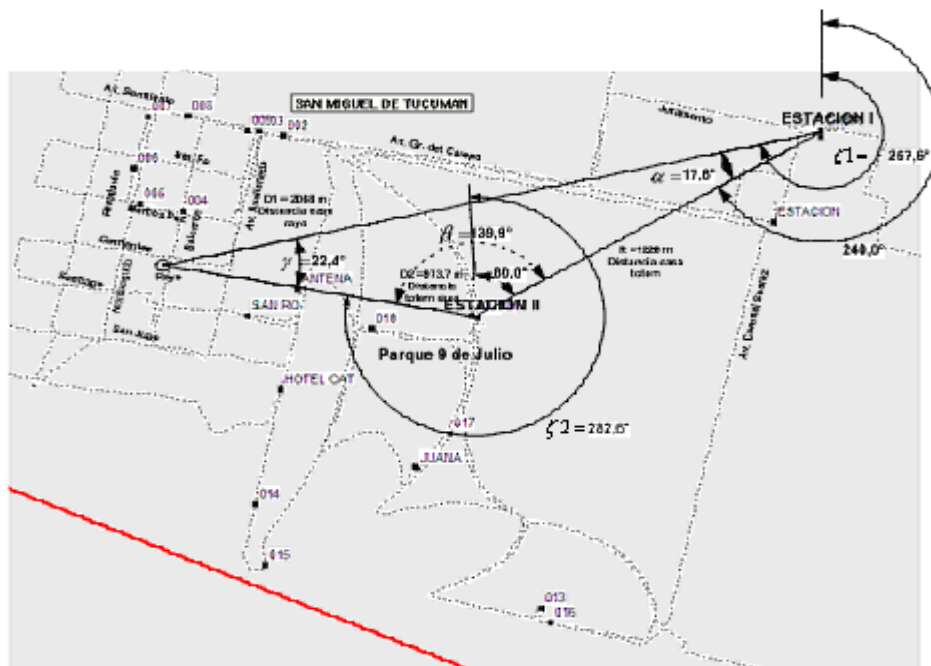


Fig. 9

Caso 3

Se toma como ejemplo una descarga ocurrida el 26 de diciembre de 2007 a 21 hs 36 min cuya grabación corresponde a los datos electromagnéticos de una sola estación, y además, la grabación del sonido del trueno como se ilustra en la figura 10.

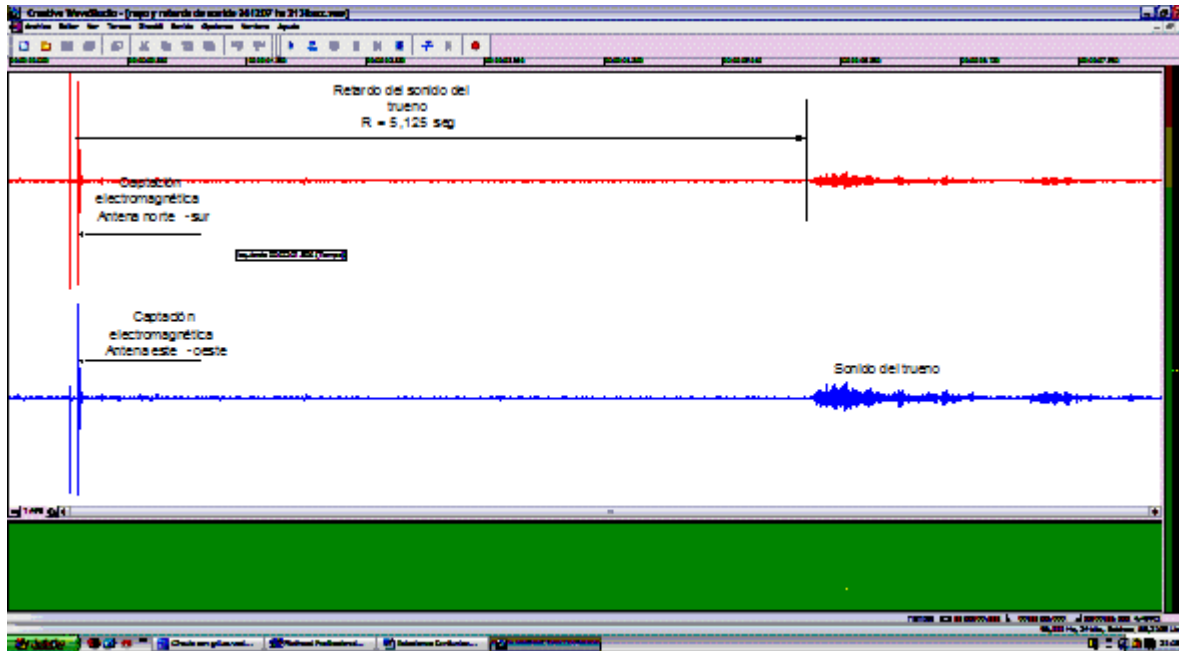


Fig. 10

Se observa además, que la línea vertical que corresponde a la captación electromagnética, puede ser ampliada en la base de tiempo y dar como resultado lo mostrado en la figura 11.

1,62658691	1,96258545
1,77703857	2,11914063
1,9342041	2,27508545
2,08618164	2,42919922
2,22930908	2,58117676
2,36663818	2,71484375
2,49023438	2,83508301
2,5994873	2,940979
2,68951416	3,01177979
2,77252197	3,04321289
2,84332275	3,05297852
2,90161133	3,05023193
2,95043945	3,04901123
2,97332764	3,0456543
2,97485352	3,03100586
2,97698975	3,02947998
2,96295166	3,03710938
2,93579102	3,03924561
2,89093018	3,04626465
2,83416748	3,02642822
2,76611328	2,99591064

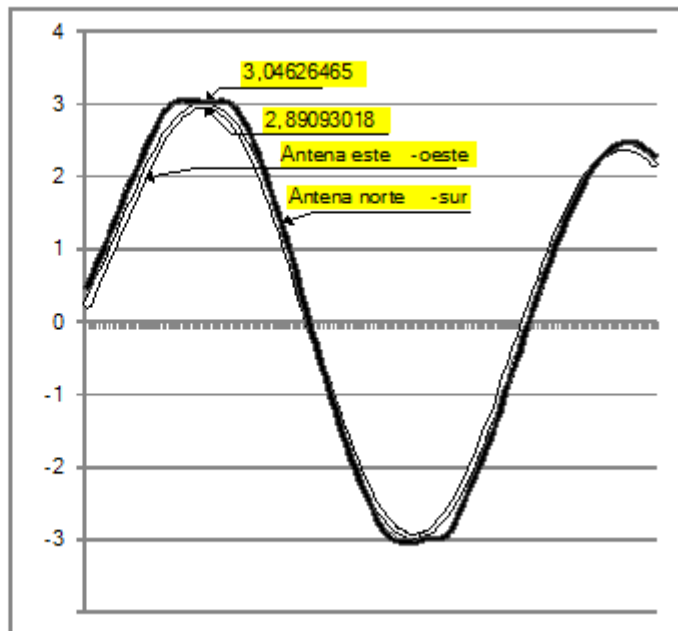


Fig. 11 - Valores relativos y signo de la descarga electromagnética.

De los datos de las antenas se deduce la dirección y el sentido de la descarga y por el retardo del sonido del trueno, la distancia.

Para este caso se ha tomado la velocidad del sonido de $3 \cdot 10^2$ m/seg. No se realizaron correcciones correspondientes a la presión y la temperatura en la región. El cálculo así realizado da una ubicación de la caída del rayo en (S26.81023, W065.16617) como se muestra en la figura 12.

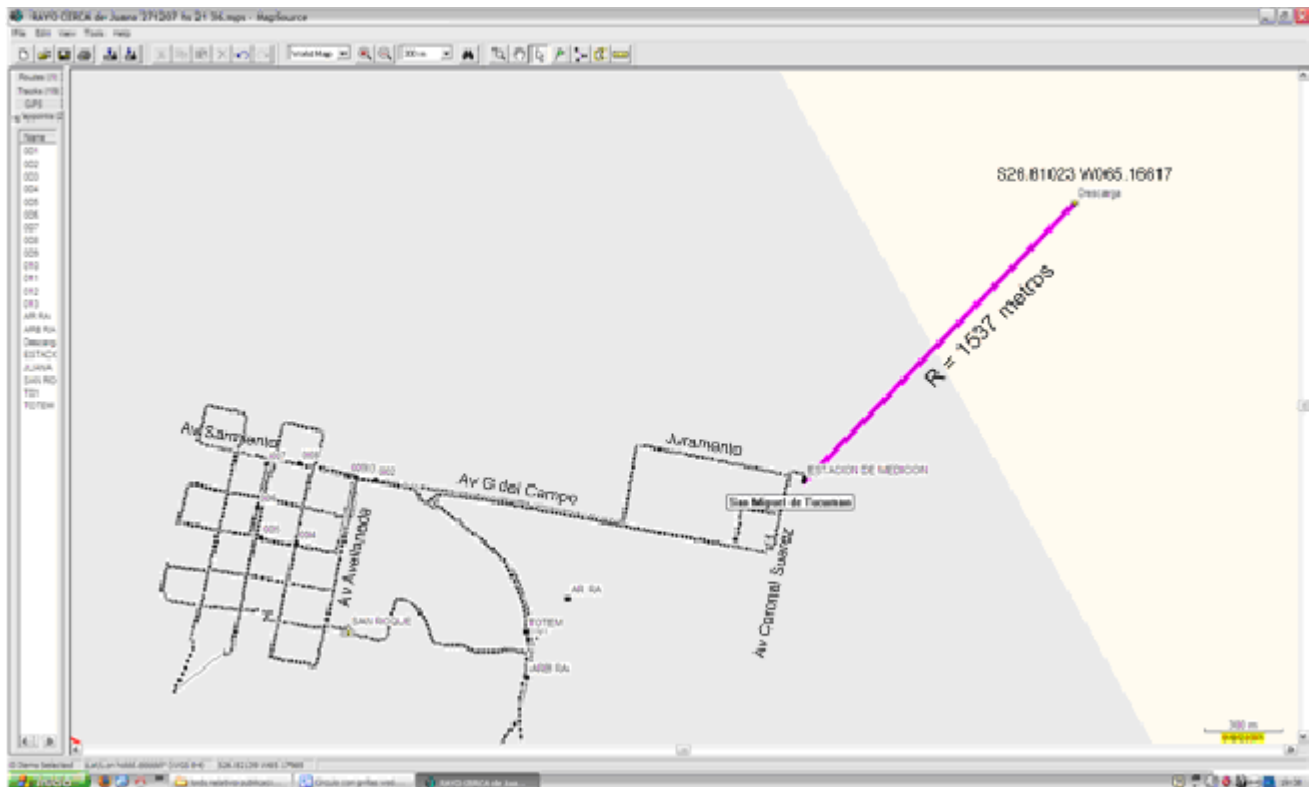


Fig. 12

Conclusiones

Con la experiencia adquirida en el desarrollo del proyecto se concluye que es posible realizar la construcción de varias estaciones de bajo costo para cubrir un área mayor, con estaciones fijas y/o la instalación de estaciones móviles automatizadas. El desarrollo del proyecto ha dejado mucha experiencia en la construcción de sistemas para estos fines.

Es necesario hacer un profundo análisis de errores de todo el sistema para asegurar la exactitud de la ubicación geográfica de las descargas y determinar la tolerancia de la detección.

El uso de placas de audio de PC y sistemas MP3 portátiles, trabajando como Adquisidores de Datos y como Data Logger abre otro panorama de bajo costo para el sistema.

En un paso más avanzado del proyecto será necesario automatizar y ampliar las mediciones, como, así también, profundizar la interpretación de otros parámetros de rayos.

Como curiosidad se menciona el hecho, que la mayoría de las tormentas eléctricas medidas han ocurrido en horarios entre las 18 y las 07 horas. Muchas de las cuales entre las cero hora y las tres de la mañana. Situación que justifica la automatización del sistema y la ampliación y/o mejora de los programas usados.

Trabajo desarrollado en el Laboratorio de Telecomunicaciones del Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación de la FACET de la Universidad Nacional de Tucumán.

Referencias

- **Sergei A. Schelkunoff and Harald T. Friis** (1952) Antennas Theory and Practice John Wiley & Sons, Inc.
- **Edward C. Jordan and Keit G. Balmain** (1968) Electromagnetic Waves and Radiating Systems Second Edition Prentice Hall, Inc.
- **Simon Ramo and John R. Whinnery** (1953) Fields and Waves in Modern Radio. John Wiley & Sons, Inc.
- **Néstor E. Arias** (2001) Calculating Multi-Element Antennas Using Mathcad® Applied Microwave & Wireless February 2001.
- **Néstor E. Arias** (2006) Comportamiento de un Rayo como Antena Lineal Delgada. cet ISSN 1668-8910.
- **G.V. Cooray** (2003) The Lightning Flash". ISBN 085296-780-2, IEE Ed., 2003. (USD99
- **Falk Rühling** (1994) "Lightning" Laboratorio de Alta Tensión. Instituto de Ingeniería Eléctrica FACET UNT.

Néstor E. Arias

Ingeniero Electricista Orientación Electrónica Universidad Nacional de Tucumán (1968).
Profesor Titular en las asignaturas Electromagnetismo I y Electromagnetismo II. Responsable del Laboratorio de Telecomunicaciones del Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación FACET UNT. Director del proyecto de investigación del CIUNT "Descargas Atmosféricas".
narias@herrera.unt.edu.ar

Juan E. Ise

Ingeniero Electricista Orientación Electrónica Universidad Nacional de Tucumán (1989).
Jefe de trabajos Prácticos en la cátedra de Electromagnetismo y en el Laboratorio de Telecomunicaciones FACET UNT.
Desde 1990 a la fecha, Jefe del Departamento Técnico de la empresa CCC Canal Cable Televisión.
jise@viaccc.com

José I. Cangemi

Estudiante del último año de la carrera Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Tucumán.
Auxiliar docente (ayudante estudiantil) en la cátedra de Electromagnetismo I, Electromagnetismo II y Laboratorio de Telecomunicaciones. FACET UNT.
jcangemi@arnet.com.ar