



VARIACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO DE LA TROPÓSFERA BAJA EN LA CIUDAD DE VALENCIA (VENEZUELA)

Ronald Millán^{1,2}, Oswaldo Guerra¹; Nelson Falcón¹;

¹Laboratorio de Física de la Atmosfera, Dpto. de Física, FACYT Universidad de Carabobo, ²Dpto de Física, estudios básicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

Correo electrónico: rmillan@uc.edu.ve, ogguerra@gmail.com, nelsonfalconv@gmail.com

Resumen

Estudiar las variaciones locales del campo eléctrico atmosférico ($E \sim 100$ KV/Km en la tropósfera) es importante en los mecanismos microfísicos de aerosoles, disrupción de gotas de lluvia, formación de electrometeoros y descargas nube-tierra. Se presenta detalles de elaboración de “Molinos de Campo”, como medidores de desplazamiento eléctrico, siguiendo la metodología de Carlson y Wilson, mediante un capacitor variable de placas plano-paralelas, cuyas placas sensoras son amplificadas por un circuito operacional. La calibración se efectuó generadores de Van Der Graaff. Los resultados en Valencia a nivel de superficie, arrojaron valores medios del orden de 101 V/m en condiciones de buen tiempo, y del orden de 700 a 2600 V/m en condiciones de tormenta, y con variabilidad horaria compatible con la curva de Carnegie del continente. Se concluye que los valores medios y la variabilidad observada es la característica de regiones tropicales de bajo nivel cerámico.

Palabras claves:

Palabras clave: Electrometeoros, Campo eléctrico Atmosférico, Curva de Carnegie.

Variation of the atmospheric electric field of the lower troposphere in Valencia (Venezuela)

Abstract

Studying local variations of the atmospheric electric field ($E \sim 100$ KV/Km in the troposphere) is important in the microphysical mechanisms of aerosols, raindrop disruption, electrometeor formation, and cloud-ground discharges. Details of the elaboration of "Molinos de Campo" are presented, such as electrical displacement meters, following the Carlson and Wilson methodology, by means of a variable capacitor of plane-parallel plates, whose sensor plates are amplified by an operating circuit. The calibration was carried out with Van Der Graaff generators. The results in Valencia city at surface level, yielded mean values of the order of 101 V/m in good weather conditions, and of the order of 700 to 2600 V/m in stormy conditions, and with hourly use compatible with the curve Continental Carnegie. It is concluded that the average values and the additional observed is the characteristic of the tropical regions of low ceramic level.

Key words: Electrometeors, Atmospheric Electric Field, Carnegie Curve.

1. Introducción

En la atmósfera terrestre existe un campo eléctrico cuasi estático que varía con respecto a la altura. A diferencia del gradiente de presión y temperatura, la variación del campo eléctrico no ha sido bien descrita, y no se conoce con certeza su origen; sin embargo se conoce que esta variación del campo eléctrico local es el responsable de la actividad eléctrica atmosférica (Iribarne y Cho, 1980; Feynmann *et al* 1972; Bering *et al* 1998). Los electrometeoros (Rayos, relámpagos y “Fuegos de Santelmo”) están comúnmente presentes en las nubes de tormentas y son vinculadas a las variaciones del campo eléctrico terrestre a nivel de superficie durante las descargas eléctricas (Uman 1984; Rarkov y Uman 2003).

Diversas hipótesis se han propuesto para modelar el incremento del campo eléctrico local en el interior de las nubes de tormentas, y la formación subsiguiente de las corrientes de avalancha que originan los electrometeoros (rayos y relámpagos) sin que haya alcanzado todavía un consenso o explicación satisfactoria en los mecanismos de cargas de las celdas nubosas (MacGorman y Rust 1998, Rogers 1977, Falcón *et al* 2000).

La expresión empírica para la intensidad del campo eléctrico terrestre válida para la tropósfera inferior en condiciones de “buen tiempo” y latitudes bajas está dada por (Gringel *et al* 1986):

$$\vec{E}(z) = -[93.8e^{-4.527z} + 44.4e^{-0.375z} + 11.8e^{0.121z}] \hat{z} (KV/Km) \quad (1)$$

Existiendo además una variación periódica del campo eléctrico terrestre respecto al tiempo Universal, denominada curva de Carnegie (Fullekrug, M. *et al* 1999); su valor medio superficial varía desde 120 V/m a las 19:00 UT y disminuye hasta 90 V/m a las 04:00 (Figuras 1 y 2).

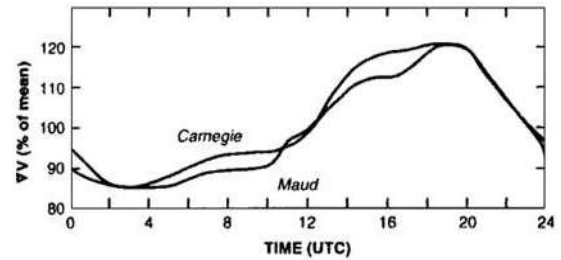


Fig. 1. Curva de Carnegie (Fuente: Fullekrug, M. *et al* 1999)

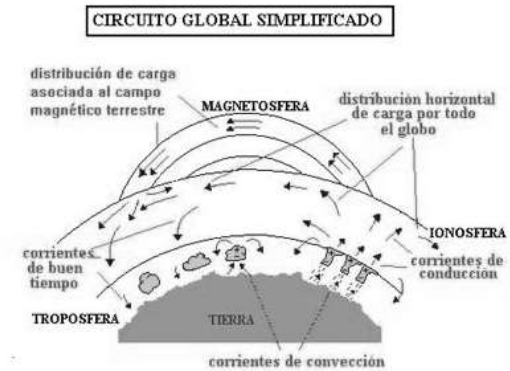


Fig. 2. Esquema de distribución global del campo eléctrico (Fuente: Falcón *et al* 2000).

2. Materiales y Métodos

Los valores instantáneos a nivel superficial del campo eléctrico terrestre pueden ser “fácilmente” determinados por medio de electrómetros (Cunning, M; Nicholson, H.; y Porto, D. 1981) o colectores de carga iónica (Carlson 1999a), que se fundamentan en condensadores de placas plano-paralelas o cilíndricos especialmente contruidos, aún con materiales de bajo costo (Carlson, 1999b).

En este trabajo se usará el diseño propuesto por Carlson (1999), por ser de fácil elaboración con los materiales en nuestra Facultad; el mismo consta de 2 partes: (a) un colector de cargas basado en un condensador plano paralelo de disco giratorio, elaborado con una carcasa metálica y (b) un circuito amplificador como lo indica la figura 3.

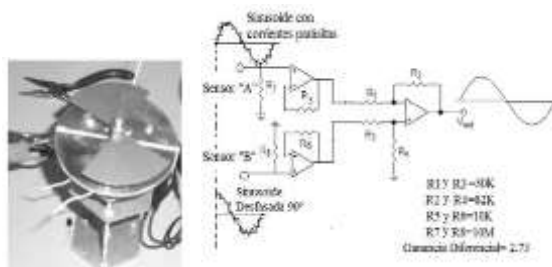


Fig. 3. Colector de cargas (Izq.), Circuito amplificador diferencial (Der.) (Fuente Propia)

El principio de funcionamiento es descrito a continuación: Al enfrentarse la placa pantalla y uno de los sensores se genera entre estos una capacitancia, la cual, al disminuir linealmente por la rotación de aquella, se producirá una disminución proporcional de la carga conforme se traslada de un enfrentamiento total de placas a un enfrentamiento con capacitancia nula, para luego realizar el proceso inverso: de nula a máxima, como se observa en la figura 4.

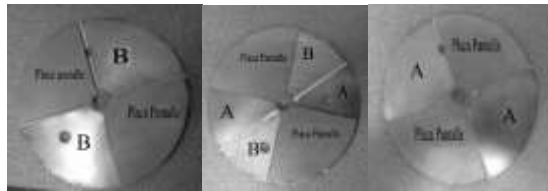


Fig. 4. Apantallamiento del sensor "A" : 100% (Izq.), 50% (Centro) y 0% (Der.) (Fuente Propia)

Dicho giro del disco encima de los sensores, genera una variación de capacitancia por el efecto de apantallamiento del campo eléctrico en los sensores, la cual a su vez genera una variación de carga (y de corriente), donde el período de oscilación de la corriente corresponde al período de oscilación del motor que hace girar el disco, tal como se observa en la figura 5.

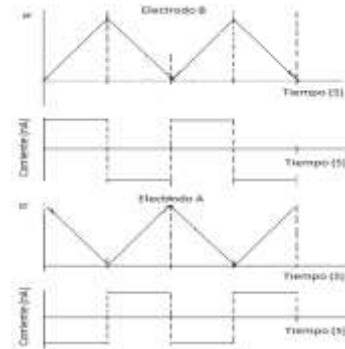


Fig. 5. Corriente inducida, conforme gira el disco, en función del tiempo en los electrodos "A" y "B" (Fuente Propia).

A la salida del diferencial (V_{out}) de la figura 3 (Der.) se obtuvo la señal libre de cualquier corriente parásita y amplificada con un factor de ganancia de 2,73. Las resistencias R7 y R8 cumplen la función de un conversor corriente-voltaje ya que las corrientes inducidas en la placa sensora (del orden de 10^{-9} A) son muy difíciles de detectar con equipos comerciales, luego el empleo de valores de resistencia elevados permiten un voltaje mensurable. Para determinar dirección (polaridad) de la señal se dispuso del diagrama esquemático de la siguiente figura 6.

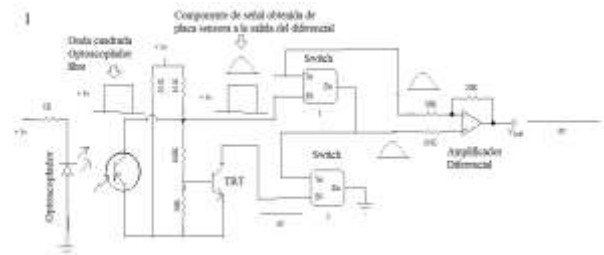


Fig. 6. Diagrama del detector de polaridad del campo eléctrico. (Fuente Propia).

En la figura 6 se observa que, cuando la paleta no bloquea la luz del optoacoplador, se genera una onda cuadrada, hacia por la entrada E0 del switch 1. El funcionamiento del switch consiste en que, al introducir un nivel DC positivo por E0, se cierra y a la salida Zn tendría la señal de la entrada Yn. En cambio cuando tenemos un nivel de 0 V en E0, se abre el switch y no permite que la señal de Yn salga por Zn, cerrándose y dejando pasar la señal de Yn a través de Zn; a la vez que permanece abierto el transistor TRT, lo que ocasiona que a

la entrada de E0 de switch se tenga un nivel de 0 V y por lo tanto permanezca abierto. Esto ocasiona que a la entrada del amplificador diferencial tengamos la misma señal en ambos terminales, por lo que a la salida tendríamos un nivel de 0 V. La señal que se introduce por el terminal Yn del switch 1 es la que viene de la salida del amplificador diferencial de la Fig. 3 (Der.). Para tal fin se usó un chip HEF4066 .

Luego, debido al giro constante de la placa pantalla y de la paleta del sensor óptico, viene el segundo semiciclo de la señal del sensor, en el momento en el que la paleta bloquea la luz de aquel, por lo que se obtiene un nivel de 0V en el terminal E0 del switch 1 y un nivel DC positivo en el terminal E0 del switch 2. Por lo tanto, ahora, a la entrada del amplificador se tendría en el terminal “-“la componente de la señal de la entrada Yn , y en el terminal “+”un nivel de 0V. Al restarse generarían a la salida del amplificador, la señal de la entrada de Yn, cuyo signo coincide con la polaridad de la señal de entrada del sensor, tal como se observa en la figura 7.

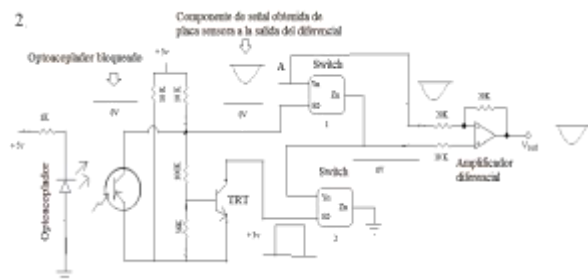


Fig. 7. Diagrama esquemático del detector de polaridad cuando el optoacoplador se encuentra bloqueado.
(Fuente propia)

En la figura 8, se aprecia el Molino de Campo ya terminado. El Display LCD muestra la lectura en V. Este molino de campo está diseñado para medir el campo eléctrico atmosférico, por ello es necesaria la conexión a tierra de la carcasa del equipo. Se debe ubicar el molino con los discos electrodos apuntando en dirección a tierra (boca abajo), , para medir voltaje entre 2 superficies equipotenciales, lo que implica que si se ubicara boca arriba se medirían las múltiples equipotenciales ubicadas desde la

posición del equipo hacia arriba, lo cual distorsionaría las medidas.

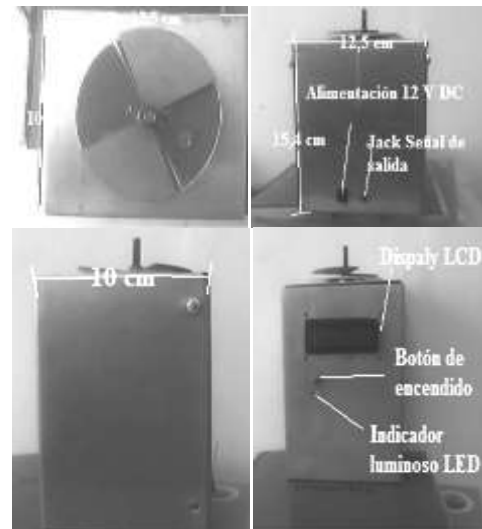


Fig. 8: Dimensiones y partes del prototipo de Molino de campo. (Fuente Propia)

La calibración se realizó con un generador de Van der Graaff, variando las distancias a 30 y a 15 cm, para la detección en el osciloscopio, luego, usando un capacitor de placas plano paralelas, de area 50cm x50 cm, con el dispositivo en su interior, y una fuente DC de 32 Voltios se procedió a la calibración de escalas Voltios Versus V/m.tal como se muestra en la fig. 9.

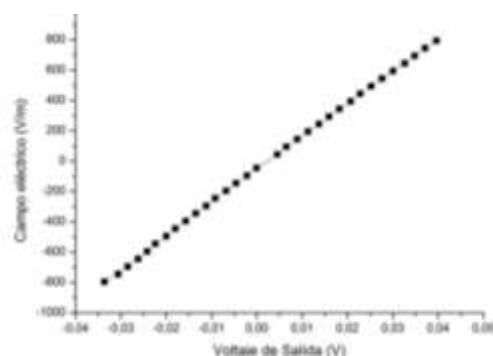


Fig. 9. Calibración de molino de campo

Al realizar un ajuste lineal de la Fig. 9, se obtuvo la ecuación de conversión entre el voltaje de salida del molino de campo (en voltios) a valores de campo eléctrico (en unidades de V/m):

$$E = 21851V_{salida} - 56.40 \quad (2)$$

La tabla 1 resume las características del dispositivo

Rango de operatividad -10°C a 50°C

Retardo en adquisición datos	1 Segundo.
Rango/Resolución:	±25000 V/m
Precisión:	±10%
Ruido:	±20 V/m
Tamaño	15cm x 10cm x 12cm
Peso:	400 gr
Batería:	Batería de 9 V , 6 horas a máximo consumo

Tabla 1: Especificaciones técnicas del molino de

Campo.

3. Resultados y Discusión

Las medidas de campo eléctrico atmosférico fueron realizadas en el municipio Naguanagua Valencia, Edo Carabobo 10°13'35,24" N, 67°58'23,18" W, a 467 m.s.n.m.

Se puede observar en la figura 10 la intensa variación del campo eléctrico durante el desarrollo de una tormenta. Los picos observados en la gráfica corresponden con descargas eléctricas atmosféricas, notándose la estrecha relación entre estas y el campo eléctrico. Finalizando la tormenta a las 21:30, observándose después la estabilización de los valores del campo eléctrico local.

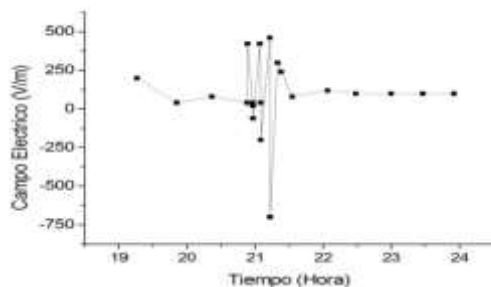


Fig. 10: Variación local de campo eléctrico para tormenta del 20-09-2015. Fuente: propia.

Resultados análogo se obtuvieron al día siguiente, como muestra la figura 11.

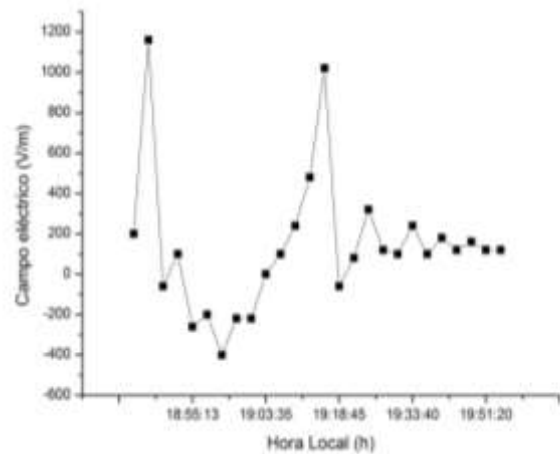


Fig. 11: Variación de campo eléctrico atmosférico en función del tiempo para tormenta eléctrica ocurrida el 21-09-2015 Fuente: propia.

No se observa patrón característico de variabilidad entre tormentas. También se observó que la medida, no dependía estrictamente de la precipitación en sí, debido a que, en la tormenta del día 20 se realizó una medida a las 9:15 pm, con precipitación intensa, es 400 V/m; de la misma forma se realizó una medida en la tormenta del día 21, durante un breve cese de la precipitación a las 19:10 horas, y el valor del campo eléctrico medido a ésta hora se ubicó en 500 V/m. Se reporta valor promedio del campo eléctrico de 200 V/m una vez finalizada la tormenta (Fig. 11).

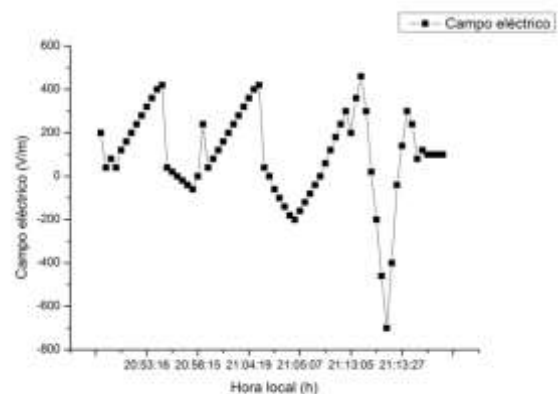


Fig. 12: Campo eléctrico en función del tiempo en condiciones de tormenta del día 26-09-2015.

Se puede observar en la Fig.12 la intensa variación del campo eléctrico durante el desarrollo de la tormenta (Los picos observados en la gráfica corresponden con descargas eléctricas atmosféricas, demostrándose con ello la estrecha relación entre estas y el campo eléctrico) finalizando dicha tormenta a las 21:30, observándose después de dicha hora la estabilización de los valores del campo eléctrico local con promedio de 170 V/m.

Adicionalmente, para descartar perturbaciones del campo eléctrico por efectos parásitos locales se procedió a medir un lugar alejado de fuentes electromagnéticas artificiales y bajo condiciones de buen tiempo, escogiéndose el extremo sureste de la Península de Paraguaná; coordenadas geográficas: 11°49'76.9"N, 70°15'7.30"W a nivel del mar. Se reportan variaciones locales del campo eléctrico del orden de los 80 V/m en la región costera de Venezuela en condiciones de buen tiempo.

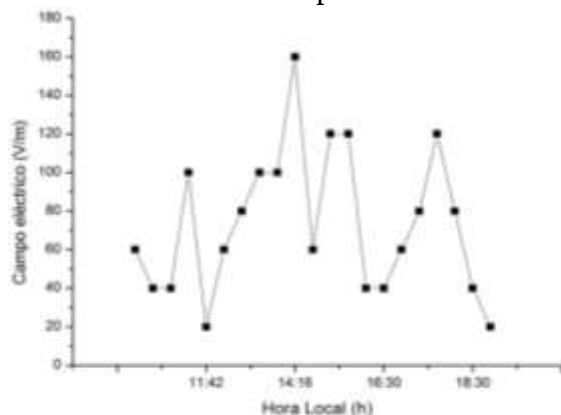


Fig 13. Campo eléctrico en la península de Paraguaná en condiciones de buen tiempo.
Tiempo de estudio: 24-08-2015.

4. Conclusiones

Se verificó la efectividad del diseño del molino de campo, en la configuración propuesta por Carlson para elaboración de un electrómetro que permita medir variaciones rápidas y leves del campo eléctrico atmosférico.

Las calibraciones mostraron la sensibilidad y respuesta lineal, así como el bajo ruido electrónico, destacando el uso del molino de campo como una herramienta para el estudio de los electrometeoros.

Se observó, a través de la comparación de las mediciones del campo eléctrico realizadas durante las tormentas de los días 20 y 21-09-2015 variaciones rápidas del mismo (del orden de los segundos), las cuales ocurrieron tanto con precipitación intensa (día 20-09-2015) como sin precipitación (intervalo de tiempo de 10 minutos el día 21-09-2015) lo cual parece indicar que la precipitación en sí misma no influye de manera determinante en las variaciones locales del campo eléctrico.

Se concluye que los valores medios y la variabilidad observada es la característica de regiones tropicales de bajo nivel cerámico, en condiciones de buen tiempo.

5. Agradecimientos

Se agradece el financiamiento a través del FONACIT bajo el N° 2011-000326.

6. Bibliografía

- Bering III, E. A.; Few, A. y Benbrook (1998) The global electric Circuit, Physics Today, October 24-30.
- Carlson, S. (1999a) Taller y Laboratorio: Un Contador de Iones Atmosféricos Investigación y Ciencias 11, 83-85.
- Carlson, S. (1999b) Taller y Laboratorio: Detección de la electricidad Atmosférica Investigación y Ciencias 09, 82-84.
- Cunning, M.; et al (1981) Measurement of the atmospheric electrostatic potential gradient near sea level, Am. J. Ph. 49, 12, 1178-1180.
- Chalmers J.A. (1967), Atmospheric Electri-city . Pergamon Press 2da Ed. N.Y., 515-517.
- Ebert, F. (1968) Moderne Messmethoden der

Physik, Edt. Alemana de ciencias VEB, Berlín,.

Falcón N., et al. (2000) Microfísica del Relámpago del Catatumbo, Ingeniería UC, 7, 1, 47-53.

Falcón N. et al (2000) Modelo Electroatmosférico del Relámpago sobre el Río Catatumbo. Ciencia 8, 2, 155-167.

Fullekrug, M. et al (1999) J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 61:745-750.

Gringel W. et al (1986) Electrical structure from 0 to 30 Km: in the Earth's Electrical Enviroment. Krider, E.P. y Roble, R.I. Ed. Washington DC National Academy Press, pp 166-182.

Iribarne S.V. and Cho H.R. (1980) Atmospheric Physics. D. Reidel Pub. 129-146.

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

Uman M.A. (1984), Lightning. McGraw Hill NY.

Rarkov V. y Uman M. (2003), Lightning: Physics and Effects. Cambridge U. Press, pp 10-12.

Shawn, C. (1999) Detección de la electricidad atmosférica, Investigación y Ciencia 276, 82-84.

