

COMPARACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO SUPERFICIAL OBSERVADO Y ESTIMADO A PARTIR DE LA CARGA DE GOTAS DE LLUVIA DURANTE UNA TORMENTA

Rodolfo G. Pereyra^{1,4}, Lucía B. Martínez^{1,4}, María G. Nicora^{2,3,4}, Eldo E. Ávila^{1,4}

rodolfo.pereyra@unc.edu.ar

¹FAMAF, Universidad Nacional de Córdoba, IFEG-CONICET, Córdoba.

²Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata, UNLP.

²UNIDEF, MINDEF, CONICET, DEILAP, División Atmósfera, Villa Martelli.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET.

Palabras clave: electrificación de nubes, campo eléctrico, gotas de lluvia.

Se analizaron mediciones del campo eléctrico superficial durante algunas tormentas, junto con mediciones de la carga eléctrica y la velocidad de caída de las gotas de lluvia, con el objetivo de evaluar en qué medida las partículas de precipitación cargadas contribuyen al valor del campo eléctrico observado. Para ello, se aplicó una reconstrucción temporal inversa de la trayectoria de las gotas, que permitió estimar el campo eléctrico generado por esa precipitación. Los resultados mostraron una buena correspondencia entre el campo medido y el estimado. Esto sugiere que la variabilidad del campo eléctrico está significativamente influenciada por los cambios en la carga eléctrica transportada por la precipitación.

1) INTRODUCCIÓN

Las nubes de tormenta suelen presentar distribuciones de carga eléctrica, que son producto de procesos de electrificación asociados a las colisiones entre partículas de hielo. La polaridad y magnitud de las cargas eléctricas separadas en estas interacciones están determinadas por complejos procesos microfísicos y dinámicos (Ávila and Pereyra, 2000; Pereyra and Ávila, 2002). Cuando estas partículas precipitan, alcanzando la superficie en forma de gotas de lluvia, pueden conservar parte de la carga adquirida previamente.

Durante una tormenta, el campo eléctrico en superficie está influenciado tanto por la distribución de carga de la nube como por las cargas transportadas por la precipitación. Este campo puede alcanzar magnitudes de varios miles de V/m y presentar rápidas inversiones de polaridad, lo que refleja la compleja dinámica eléctrica del sistema convectivo que lo origina.

En este trabajo se presentan observaciones obtenidas por dos instrumentos: un medidor de campo eléctrico superficial (CS110 Electric Field Meter, Campbell Scientific Inc.) y un sensor desarrollado en el Grupo de Física de la Atmósfera de FaMAF-UNC, diseñado para medir la carga eléctrica y la velocidad de caída de las gotas de lluvia (Pereyra et al., 2025). El objetivo principal fue comparar el campo eléctrico medido en superficie con el estimado a partir de una precipitación compuesta por gotas con las características eléctricas observadas.

2) DATOS EXPERIMENTALES

En la Figura 1 se presentan los datos experimentales correspondientes a las tormentas ocurridas el 18 y el 23 de diciembre de 2024, en la Ciudad Universitaria de Córdoba, Argentina. Las Figuras 1(a) y 1(b) muestran los campos eléctricos medidos, mientras que las Figuras 1(c) y 1(d) exhiben las cargas de las gotas registradas durante los períodos con precipitación de cada una de las tormentas, respectivamente.

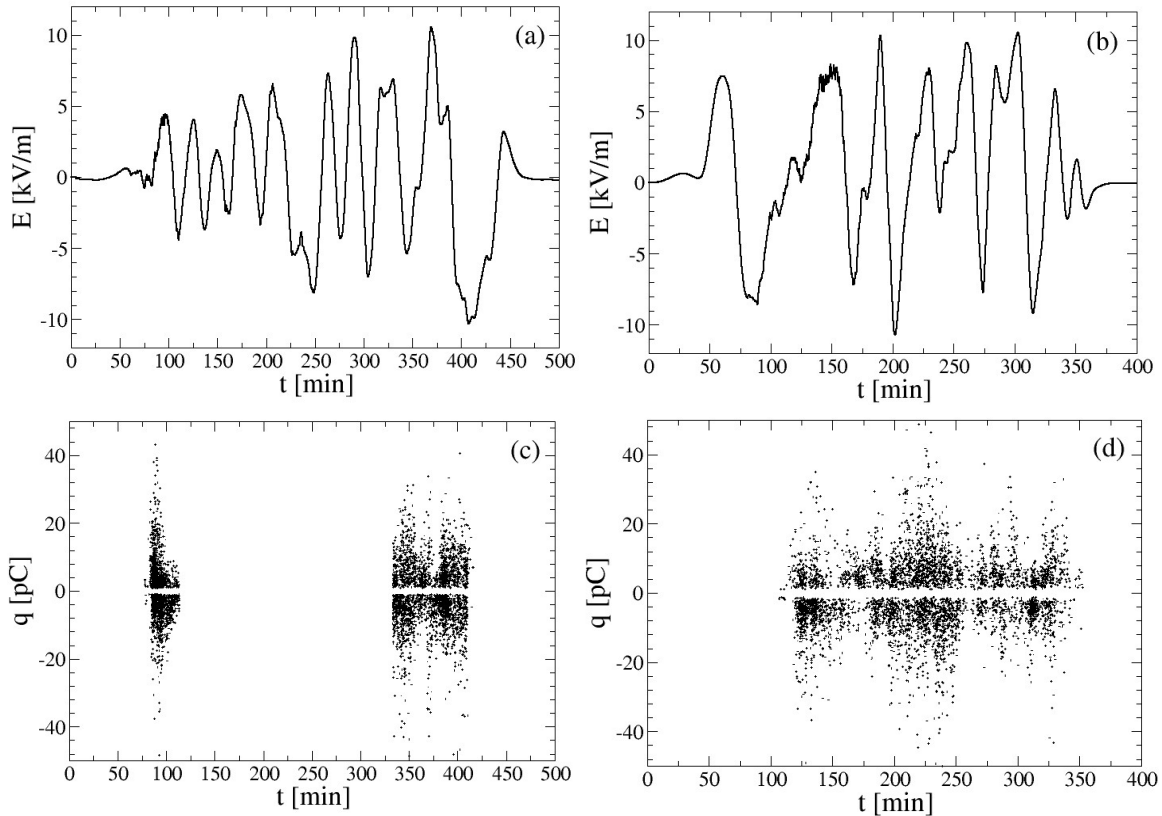


Figura 1. Campo eléctrico medido durante las tormentas del 18/12/24 (a) y 23/12/24 (b). Carga eléctrica de las gotas registrada durante la precipitación correspondiente al 18/12/24 (c) y al 23/12/24 (d). El tiempo 0 min en cada gráfico corresponde a las 08:15 para el 18/12/24 y a las 21:30 para el 23/12/24, respectivamente.

3) CÁLCULO DEL CAMPO PRODUCIDO POR LAS GOTAS CARGADAS

Para cada gota se conoce el instante en que llega al suelo, $t(h_0)$, así como su carga eléctrica $q(h_0)$ y su velocidad de caída $v(h_0)$, siendo h_0 la altura sobre el nivel del mar del sitio de medición. Para reconstruir la trayectoria de caída de cada gota, se determina el instante en que la misma se encontraba a una altura h , utilizando la siguiente integración: $t(h) = t(h_0) - \int_{h_0}^h \frac{dh}{v(h)}$, donde $v(h)$ es la velocidad de caída que puede estimarse con la aproximación: $v(h) = \left[\frac{\rho(h_0)}{\rho(h)} \right]^{0.4} v(h_0)$, donde ρ es la densidad del aire en la tropósfera (Markowitz, 1976).

Asimismo, es posible estimar la carga en función de h usando la expresión: $q(h) = q(h_0) \exp\left(\frac{t(h_0)-t(h)}{\tau_r}\right)$, donde τ_r es el tiempo de relajación de la descarga.

Discretizando el espacio en capas horizontales $\dots, h_{i-1}, h_i, h_{i+1}, \dots$, y al tiempo en intervalos $\dots, t_{j-1}, t_j, t_{j+1}, \dots$, se calculó el campo eléctrico en cada instante mediante la siguiente suma discreta:

$E(t_j) = -\frac{1}{2\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \sigma(h_i, t_j)$, donde $\sigma(h_i, t_j)$ es la densidad superficial de carga de cada plano estimada a partir de la información reconstruida para todas las gotas medidas.

4) RESULTADOS

En las Figuras 2(a) y 2(b) se comparan los campos eléctricos medidos directamente con los calculados a partir de las gotas de lluvia cargadas. Si bien las curvas no coinciden exactamente, se observa una buena correspondencia en cuanto a la magnitud y el signo durante varios tramos temporales. Es destacable que, a pesar de las simplificaciones asumidas en el cálculo y de la limitada cantidad de datos disponibles, la evolución temporal del campo estimado resulta muy similar a la observada. Este resultado sugiere que la variación temporal de la densidad de carga en la precipitación influye marcadamente en el comportamiento del campo eléctrico superficial.

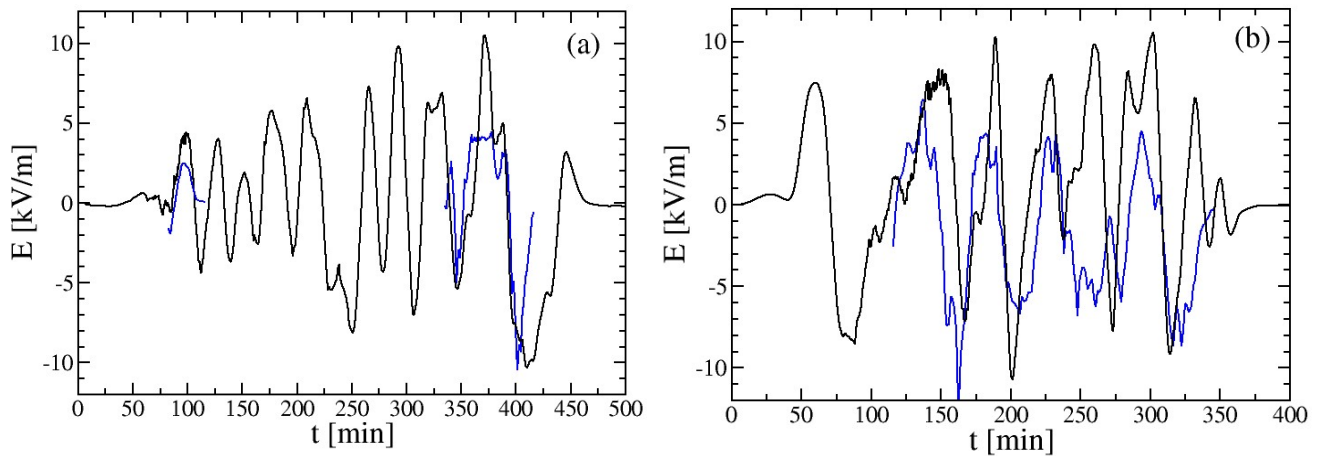


Figura 2: Comparación entre el campo eléctrico medido (línea negra) y el calculado (línea azul) para el 18/12/24 (a) y 23/12/24 (b).

REFERENCIAS

- Ávila E. E. y Pereyra R. G., 2000: Charge transfer during crystal-graupel collisions for two different cloud droplet size distributions. *Geophysical Research Letters*, 27, 3837-3840.
- Markowitz A. H., 1976: Raindrop Size Distribution Expressions. *Journal of Applied Meteorology*, 15, 1029-1031.
- Pereyra R.G. y Ávila E. E., 2002: Charge transfer measurements during single ice crystal collisions with a target growing by riming. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107, AAC 23-1-AAC 23-9.
- Pereyra R. G., Martínez L. B. y Ávila E. E., 2025: New experimental device for measuring electrical charge of precipitation particles. *Atmósfera*, 39, 283-295.