

Campo eléctrico de un cumulonimbus situado en el centro de su proyección en la superficie terrestre

Aníbal Seminario García. Graduado en Ing. de Recursos Mineros y Energéticos.

Master en Ciencias y Tecnología de los Materiales. Doctor en Materiales por la Universidad de Oviedo



Se describe una posible distribución de las cargas del campo eléctrico de un cumulonimbus situado en el centro de su proyección en la superficie terrestre. Dicha distribución consiste en cargas negativas en la base de la nube, otra positiva en la cima y por último una concentración de cargas positivas y negativas a lo largo y ancho de la nube.



INTRODUCCIÓN

Gracias a los científicos Malan, Schonlans (1947) y Kasemir (1965) , se estableció que la estructura de una nube de tormenta es Tripolar. Su configuración consiste en una zona de carga negativa en el centro, otra de carga positiva en la cima y una tercera, también positiva, situada en la base de la nube pero de menor cuantía.

En este artículo se describe otra posible distribución de las cargas y consiste: Cargas negativas en la base de la nube, otra positiva en la cima y por último una concentración de cargas positivas y negativas a lo largo y ancho de la nube (Figura 1).

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

Definimos las concentraciones de cargas por sus densidades superficiales y volumétricas, estableciendo los siguientes criterios:

- Densidad superficial de carga negativa en la base de la nube. Imaginamos la nube como un cilindro de radio **R** y altura **N** tal y como indica la figura 1.

El diferencial de carga en la base es:

$$dq_1 = \varphi_s^- \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \quad (1)$$

- Densidad volumétrica de carga en un volumen elemental de forma cilíndrica parecida a la nube. El signo dependerá si en el volumen total prevalece carga positiva o negativa.

El diferencial de carga es:

$$dq_2 = \varphi_v \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot dz \quad (2)$$

- Densidad superficial de carga positiva en la cima de la nube.

El diferencial de carga es:

$$dq_3 = \varphi_s^+ \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \quad (3)$$

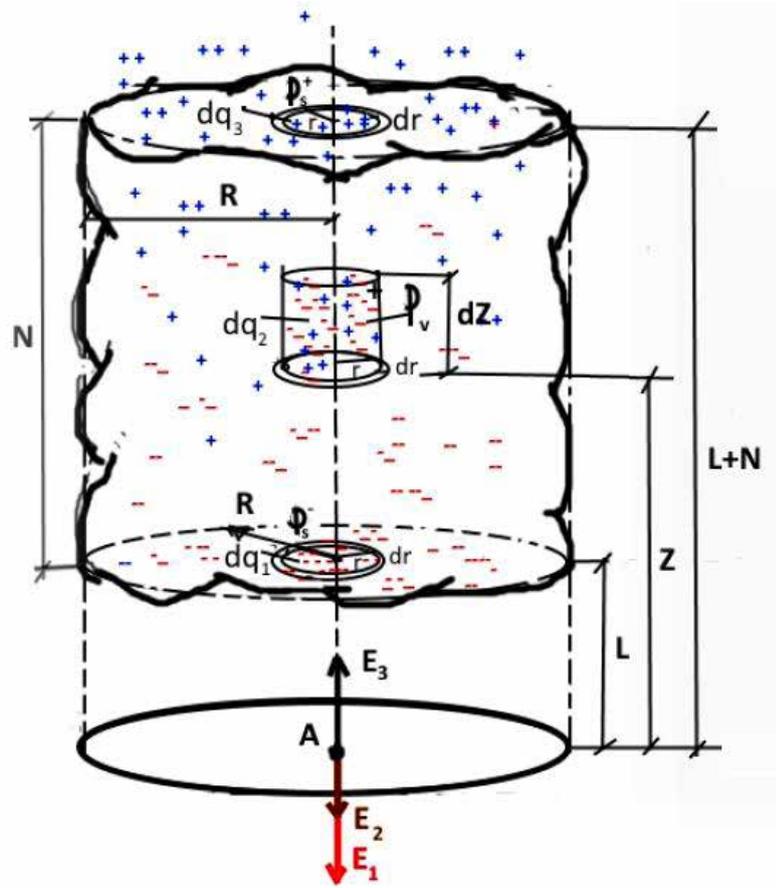


Figura 1. Distribución de cargas

CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO

El campo eléctrico total, en el punto A de la figura 1, es la suma de los campos parciales debido a sus cargas elementales:

$$dE_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{dq_1}{l^2};$$

$$dE_2 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{dq_2}{Z^2};$$

$$dE_3 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{dq_3}{(l+N)^2}$$

Donde *l* representa la distancia en metros desde el suelo hasta la base de la nube, *N* es la altura (m) de la nube de tormenta y *Z* la altura (m) desde el suelo hasta el elemento diferencial de volumen.

Empleando las ecuaciones de la electrostática tenemos:

$$E_T = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \left[\frac{2 \cdot \pi \cdot \varphi_s^-}{l^2} \cdot \int_0^R r \cdot dr + 2 \cdot \pi \cdot \varphi_v \cdot \iint_{0,l}^{R,(l+N)} \frac{r \cdot dr \cdot dz}{z^2} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \varphi_s^+}{(l+N)^2} \cdot \int_0^R r \cdot dr \right]$$

Aplicando el método de la imagen y resolviendo las integrales correspondientes se llega al siguiente resultado de campo eléctrico en el punto A:

$$E_A = \frac{R^2}{2 \cdot \epsilon_0} \cdot \left[\frac{\varphi_s^-}{l^2} + \frac{N \cdot \varphi_v}{l \cdot (l+N)} + \frac{\varphi_s^+}{(l+N)^2} \right] \quad (4)$$

Esta expresión es interesante por relacionar el campo eléctrico con las densidades de carga superficiales y volumétricas de un cuerpo similar a un cumulonimbo.

La ecuación (4) podemos transformarla considerando el parámetro α como la relación entre densidades superficiales de la base y cima de la nube.

$$\alpha = \frac{-\varphi_s^-}{\varphi_s^+} \rightarrow \varphi_s^- = -\alpha \cdot \varphi_s^+ \quad (5)$$

Por otra parte el radio de la nube lo expresamos en función de su diámetro: $R = D/2$.

Sustituyendo estos últimos valores en (4) y haciendo operaciones obtenemos:

$$E_A = \frac{D^2}{8 \cdot \epsilon_0} \cdot \left[\varphi_s^+ \cdot \frac{l^2 - \alpha \cdot (l+N)^2}{l^2 \cdot (l+N)^2} + \varphi_v \cdot \frac{N}{l \cdot (l+N)} \right] \quad (6)$$

El parámetro α es una característica de la nube y explica el comportamiento de ésta. Según el valor de α obtenemos cuatro fases:

- **Primera Fase:** $\alpha = 0$. Nos indica que no tenemos cargas negativas en la base de la nube, solo se obtienen cargas positiva en la zona superior. En esta fase, de poca duración, las cargas positivas situadas en la zona central de la nube son transportadas por corrientes ascendentes a la cima de la nube. Este proceso se parece a la Hipótesis de Convección, modelo que formuló Gaston Grenet y Bernad Vanne Gut (1947,1853), pero sin carga negativa.

La ecuación (6) queda

$$E_A = \frac{D^2}{8 \cdot \epsilon_0} \cdot \left[\frac{\varphi_s^+}{(l+N)^2} + \varphi_v \cdot \frac{N}{l \cdot (l+N)} \right] \quad (7)$$

- **Segunda Fase:** $0 < \alpha < 1$. Es una situación normal. Se crean más cargas positivas que negativas, las primeras terminan siendo movidas por corrientes ascendentes a la parte superior de la nube, las otras debido a su mayor peso se precipitan a la parte inferior. A medida que se acumulan partículas positivas en la cima de la nube parte de ellas se incorporan a la alta atmósfera creando el gran circuito global.

Esta fase dura más tiempo que la anterior y en ella se origina el mayor número de descargas a tierra.

Un parámetro influyente en la producción de cargas eléctricas es la propia altura **N**. En general cuanto más se acerca a cero α , la altura de la nube es más elevada y hay mayor producción de cargas positivas que negativas. En cambio si α se aproxima a la unidad, la altura **N** es de escaso crecimiento y su producción de carga negativa es parecida a la positiva, aunque de menor cuantía.

La ecuación de campo es la misma que en (6).

Circuito Global: consiste en crear cargas positivas a través de los cumulonimbos, parte de ellas se trasladan a la alta atmósfera y en zonas anticiclónicas se van descargando mediante corrientes de retorno (entre la tierra y la alta atmósfera hay una diferencia de potencial de unos 300 KV en zonas anticiclónicas). Por otro lado en la base de la nube se almacenan cargas negativas y debido a intensos campos eléctricos se abren camino a través de la atmósfera creando



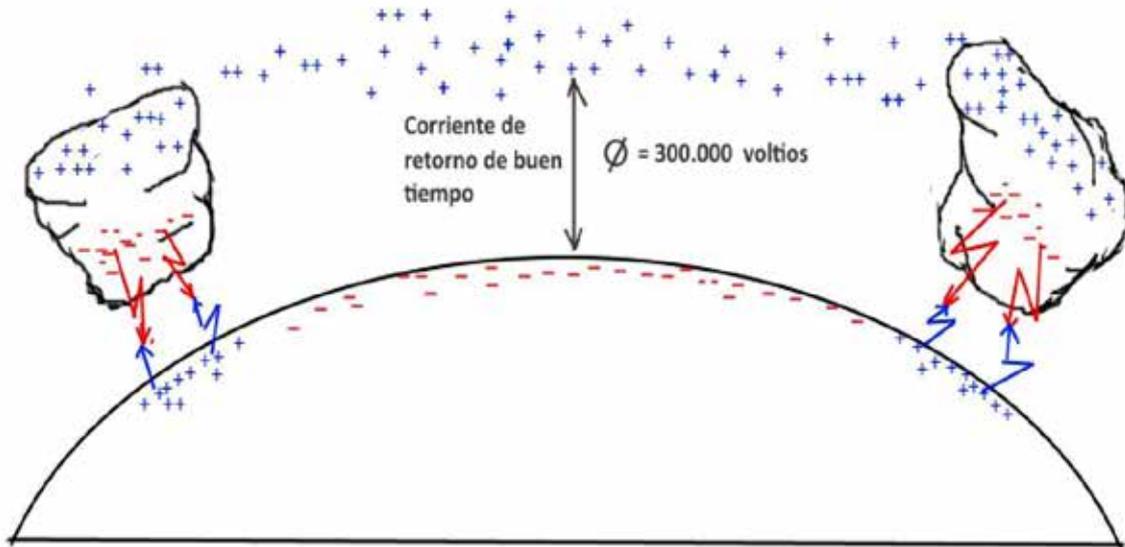


Figura 2. Circuito Global

CONCLUSIONES

Los factores determinantes en un cumulonimbos que influyen en el campo eléctrico son: por una parte sus dimensiones (**N** y **D**) y por otra la densidad volumétrica de carga y el parámetro α . Con la densidad volumétrica se generan cargas eléctricas positivas y negativas e irán distribuyéndose en diferentes lugares de la nube. El parámetro α establece una relación entre densidades superficiales de carga positiva y negativa, según su valor obtendremos un exceso de cargas positivas o negativas en zonas determinadas de la nube y dependiendo de su posición se producirán descargas a tierra o entre distintos puntos de la propia nube. ■

el Rayo Líder Descendente (RLD). Las tormentas eléctricas son las baterías del circuito eléctrico global y los verdaderos generadores de cargas eléctricas (figura 2).

- **Tercera Fase:** $\alpha = 1$. Las densidades superficiales de carga son iguales pero de signo contrario, implica que la carga en la cima de la nube es igual a la existente en la base. Con esta situación las cargas se posicionan y terminan equilibrándose mediante los relámpagos.

La ecuación de campo queda:

$$E_A = \frac{(D/l)^2}{8 \cdot \epsilon_0} \cdot \left[\varphi_v \cdot \frac{N-l}{l+N} - \varphi_s^+ \cdot \left(1 - \frac{l^2}{(l+N)^2} \right) \right] \quad (8)$$

- **Cuarta fase:** $\alpha > 1$. Se producen más cargas negativas que positivas.

En este caso la densidad superficial de carga negativa es mayor que la creada positiva en la cima del cumulonimbos. Es la fase de grandes tormentas, de enormes dimensiones y con un elevado número de Rayos.

La ecuación de campo es la misma que en (6).

BIBLIOGRAFÍA

Malan, D.J., Schonland, B.F.J., "Progressive Lightning: Diectly correlation photography an electrical studies of Lightning near from thunderstorms", Proc. Royal Society, Vol. A191, London, 1947, pp.513-523

Schonland, B.F.J., " The Lightning Discharges", Handbuch der Physic, Springer Verlag, Vol.XXII, Berlín , 1956, pp. 576-628

David K. Cheng, " Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería". Pearson Educación. Addison-Wesley Longman de México. 1998, pp. 76-77

Earle R. Williams, "Investigación y Ciencia.Tema 12: La Atmósfera", 1998, artículo "Electrificación de las tormentas", pp 42-52