

El comulonimbus como una variedad de plasma. Frecuencia de una nube de tormenta y su influencia al paso de ondas electromagnéticas

Aníbal Seminario García. Graduado en Ingeniería de Recursos Mineros y Energéticos. Máster en Ciencias y Tecnología de los Materiales. Doctor en Materiales por la Universidad de Oviedo.

Este artículo está basado en otro publicado en la revista Colminas en noviembre 2015 [7]. Con este estudio se pretende demostrar que una nube de tormenta tiene cierto parecido a un plasma. El Comulonimbus es una nube de gran desarrollo vertical que está compuesta de una serie de células bastantes juntas y casi independientes entre sí. Una célula es un volumen de aire limitado en la dirección horizontal y vertical en la cual ocurren procesos de corrientes ascendentes y descendentes de aire tibio y húmedo [1]. En este proceso se producen choques entre partículas de agua y hielo dando origen a cargas positivas y negativas.





1. INTRODUCCIÓN.

En general las cargas positivas se sitúan en la parte superior de la nube y las negativas en la zona inferior, a excepción de una pequeña región donde se concentran cargas positivas. A continuación se describe varios modelos que explican la estructura dipolar de una nube de tormenta:

- Hipótesis de la Precipitación: propuesta por los físicos Julios Ulster y Hans Gaité en 1881.

Este modelo se basa en que las gotas grandes caen por gravedad mientras que las pequeñas permanecen en suspensión en el aire. Las colisiones e impactos entre partículas hacen que se carguen eléctricamente, de forma que las gotas grandes se carguen negativamente y debido a su peso pasan a la parte inferior de

la nube, mientras que las partículas pequeñas pierden electrones, cargándose positivamente subiendo a la parte superior de la nube por corrientes ascendentes.

- Hipótesis de la Convección: este modelo lo formuló Gastón Gente y Bernard Vane Gutí (1947 y 1953).

Esta teoría nos dice que las cargas negativas y positivas vienen de dos fuentes: una procede de los rayos cósmicos y la otra de los campos eléctricos originados en tierra. Los rayos cósmicos inciden sobre las moléculas de aire situadas por encima de la nube ionizándolas dando lugar a cargas positivas y negativas. Por otra parte el campo eléctrico originado por las zonas puntiagudas de la superficie terrestre originan iones positivos que son arrastrados por el aire caliente hacia la zona superior de la nube, como en la cinta de Van de Graf (8).

Los iones positivos atraen a los negativos, formados por la acción de los rayos cósmicos, los cuales penetran en las gotas o cristales de hielo adquiriendo carga negativa. Éstas debido a corrientes descendentes en la periferia de la nube son transportadas hasta su base quedando cargada negativamente. De esta forma la nube queda como un dipolo eléctrico positivo.

Actualmente gracias a los científicos Mallan, Schonland y Kasemir (2) (3) y (4) se establece una estructura de nube de tormenta tripolar. Esta nueva configuración consta de una región de carga positiva en el centro, con otra de cargas positivas encima y una tercera de menos cuantía por debajo. La característica más notable de la zona con carga negativa es su forma de torta, cuyo espesor alcanza los 1000 m y de extensión en función del diámetro de la nube. La zona está situada a unos 5 o 6 km de la superficie terrestre con temperaturas de -15°C .

Una vez formada la separación de cargas se originan grandes campos eléctricos que llegan a superar la rigidez dieléctrica local produciéndose la descarga.

Denominamos rayos a la descarga entre nube y tierra, que se inicia y progresa en forma de guía transportando corriente negativa de miles de amperios. Cuando está cerca de la tierra (del orden de 100 a 200 m de distancia) se inicia desde el suelo una chispa o guía ascendente, de carga positiva, en busca del rayo descendente. Una vez que se juntan bajan por el canal de descarga miles de amperios (entre 10 K_A a 100 K_A).

Se llama relámpago a las descargas dentro de la propia nube, suelen ser más frecuentes y extensas.

2. FRECUENCIA DELA NUBE

Estas reflexiones están basadas en las vibraciones del plasma expuesto por Richard Feynman, Robert B. Leighton y Matthew Sands (6) en su volumen dedicado a electromagnetismo y materia.

Se pretende explicar cómo la nube de tormenta se comporta, a veces, como un plasma capaz de alterar el paso de ondas electromagnéticas.

Una vez cargada la nube con sus respectivos polos positivo y negativo denominaremos:

a) Densidad volumétrica de carga+ a la cantidad de carga positiva por unidad de volumen. Estas partículas cargadas se van acumulando en la parte superior de la nube. En esa región tenemos:

$$\varphi_{v_i}^+ = \frac{n_0^+ \cdot q}{v_i} \quad (1)$$

$\varphi_{v_i}^+$ = densidad volumétrica de carga positiva

n_0^+ = número de partículas positivas

v_i = volumen inicial, que equivale a: $v_i = \Delta z$ siendo s = área de la base de la nube.

q = carga eléctrica de la partícula

La expresión anterior queda:

$$\varphi_{v_i}^+ = \frac{n_0^+ \cdot q}{s \cdot \Delta z} \quad (2)$$

b) Densidad volumétrica de carga-: cantidad de carga negativa por unidad de volumen. Estas partículas se concentran en la zona inferior de la nube o en la zona intermedia.

$$\varphi_{v_i}^- = \frac{n_0^- \cdot q}{\Delta z \cdot s} \quad (3)$$

$\varphi_{v_i}^-$ = densidad volumétrica de carga negativa

n_0^- = número de partículas negativas

v_i = volumen inicial igual al producto $\Delta z \cdot s$; siendo s = superficie de la base nube.

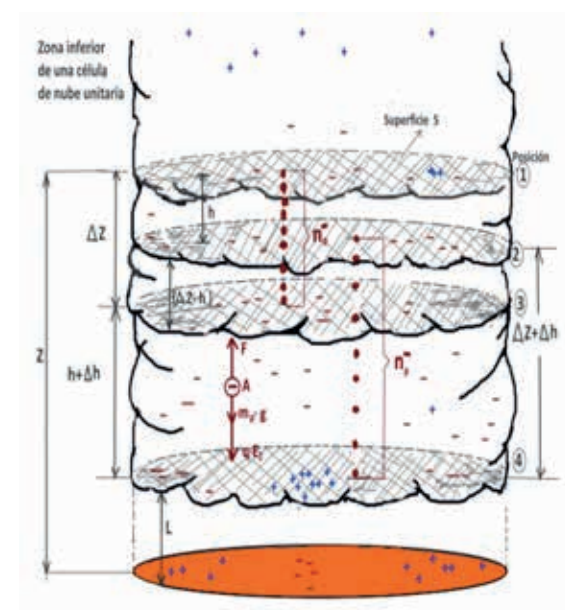


Figura 1. Comportamiento de las cargas negativas en la zona inferior de la nube.



En adelante nos situaremos en la parte inferior de la nube de carga negativa tal y como indica la figura 1.

La nube se va extendiendo según el eje vertical Z y llegará un momento que alcance la posición (4), en ese instante tenemos:

$$\varphi_{vf}^- = \frac{n_0^- \cdot q}{s \cdot (\Delta z + \Delta h)} \quad (4)$$

Definimos el número de partículas negativas (n_0^-) como:

$$n_0^- = n_p \cdot \Delta z \quad (5)$$

Donde n_p = número de partículas negativas por unidad de longitud.

Sustituyendo el valor de n_0^- en (3) y (4) obtenemos respectivamente:

$$\varphi_{vi}^- = \frac{n_p}{s} \cdot q \quad \text{y} \quad \varphi_{vf}^- = \frac{n_p \cdot \Delta z \cdot q}{s \cdot (\Delta z + \Delta h)} ;$$

la diferencia de densidades φ_v^- es

$$\varphi_v^- = \varphi_{vi}^- - \varphi_{vf}^- = \frac{n_p}{s} \cdot q - \frac{n_p \cdot \Delta z}{s \cdot (\Delta z + \Delta h)} \cdot q ;$$

haciendo operaciones se llega

$$\varphi_v^- = \frac{n_p \cdot q}{s} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \Delta h / \Delta z} \right) = \frac{n_p \cdot q}{s} \cdot$$

$$[1 - (1 + \Delta h / \Delta z)^{-1}] ,$$

según el binomio de Newton, el valor:

$$(1 + \Delta h / \Delta z)^{-1} \sim (1 - \Delta h / \Delta z).$$

La densidad volumétrica queda:

$$\varphi_v^- = \frac{n_p \cdot q}{s} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta z} ,$$

pasando a diferenciales obtenemos finalmente

$$\varphi_v^- = \frac{n_p \cdot q}{s} \cdot \frac{dh}{dz} \quad (6)$$

Según Maxwell la divergencia del campo eléctrico es:

$$\nabla \cdot E = \frac{\varphi_v}{\epsilon_0} \quad (7)$$

En el caso de una nube de tormenta sólo consideraremos la componente vertical, por tanto, la expresión de Maxwell queda:

$$\frac{dE_z}{dz} = \frac{-\varphi_v}{\epsilon_0} \quad (8)$$

Sustituyendo la densidad volumétrica por su valor tenemos:

$$\frac{dE_z}{dz} = -\frac{n_p \cdot q}{\epsilon_0 \cdot s} \cdot \frac{dh}{dz} \rightarrow dE_z = -\frac{n_p \cdot q}{\epsilon_0 \cdot s} \cdot dh$$

Integrando

$$E_z = -\int \frac{n_p \cdot q}{\epsilon_0 \cdot s} \cdot dh = -\frac{n_p \cdot q}{\epsilon_0 \cdot s} \cdot h + c_1$$

Para $h = 0$, el campo E_z es nulo pues suponemos que no hay cargas, por tanto $c_1 = 0$.

El campo eléctrico según el eje z:

$$E_z = -\frac{n_p \cdot q}{\epsilon_0} \cdot h \quad (9)$$

$$\text{Donde } n_p = \frac{n_p}{s}$$

(número de partículas por unidad de volumen), h = distancia entre las posiciones (1) y (2) (ver figura 1).

En el punto "A" de la figura 1, una partícula cargada eléctricamente está sometida a una serie de fuerzas y son:

–Peso de la propia partícula: $\mathbf{P} = m_p \cdot \mathbf{g}$, donde m_p = masa de la partícula

–Fuerza que ejerce el campo eléctrico sobre la partícula cargada: $\mathbf{F}_q = q \cdot \mathbf{E}_z$

–Fuerza que suministra la aceleración de las partículas cargadas debido a los fuertes vientos ascendentes (o descendentes) en el interior de la nube: $\mathbf{m}_p \cdot \mathbf{a}$, donde a = aceleración.

En una posición de equilibrio tenemos:

$$q \cdot E_z + m_p \cdot g = m_p \cdot a$$

La fuerza del campo queda:

$$m_p \cdot (a - g) = q \cdot E_z \quad (10)$$

La diferencia de las aceleraciones puede representarse como la variación de la velocidad respecto al tiempo en la zona inferior de la nube de longitud h ; es decir:

$$m_p \cdot (a - g) = q \cdot E_z = m_p \cdot \frac{d^2 h}{dt^2} \quad (11)$$

(11)

Ecuación fundamental del desplazamiento de la partícula en el interior de la nube de tormenta.

Partiendo de la expresión (11) tenemos tres posibles igualdades y son:

- Primera igualdad: $q \cdot E_z = m_p \cdot \frac{d^2h}{dt^2}$

sustituyendo E_z por su valor en (9) y haciendo operaciones se llega a la siguiente ecuación diferencial

$$m_p \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{n_p \cdot q^2}{\epsilon_0 \cdot s} \cdot h = 0 \quad (12)$$

Su resolución nos da el desplazamiento h de la partícula cargada, que resulta ser un movimiento oscilatorio armónico:

$$h = h_0 \cdot \cos w \cdot t + \frac{v_0}{w} \cdot \sin w \cdot t \quad (13)$$

Derivando esta ecuación respecto al tiempo obtenemos la velocidad de la partícula

$$v = v_0 \cdot \cos w \cdot t - h_0 \cdot w \sin w \cdot t \quad (14)$$

h = desplazamiento de la partícula

v = velocidad de la partícula

h_0 = desplazamiento inicial de la partícula

v_0 = velocidad inicial de la partícula

w = FRECUENCIA DEL PLASMA. Es un número característico del plasma que depende fundamentalmente del número de partículas por unidad de volumen, su valor es:

$$w = \sqrt{\frac{n_v \cdot q^2}{\epsilon_0 \cdot m_p}} \quad (15)$$

n_v = número de partículas/ volumen

La frecuencia w también puede considerarse como una particularidad de una nube de tormenta, por tanto cada vez que mencionemos la frecuencia de una nube coincide con la misma expresión que empleamos para describir la frecuencia del plasma.

Dependiendo del valor w habrá frecuencias de ondas electromagnéticas que atraviesen la nube fácilmente, mientras que otras se reflejan.

• Segunda igualdad: $m_p \cdot (a - g) = m_p \cdot \frac{d^2h}{dt^2}$; resolviendo esta ecuación diferencial se obtiene el siguiente resultado

$$h = (a - g) \cdot \frac{t^2}{2} + v_0 \cdot t + h_0 \quad (16)$$

• Tercera igualdad: $m_p \cdot (a - g) = q \cdot E_z$; sustituyendo E_z por su valor se llega a:

$$(a - g) = -w^2 \cdot h \quad (17)$$

Sustituyendo esta expresión en la anterior (16) y despejando el desplazamiento h tenemos:

$$h = \frac{v_0 \cdot t + h_0}{1 + w^2 \cdot \frac{t^2}{2}} \quad (18)$$

3. DESPLAZAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS CARGADAS EN EL SENO DE UNA NUBE.

Podemos resumir que el desplazamiento (h) de las partículas cargadas en un cumulonimbo sigue dos posibles trayectorias:

a) Según las reglas del movimiento oscilatorio armónico, el desplazamiento h se comporta según la expresión (13). El movimiento de las partículas en un plasma actúa tal y como indica la figura 2, se observa que con una frecuencia constante las vibraciones pueden mantenerse durante largos periodos de tiempo.

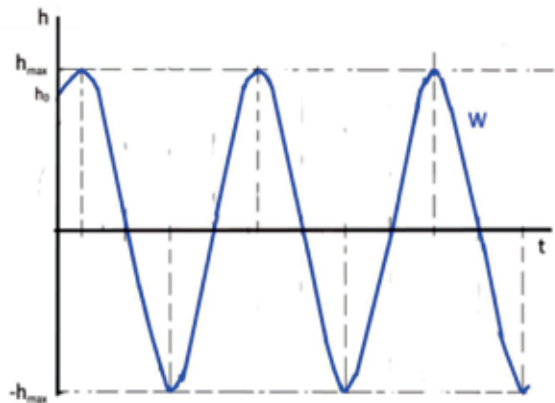


Figura 2. Movimiento oscilatorio armónico.

b) Las gotas siguen un movimiento no armónico. Las partículas están sometidas a varias fuerzas: la del viento, la del campo eléctrico y la del propio peso de la partícula. Del resultado de esta combinación se obtiene un desplazamiento que está en función de la frecuencia (w) y del tiempo (t) representado por la ecuación (18).

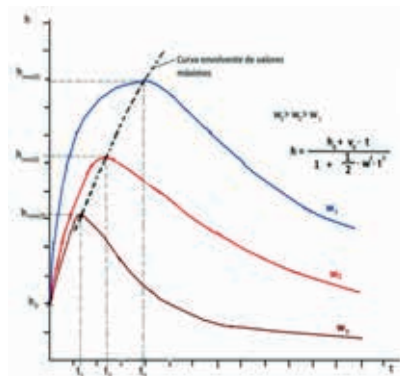


Figura 3. Desplazamiento de las partículas cargadas en el seno de una nube.



En realidad una nube no es un plasma donde las moléculas vibran. El movimiento de sus gotas se parece más al desarrollado en la figura (3). Además en el supuesto caso que no haya partículas cargadas eléctricamente, la frecuencia se hace nula y el desplazamiento se comporta linealmente siguiendo la ecuación general del movimiento:

$$h = h_0 + v \cdot t$$

El movimiento de un paquete de partículas cargadas en el seno de una nube de tormenta puede describirse de la siguiente manera (Figura 4):

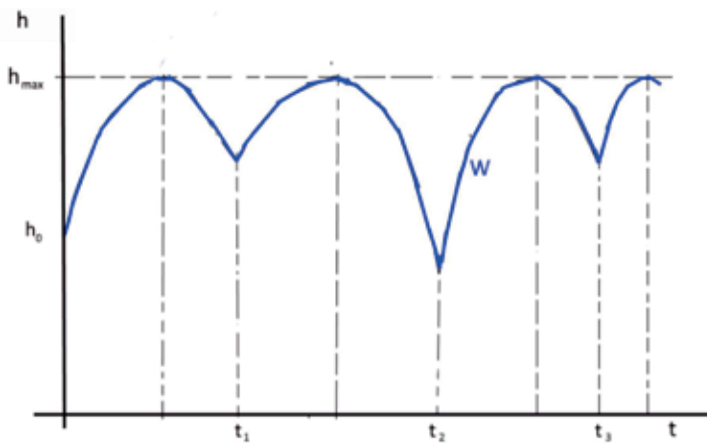


Figura 4. Movimiento de un paquete de partículas cargadas en una nube.

Partimos con un desplazamiento inicial (h_0) y una frecuencia (w) determinada. Las partículas se mueven alcanzando un máximo, a continuación su desplazamiento disminuye y al cabo de un tiempo breve t_1 vuelve a adquirir un nuevo impulso (bien por la acción de otro paquete de partícula o por el choque con otros) alcanzando su valor máximo h_{max} para descender en el tiempo t_2 , así sucesivamente hasta que se produzca la descarga en forma de rayo.

Una de las características de este comportamiento es su breve periodo de tiempo. Todos los intervalos: t_1-0 ; t_2-t_1 ; t_3-t_2 ; etc. Son muy pequeños. También debemos reseñar que puede haber una variación en la frecuencia como consecuencia de un cambio en la densidad de partículas por unidad de volumen (n_v), en cambio la unidad de carga (q) se mantiene constante.



4. VALOR MÁXIMO DE DESPLAZAMIENTO.

Si calculamos los valores máximos, para un tiempo determinado, en los diferentes casos de movimiento, tenemos:

a) Para un movimiento oscilatorio armónico (plasma)

$$h_{max} = \left(h_0 + \frac{v_0^2}{h_0 \cdot w^2} \right) \cdot \cos \left(actg \frac{v_0}{h_0 \cdot w} \right) \quad (19)$$

b) Para un movimiento no armónico (nube)

$$h_{max} = \frac{h_0}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + 2 \cdot v_0^2 / h_0^2 \cdot w^2} \right) \quad (20)$$

Tanto si empleamos una expresión como la otra, para grandes frecuencias se tiende a desplazamientos pequeños (y periodos de tiempo cortos). Al contrario si la frecuencia disminuye, siendo esta muy pequeña, la amplitud se hace muy grande (lo mismo que para el periodo de tiempo), y a medida que tiende a cero el valor h_{max} se aproxima al infinito.

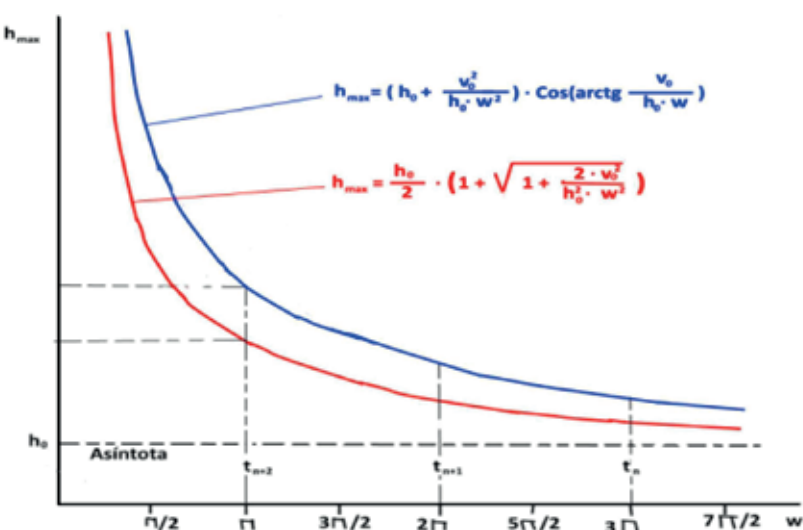


Figura 5. Desplazamiento máximo de partículas en un plasma y una nube.

Si hay muchas vibraciones (amplitud muy pequeña), la nube no deja pasar determinadas ondas electromagnéticas. Su comportamiento es como un muro que impide que ondas de menor frecuencia la atraviesen, en este caso las ondas se reflejan

Si hay pocas vibraciones, la amplitud es grande, lo más lógico es que las partículas o bien terminen en el suelo o se pierdan en las capas altas de la atmósfera, además no impiden el paso de ondas electromagnéticas.

Otro aspecto a tener en cuenta es la propia frecuencia (w) que está en función de dos parámetros: una es la concentración de partículas cargadas eléctricamente por unidad de volumen y cuanto mayor sea más vibraciones, la otra es la influencia del peso de la propia partícula, a mayor peso menor frecuencia.





5. CONCLUSIONES

Es de suponer que en una nube hay diferentes zonas con distintas concentraciones de partículas cargadas; es decir, existen varias frecuencias en una misma nube. Esta situación explicaría cómo, en grandes tormentas, dificulta la transmisión de ondas electromagnéticas y por consiguiente altera las redes de comunicación de baja y media frecuencia. ■

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Richard Feynman, Robert B. Leighton y Matthew Sands. "Física, Volumen II: Electromagnetismo y Materia". Pearson Educación. Capítulo 9, apartado 4. 1998.
- (2) H. Torres "El rayo, mitos, leyendas, Ciencia y Tecnología". Bogota, Unibiblos, 2002, 4110 p; pp. 67-69.
- (3) Malan, D.J., Schonland, B.F.J., "Progressive Lightning Directly correlation photographyan electrical studics of lightning near from thunderstorms, Proc.Rotal Society, Vol.A 191, London, 1947, pp. 513-523.
- (4) Schonland, B.F.J., "The Lightning Discharges", Handbuch der Physic, Springer-Verlag, Ed., ed Berlín, 1956, pp. 576-628.
- (5) Earle R. Williams, "Investigación y Ciencia. Tema 12: La Atmósfera", 1998, artículo "Electrificación en tormentas", pp.42-52
- (6) Richard Feynman, Robert B. Leighton y Matthew Sands. "Física, Volumen II: Electromagnetismo y Materia". Pearson Educación. Capítulo 7, apartado 7-3. 1998.
- (7) Aníbal García seminario. "Tormentas Eléctricas: Frecuencia de la nube". Revista Colminas-Colegio de Ing.T. de Minas del Principado de Asturias-. Nº 31- Noviembre 2015, pp. 19-21.
- (8) Francis W. Sears, "Fundamentos de Física II Electricidad y Magnetismo". Aguilar. Madrid 1958, pp. 77-79.