

UN CAMINO ALTERNATIVO PARA EL ESTUDIO DE LA ELECTRIFICACIÓN DE TORMENTAS MODELO Y RESULTADOS PRELIMINARES

M.Pulido^{*1}, S.Masuelli², M.Scavuzzo, G.Caranti

Facultad de Matemática Astronomía y Física (FaMAF)-Universidad Nacional de Córdoba

Ciudad Universitaria (5000)-Córdoba-Argentina

e-mail: pulido@roble.fis.uncor.edu

Mediante un modelo numérico se simula la trayectoria, crecimiento y cargado de un embrión de granizo dentro de una nube de tormenta. La carga eléctrica del graupel está acoplada con la trayectoria, en esta primera etapa del trabajo, sólo a través de la fuerza eléctrica en la que interviene el campo eléctrico de la tormenta. Para calcular el cargado colisiones hielo-hielo son simuladas entre el granizo y ocho categorías de cristales. En este trabajo se presenta el modelo así como los resultados preliminares.

Trajectories, growth and charging of a hailstone embryo inside a thundercloud are simulated numerically. The electrical forces on the growing particle are included in the calculation of the trajectory but only using the field interpolated at the hailstone position. The charging of the hailstone arises from the collisions against eight ice particle categories it encounters in its path inside the cloud. In this work both the model and the preliminary results are presented.

1. INTRODUCCIÓN

Mediciones dentro de las nubes de tormentas electrificadas muestran que la carga sobre las partículas de precipitación es suficiente, en la mayor parte de la nube, para generar los campos eléctricos observados (Dye et al. ⁽¹⁾). Por otro lado es aceptado que la carga de una partícula de precipitación de hielo es debida principalmente a colisiones con partículas de hielo (Williams ⁽²⁾).

La carga separada durante una colisión entre un pequeño cristal y un graupel (partícula de hielo de baja densidad creciendo por acreción) depende del estado de las superficies de los hidrometeoros y entonces principalmente de dos parámetros ambientales, la temperatura T y el contenido de agua líquida LWC. Existen dos conjuntos de resultados experimentales, no totalmente de acuerdo entre sí, que reportan estas dependencias (Takahashi ⁽³⁾, Saunders et al. ⁽⁴⁾).

Varios modelos numéricos han sido desarrollados para estudiar la estructura eléctrica producida por este mecanismo de separación de carga (hielo-hielo, no inductivo) Norville et al. ⁽⁵⁾, Scavuzzo et al. ⁽⁶⁾, Scavuzzo y Caranti ⁽⁷⁾.

Este tipo de modelos son construidos representando las variables eléctricas y microfísicas (número de cristales de cada categoría y carga asociada a cada uno de estos) como valores medios dentro de una celda discreta de lado del orden de los 100 m, y así se cubre el dominio total con estas celdas. Por esto ningún detalle sobre individuos dentro de la celda pueden conocerse.

Por otro lado son muchos los trabajos donde el crecimiento de granizos dentro de nubes convectivas ha sido estudiado (Heymsfield ⁽⁸⁾, Castellano et al. ⁽⁹⁾, etc.). Una revisión de esta bibliografía puede llevarnos a la conclusión de que los efectos eléctricos en el crecimiento de partículas en sí, nunca han sido tenidos en cuenta en estos trabajos.

En este marco presentamos un modelo computacional para simular a la trayectoria del granizo (siguiendo el trabajo de Castellano et al. ⁽⁹⁾) pero asociando al crecimiento el cargado del granizo durante su estadía dentro de la tormenta. Aquí se presenta el modelo y algunos resultados preliminares.

2. EL MODELO

El modelo numérico desarrollado para este estudio esta basado en una nube tridimensional. El modelo de campo de viento utilizado es cinemático con algunas simplificaciones, el cual, fue presentado detalladamente en Scavuzzo y Castellano ⁽¹⁰⁾. El campo eléctrico de la nube es calculado a partir de los resultados obtenidos en Scavuzzo et al. ⁽⁶⁾. Los campos de viento y eléctricos están dados en una grilla de 32x32x32 puntos equiespaciados por una distancia de 500 m y son utilizados como datos de entrada, los cuales afectarán a la trayectoria de los granizos que es una de nuestros resultados.

La ecuación de movimiento de la partícula que se resuelve es:

* Autor a quién debe dirigirse la correspondencia.

¹ Actualmente Becario CONICOR.

² Becario SECYTUNC.

$$m \frac{d^2 \bar{x}_p}{dt^2} = \bar{F}_e + \bar{F}_d + m \bar{g}$$

donde m es la masa de la partícula, F_d es la fuerza de arrastre, g es la aceleración de la gravedad y F_e es la fuerza eléctrica en ese punto.

La expresión usada para el arrastre es la correspondiente a la fuerza aerodinámica sobre una esfera de radio r :

$$\bar{F}_d = \left(\frac{C_d Re}{24} \right) 6\pi\eta r (\bar{V} - \bar{V}_p)$$

donde C_d es el coeficiente de arrastre, Re es el número de Reynolds, η es la viscosidad dinámica del aire y V_p la velocidad de la partícula.

En este trabajo se ha utilizado el coeficiente de arrastre dado por Comes et al. ⁽¹¹⁾ que es válido para graupel medianos hasta varios mm., la expresión es una ley de potencias:

$$C_d = 6.23 Re^{-0.347}$$

Para cada paso del tiempo, $dt=10^{-1}$ s, se resuelve la ecuación de movimiento y se calcula el crecimiento de la masa por colección de gotas de agua y por difusión del vapor. Las expresiones utilizadas son las mismas que en Castellano et al. ⁽⁹⁾, donde la eficiencia de colección es sacada de la parametrización de Beard y Grover ⁽¹²⁾.

La expresión para la fuerza eléctrica es:

$$\bar{F}_e(x, y, z) = q \bar{E}(x, y, z)$$

donde q es la carga de la partícula y \bar{E} es el campo eléctrico calculado a partir de una interpolación de las 8 celdas en la vecindad del punto, pesados acorde a su distancia, dado que las trayectorias no necesariamente pasan por los puntos de grilla.

El mismo tipo de interpolación se uso para el contenido de agua líquida y campo de viento ($LWC(x,y,z)$ y $\bar{V}(x, y, z)$ respectivamente).

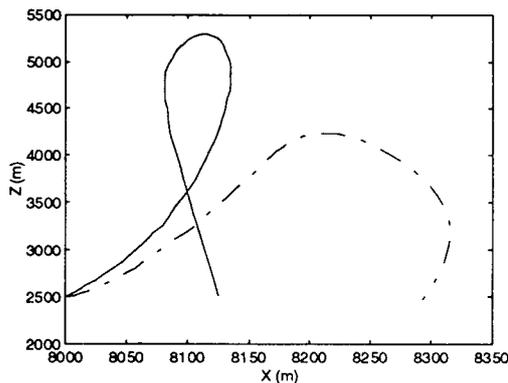


Fig. 1 Comparación de trayectorias de los casos A (línea continua) y C (punto y raya) el caso B no se muestra debido a que se superpone con A

Para el cálculo del cargado se ha tenido en cuenta el mecanismo de colisiones cristal-graupel no inductivo, sin considerar otro tipo de interacciones. Las interacciones graupel-cristal son descritas mediante un espectro discreto que tiene en cuenta 8 categorías de partículas de hielo. En término de sus diámetros estas son $10\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$, $250\mu\text{m}$, $500\mu\text{m}$, $1000\mu\text{m}$, mayores a $5000\mu\text{m}$.

Para la carga transferida se optó por la dependencia de LWC y de T según el esquema dado por Takahashi ⁽³⁾, su magnitud también depende de la velocidad relativa de las partículas y del tamaño del cristal. En un trabajo paralelo se ha utilizado el diagrama de cargado de Saunders (Masuelli et al. ⁽¹³⁾).

3. RESULTADOS

Para tener un conjunto muestral que contenga la mayor cantidad posible de comportamientos de los granizos se largaron embriones de $250 \mu\text{m}$ desde cada punto de grilla del núcleo de la nube (343 embriones).

Para cada uno de los embriones se analizó la trayectoria, el crecimiento y el cargado, una de las características que se observa es que la zona óptima para el largado de embriones que permiten un máximo crecimiento es en el updraft (corriente ascendente) de la nube entre los 7000-9000 m en la horizontal (el centro de la nube corresponde a los 8000 m) y de 2500-3500 m en la vertical a 2000 m por debajo de donde la nube poseía los máximos campos de viento y de LWC (5500 m), lo cual es razonable si pensamos que en la primera etapa de crecimiento, el embrión será arrastrado por el updraft hacia arriba.

Cuando empiece a precipitar estará en la zona de más alto LWC, en la fig. 1 se muestran trayectorias comparativas, las corridas se hicieron teniendo en cuenta tres situaciones, a saber: A) carga inicial 0 sin influencia del campo eléctrico sobre la trayectoria. Con interacción con el campo eléctrico casos B) carga inicial 0 y C) carga inicial $1pC$.

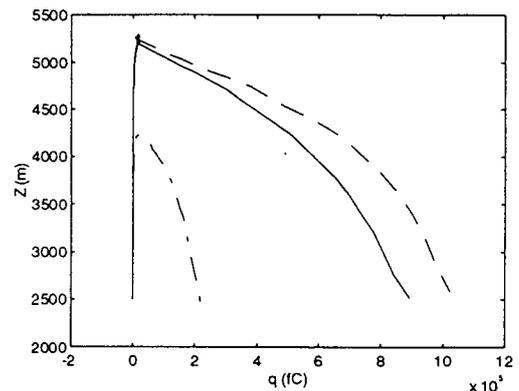


Fig. 2 Comparación de la carga en función de la altura Caso A línea continua, B línea a trazos y C punto y raya.

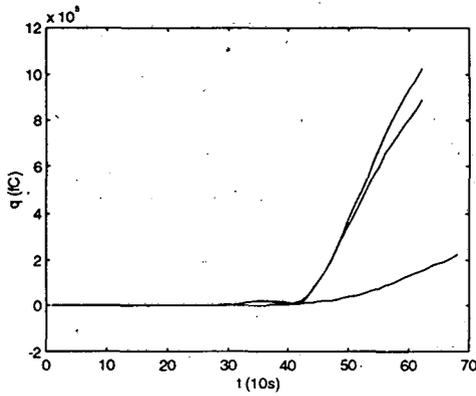


Fig. 3 Crecimiento de la carga en función del tiempo, casos A), B), C) como en Fig. 2.

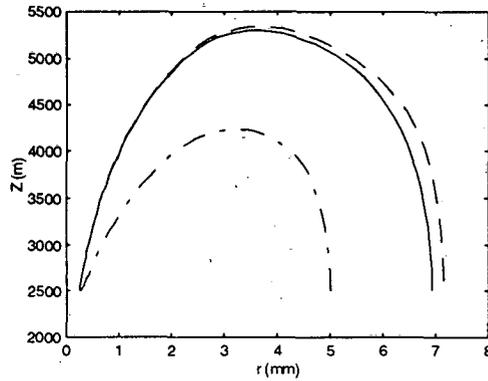


Fig. 4 Se muestra al radio en función de la altura, casos A), B), C) como en Fig. 2.

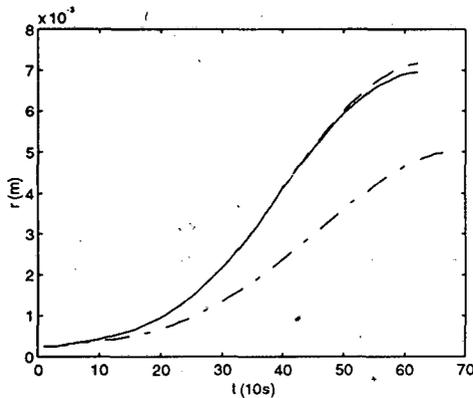


Fig. 5 Comparación del crecimiento, radio, en función del tiempo, casos A), B), C) como en Fig. 2.

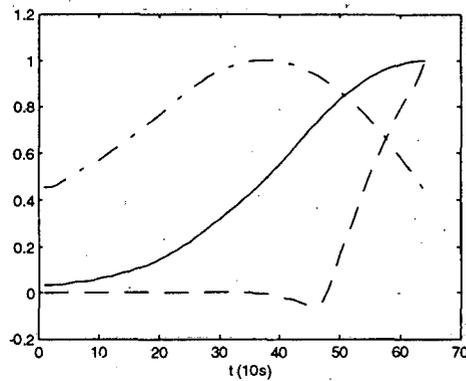


Fig. 6 Se muestra con línea continua el radio, a trazos la carga, punto y trazo la altura.

Las partículas se empiezan a cargar fuertemente cuando comienzan a caer. Cuando suben si la carga inicial es cero el cargado no supera los 10^{-1} pC, esto se puede ver en las figs. 2 y 3.

Alrededor de los 5000 m hay una región donde las partículas se cargan negativamente como es de esperar debido a la temperatura a esa altura, y su dependencia con el cargado según Takahashi. Mientras la mayor parte de las partículas están cargadas positivamente cuando llegan al nivel de $T=0^{\circ}\text{C}$, que se condice con la carga dominante en esa región. Esto permite apoyar lo esperado para Takahashi, una gran estratificación en los signos de las cargas, cuando las partículas se cargan según el diagrama de cargado de Takahashi.

La diferencia de crecimiento de las partículas cargadas con carga inicial 1pC y de las descargadas, (fig. 4 y 5) se debe a que aún cuando ambas partículas se mantienen en la misma parcela, por lo tanto habrá el mismo LWC, campo, etc., la partícula con carga inicial soporta una fuerza eléctrica hacia abajo, oponiéndose a su movimiento esto hará que la altura máxima sea menor en la partícula con carga inicial (ver fig. 1),

y por consiguiente cuando empiece a caer coleccionará menos agua debido a que la distancia recorrida es menor.

El crecimiento máximo observado para los granizos, de embrionés de 250 μm , fue de 7 mm, lo cuales parten de la región central alrededor de los 2500 m de altura. En la fig. 6 se presenta una comparación para el caso B) de la altura, el radio y la carga, normalizadas a 1, notamos que cuando el graupel comienza a caer la curva de crecimiento cambia de concavidad y esto es debido a que el cambio en el signo de la velocidad vertical del granizo hace que cambie la velocidad de acreción. La carga se mantiene 0 mientras sube cuando comienza a caer hay un rango de alturas en la cual es negativa y luego pasa a ser positiva, aumentando rápidamente, con una dependencia lineal en el tiempo.

En el estudio de la "fertilidad" en función de la posición inicial de las partículas se ve que la región de cargas máximas, se condice con la de máximo crecimiento, con una carga de máxima de 1000 pC, que parece un poco excesiva si se compara con las mediciones, del orden de 400 pC las mas grandes, esto

se puede deber a que se ha considerado a la probabilidad de evento, es decir de que haya una colisión con transferencia de carga, igual a uno.

La mayor diferencia relativa del crecimiento (en el radio) de una partícula con campo y una sin interacción eléctrica fue de 40% (diferencias del orden de un factor de 2.7 en la masa de los granizos), lo cual hace a la dependencia eléctrica un parámetro imprecisiblemente de tener en cuenta para el estudio del crecimiento de granizo.

De aquí en más, sería interesante hacer un estudio estadístico de las cargas en particular si se tiene en cuenta la probabilidad de encontrar una partícula en un dado lugar y tiempo, esto permitirá obtener la densidad de carga en la nube pudiendo ser comparado con los resultados de otros modelos^{(5) (6) (7)}. Estudiar las posibles diferencias que se obtengan de la dependencia de la separación de carga dada por Takahashi y de la dada por Saunders et al.

Referencias

- 1 - Dye, Jones, Winn, Cerni, Gardiner, Lamb, Pitter, Hallet and Saunders. *J. Geoph. Res.*, **91**, 1231-1247 (1986).
- 2 - Williams. *J. Geoph. Res.*, **94**, 13151-13167 (1989).
- 3 - Takahashi. *J. Atm. Sci.*, **35**, 1536-1548 (1978).
- 4 - Saunders, Keith and Mitzeva. *J. Geoph. Res.*, **96**, 11007-11017 (1991).
- 5 - Norville, Baker and Latham. *J. Geoph. Res.*, **96**, 7463-7481 (1991).
- 6 - Scavuzzo, Avila and Caranti. *Atm. Res.*, **37**, 325-344 (1995).
- 7 - Scavuzzo and Caranti. *J. Atm. Sci.*, **53**, 349-358 (1996).
- 8 - Heymsfield. *J. Atms Sci.*, **40**, 1482-1509 (1983).
- 9 - Castellano, Scavuzzo, Nasello, Caranti and Levi. *Atm. Res.*, **33**, 309-331 (1994).
- 10 - Scavuzzo y Castellano. *Métodos numéricos para el calculo y diseño*, **8**, 417-426 (1992).
- 11 - Comes, Caranti and Krehbiel. *Atm. Res.*, **39**, 69-77 (1995).
- 12 - Beard and Grover. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 543-550 (1974).
- 13 - Masuelli, Pulido, Scavuzzo and Caranti. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, en impresión, (1996).