

# DENSIDAD DE HIELO FORMADO POR ACRECION

L. Levi\* y O. B. Nasello\*\*

Facultad de Matemáticas, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Laprida 854, 5000 Córdoba

El proceso de acreción de gotas sobreenfriadas es un fenómeno natural que tiene interés en Glaciología y en Física de la Atmósfera. Este proceso puede dar lugar a la formación de depósitos con una densidad marcadamente inferior a la del hielo macizo, debido a la inclusión de aire. El hielo de baja densidad presenta dificultades para su estudio, ya que su fragilidad no permite, en general, la conveniente preparación de las muestras para su análisis.

En el presente trabajo se presenta un método de corte y preparación de las muestras que permite obtener secciones de 1mm de espesor aún cuando la densidad de la acreción es de aproximadamente  $0.1 \text{ g/cm}^3$ . A estas secciones se le aplica un método de análisis con rayos X, para realizar determinaciones de estructura y densidad.

Las muestras estudiadas se hacen crecer en un túnel de viento refrigerado sobre colectores cilíndricos fijos. Se obtienen resultados que permiten relacionar la densidad y estructura de las acreciones con la forma del campo de flujo alrededor del colector, el radio de las gotas, la velocidad del viento y la temperatura de la superficie de la acreción.

## INTRODUCCION

La colisión de gotas sobreenfriadas sobre objetos (cables eléctricos, alas de aviones, hidrometeoros sólidos) produce depósitos de hielo cuya densidad es marcadamente inferior a la del hielo macizo. El comportamiento mecánico de los depósitos depende de dicha densidad, cuya relación con las condiciones ambientales es importante conocer para aplicaciones tales como la determinación de la resistencia útil de estructuras pasibles de glaciación y la modelación del crecimiento de hidrometeoros.

En trabajos recientes (Prodi et al.<sup>1</sup>, Prodi and Levi<sup>2</sup>) se realizaron determinaciones de densidad local de acreciones artificiales, a partir del análisis (densitométrico) de radiografías de las muestras y se obtuvieron, en el rango estudiado ( $\rho > 0.5 \text{ g/cm}^3$ ), resultados no coincidentes con los derivados anteriormente de mediciones de densidad media.

En el presente trabajo, se consideró de interés extender la aplicación del método radiográfico a depósitos cilíndricos de más baja densidad y tratar de relacionar el comportamiento observado con los parámetros de crecimiento. Estos son en particular el número de Stokes que, cuando el radio de volumen medio de las gotas  $r$ , la velocidad del viento  $V$ , y el radio  $c$  del blanco se expresa en c. g. s., puede escribirse:

$$K = 1340 \frac{r^2 V}{c} \quad (1)$$

y el parámetro de Macklin<sup>3</sup>

$$x = \frac{V_0 [\mu\text{m}] [\text{cm/s}]}{T_d [\text{°C}]} \quad (2)$$

donde  $r$  es el radio de volumen medio de las gotas expresado en  $\mu\text{m}$ ,  $V_0$  es la velocidad de impacto de las gotas en el punto de la superficie que primero se expone al flujo de aire, expresado en  $\text{m/s}$  y  $T_d$  es la temperatura media de la acreción, expresado en  $^{\circ}\text{C}$ .

## METODO EXPERIMENTAL

Debido al elevado poder absorbente del hielo para rayos X, la densidad de una capa de hielo poroso puede determinarse comparando las mediciones de la densidad óptica de una radiografía de la muestra en estudio con la de una capa de hielo macizo de igual espesor. Con este fin, es necesario radiografiar junto con cada muestra una escala de calibración.

En general se puede lograr un buen contraste en las radiografías utilizando láminas de 1mm de espesor; estas se pueden preparar con relativa facilidad cuando la densidad del hielo no es muy baja pero, para  $p < 0.5 \text{ g/cm}^3$ , las muestras son demasiado frágiles para su corte.

En el presente trabajo, para hacer posible el análisis con rayos X de acreciones de baja densidad, se

\*CONICET CONEA

\*\*CONICET

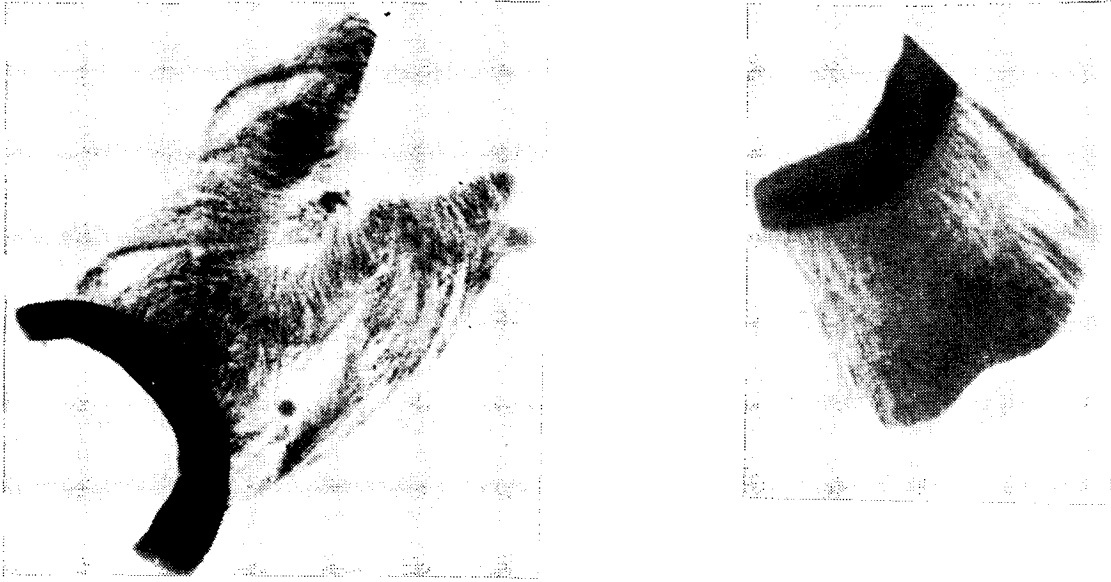


Figura 1: Radiografías de dos depósitos: a)  $K = 0.8$ . b)  $K = 3.2$ . El anillo interno oscuro corresponde a la camisa de hielo. El gris más claro de los depósitos indica la menor densidad.

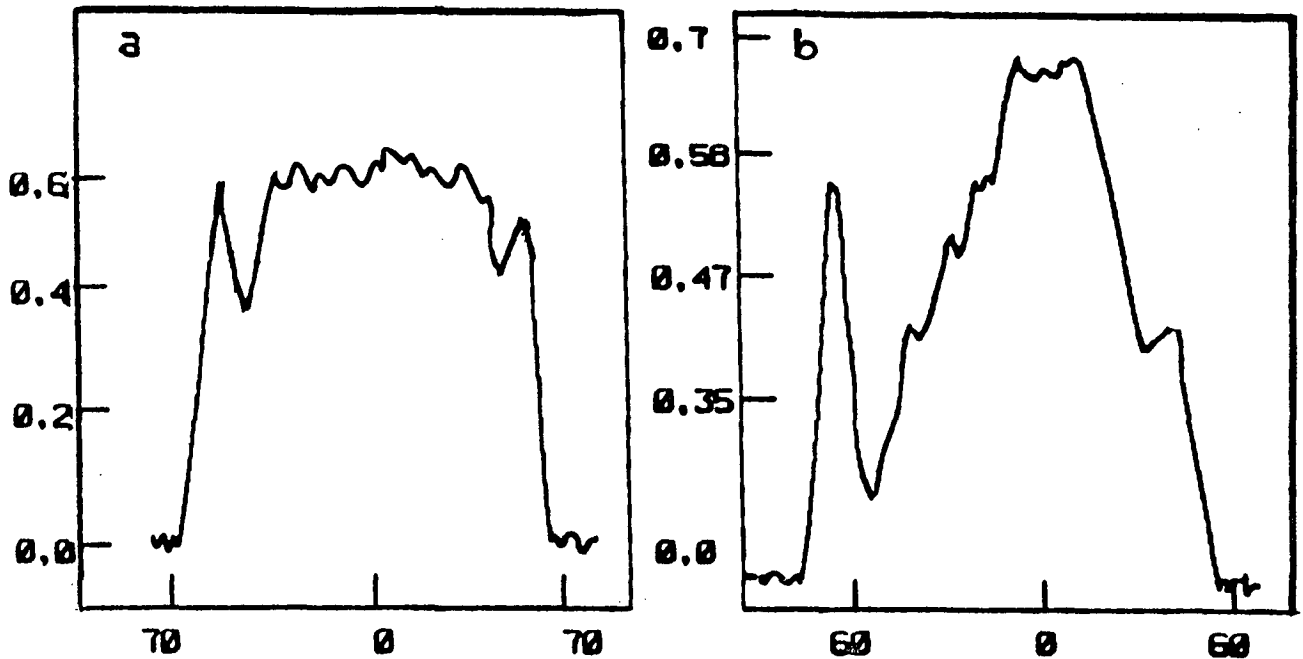


Figura 2: Curvas para la densidad  $\rho$ , vs. el ángulo  $\theta$ . a)  $K = 5$ . b)  $K = 3.2$ .

aumentó la solidez de las mismas utilizando un método ya empleado en glaciología<sup>4</sup>. Este método consiste en impregnar las muestras, previamente a su corte, con un líquido con punto de fusión  $< 0^\circ \text{C}$ , no disolvente del hielo, el cual se solidifica luego bajando la temperatura. En el caso actual, se utilizó con este fin anilina, pero, para obtener valores correctos de la densidad, fue necesario poner también a punto un posterior proceso de vaciado de las muestras. Este consistió en mantener las láminas

ya cortadas a una temperatura próxima a  $-8^\circ \text{C}$ , durante una hora aproximadamente, con sus superficies principales en contacto con papel de filtro, devolviendo a las muestras su estructura original.

Las acreciones se obtuvieron en el laboratorio FISBAT-C. N. R.-(Bologna-Italia). Se utilizaron colectores cilíndricos de 1cm de diámetro, consistentes de una varilla de plástico recubierta con una camisa de hielo. Los colectores se instalaban en un túnel de viento refrigerado, donde recibían un

flujo de gotitas con radio de volumen medio  $r = 10 \mu\text{m}$ . Estas adquirirían, durante su recorrido en la parte inferior del túnel, la temperatura de aire. La temperatura y velocidad del viento se variaron entre  $-5$  y  $-22^\circ \text{C}$  y  $3$  y  $12 \text{ m/s}$  respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos muestran los siguientes hechos fundamentales:

1. La morfología de las acreciones depende marcadamente del número de Stokes  $K$ , como puede verse comparando las radiografías de las secciones normales a las muestras, reproducidas en Fig. 1. Notar principalmente que, para  $K < 1$  (Fig. 1a), se forman pronunciadas protuberancias laterales, que tienden a desaparecer para  $K \sim 3$  (Fig. 1b). Por otro lado, el máximo ángulo de recolección sobre el cilindro,  $\vartheta_m$ , crece con  $K$ , siendo  $\vartheta_m \sim 30^\circ$  en la Fig. 1a,  $\vartheta_m \sim 60^\circ$  en la Fig. 1b.

2. La densidad local decrece con el aumento de  $\vartheta$ , pero este efecto disminuye con el aumento de  $K$ , como puede verse comparando las curvas en Fig. 2.

3. La densidad máxima de cada muestra, correspondiente a  $V = 0^\circ$ , no depende de  $K$  y puede escribirse en función del parámetro de Macklin. Teniendo en cuenta los resultados actuales y los de Prodi et al.<sup>1</sup> se pueden escribir para la densidad las ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} \rho &= 0.28 (x)^{0.6} && \text{para } 3 < x < 7 \mu\text{mm}^0\text{Cs} && (3) \\ \rho &= 0.38 (x)^{0.17} && \text{para } 0.6 < x < 3 \mu\text{mm}^0\text{Cs} && \end{aligned}$$

4. Debe señalarse que los resultados experimenta-

les obtenidos en este trabajo, donde se pone en evidencia el efecto del valor de número de Stokes sobre la morfología y la densidad de las acreciones, está en acuerdo semi-cuantitativo con resultados de simulaciones numéricas del proceso de agregación. En particular, notamos que los resultados confirman la improtancia del "efecto sombra"<sup>45</sup>, sobre las variaciones con  $\vartheta$  de la densidad y sobre la formación de protuberancias laterales. Se ha demostrado que este efecto aumenta con  $K$ , de acuerdo con los resultados experimentales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Lic. Luisa Lubart por la colaboración prestada en la determinación de las curvas de densidad, al Prof. Franco Prodi por haber facilitado el uso de las instalaciones del Laboratorio de Física de Nuber del FISBAT-CNR Bolonia-Italia y al Sr. Bernardo Gonzalez por la preparación de la presentación final de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Prodi F., Levi L., and Pederzoli P. (1986). *Quart. J. R. Met. Soc.* Vol 112. pp. 1081-1090.
2. Prodi F. and Levi L. (1987). *Journal de Physique T.* 48 N° 3 C1 pp 383-388.
3. Macklin, W. C. (1962) *Quart. J. R. Met. Soc.* Vol 88 pp 30-50.
4. Gow, A. J. (1969), *Journal of Glaciology*, Vol 8, N° 53 pp 241-252.
5. Gates E. M., Liv, A. and Lozoswski E. P. (1988), *Journal of Glaciology*, Vol 34 N° 116 pp 26-30.