

**ELECTRIFICACION POR FRACTURA BAJO GRADIENTE TERMICO****ELECTRIFICATION BY FRACTURE UNDER THERMAL GRADIENTS****B. Danielo, A.B. Sainz, A.A. Perez Hortal, R.A. Comes And G.M. Caranti<sup>(\*)</sup>**Facultad de Matemática Astronomía y Física (FaMAF) - Universidad Nacional de Córdoba  
Medina Allende s/n - (5000) -Córdoba – Argentina<sup>(\*)</sup> CONICETE-MAIL: [CARANTI@ROBLE.FIS.UNCOR.EDU](mailto:CARANTI@ROBLE.FIS.UNCOR.EDU)

En este trabajo se construye un dispositivo que permite medir la carga eléctrica de una barra de hielo al momento de quebrarla, mientras está sometida a un gradiente térmico. El rango de temperatura utilizado es de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y con gradientes de hasta  $300\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ . Se observa que el extremo más caliente se carga negativamente. La carga observada en los experimentos es del orden de  $10^{-8}\text{ C/}^{\circ}\text{Cm}$ .

Palabras Claves: electrificación, hielo, nubes, fractura, gradiente térmico.

In order to measure the electric charge of an ice bar fractured under thermal gradients a device was built. The used temperature range was  $-30^{\circ}\text{C}$  to  $0^{\circ}\text{C}$  and gradient of up to  $300\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ . Measured charges per unit gradient were around  $10^{-8}\text{ C/}^{\circ}\text{Cm}$  with the warm end charged negatively.

Key Words: electrification, ice, clouds, fracture, thermal gradient.

**I. INTRODUCCIÓN**

El cargado eléctrico durante fractura de un sólido es un efecto bien conocido<sup>(1)</sup>, que se presenta en una gran variedad de situaciones. Entre las más conocidas se encuentra la ruptura de rocas, que genera campos eléctricos, propuestos como precursores o procesos colaterales de terremotos<sup>(2)</sup>.

La electrificación de nubes es un proceso físico que aún no ha sido dilucidado, pero que involucra otro sólido: el hielo. Es conocido que sólo se presenta una importante electrificación en nubes con contenido de hielo, es decir, nubes suficientemente altas. Además, en este proceso parece ser un factor importante la presencia de agua sobreenfriada. En nubes, ésta se llama la región de mezcla, que ocurre entre las isoterms de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Las gotas sobreenfriadas, al ser colectadas por las partículas mas grandes, liberan calor latente, lo cual calienta las partículas de hielo colectoras. Si la cantidad de gotas de agua es suficientemente grande, este calentamiento produce que la temperatura de la partícula supere la ambiental. Por otro lado, las partículas de hielo pequeñas, como las crecidas por fase vapor, más lentamente, están casi a la temperatura ambiente. Por lo tanto, en una interacción estaremos en presencia de un gradiente de temperatura. Sin entrar a especular si un contacto entre dos partículas de hielo involucra primero

una soldadura<sup>(3)</sup> y una posterior quebradura, o si lo que se quiebran son protuberancias superficiales también bajo gradiente térmico; lo cierto es que fractura bajo gradiente es un fenómeno corriente en física de nubes y merece su estudio.

**II. MONTAJE EXPERIMENTAL**

Se construyó un dispositivo consistente de un portamuestras articulado, que permite producir sobre la muestra o probeta una tensión de corte brusca que produce la rotura de la misma. Todo esto se ubica dentro de una cámara fría que permite bajar la temperatura hasta  $-30^{\circ}\text{C}$ . Previo a la ruptura se aplica sobre la muestra un gradiente de temperatura por medio de una resistencia embebida en el hielo y cuidadosamente aislada eléctricamente para evitar cargado espurio. Al quebrarse la muestra, una mitad queda fija y, la otra, asociada al brazo articulado tensado por dos resortes, cae rápidamente a través de un conjunto de electrodos sobre los que induce carga, los cuales a su vez están conectados a un amplificador de carga. Se trata de cinco perfiles en forma de U, alternadamente conectados a tierra y al mencionado amplificador; de esta manera, la carga del hielo no comienza a inducirse desde lejos en el electrodo sensible sino que se induce a pleno sólo

cuando el hielo está bien metido en él. Esto produce un efectivo "aislamiento" entre los sensores activos. Así, cuando la muestra pasa por los electrodos, se induce una secuencia de dos pulsos bien diferenciados. Esto permite distinguir el pasaje de la carga a medir de cualquier pulso de ruido espurio. Además, la separación y ancho de los mismos permite estimar la velocidad y aceleración de pasaje, así como la tasa de pérdida de carga a través de los aisladores (ver figura 1).

Otro dispositivo de medición utilizado consta del mismo sistema de quiebre pero, con otro para medir la carga. Se emplea una mordaza de metal en cada punta, y se conecta directamente al medidor de carga la punta fija de la muestra de hielo. De esta forma, se mide la carga del hielo en forma directa. La ventaja de este método es el no empleo de mordazas de material aislante, las cuales quedan eventualmente cargadas electrostáticamente, debiendo tomar la precaución de esperar un tiempo para su descarga entre la colocación de la muestra y la medición propiamente dicha, para así medir la carga del hielo y no la de la mordaza. Cabe destacar que aunque la mordaza no es de material aislante, se encuentra aislada respecto de tierra. (ver figura 2)

El gradiente de temperatura se mide, en ambos casos, con un termómetro infrarrojo de mira láser, modelo Optex 5140. Este instrumento al enfocar sobre una región muy pequeña permite medir con una precisión de una décima de grado la distribución de temperatura en la probeta justo antes de quebrar.

El amplificador de carga tiene una sensibilidad de 8,3 V/nC y presenta muy baja impedancia o tierra virtual al sistema de electrodos. Tiene además una etapa de salida capaz de manejar cables coaxiales de cualquier longitud. De esta manera, puede conectarse a un osciloscopio digital, en nuestro caso el modelo HP54540A, ubicado en el exterior de la cámara fría, lo que permite almacenar los pulsos en disco para su posterior análisis.

### Preparación de las Muestras

Las probetas son realizadas en moldes de caucho de silicona que permite el fácil desmolde una vez congeladas. Para evitar la formación de burbujas se realiza la congelación desde un extremo, al cual se le inserta una barra de cobre soldada con una chapa del mismo material, que oficia de disipador. Con el mismo propósito, se utilizó agua destilada previamente hervida, para degasarla. El resto del molde se coloca dentro de un aislante térmico y todo el conjunto dentro de un freezer. El congelamiento es muy lento, de manera que

la estructura del hielo, a pesar de ser policristalina, no contiene tensiones apreciables. La región más débil, apta para quebrarse, es de un diámetro de 8 mm.

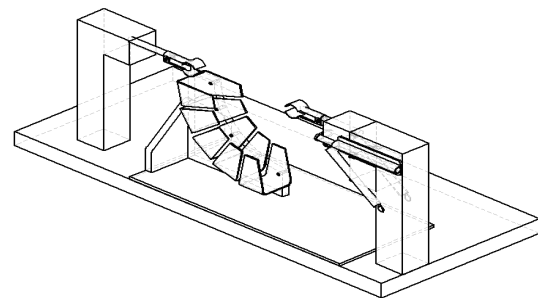


Figura 1: Dispositivo que mide por inducción en los electrodos

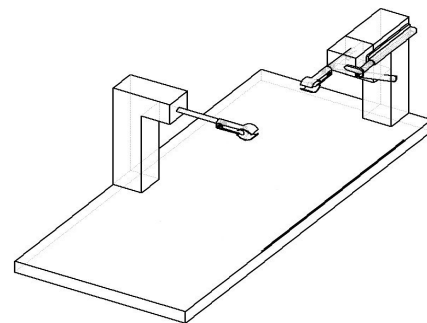


Figura 2: Dispositivo que mide en forma directa.

### III. PRESENTACIÓN DE DATOS MEDIDOS

La Figura 3 muestra la evolución de la carga medida por el método directo. El tiempo de duración de la caída del brazo móvil es de aproximadamente 15 ms, por lo que luego del primer pico, es decir a la derecha de la línea vertical, se observa "ruido" proveniente del impacto y las vibraciones del aparato, que produce, entre otras cosas, roces entre la mordaza y el hielo.

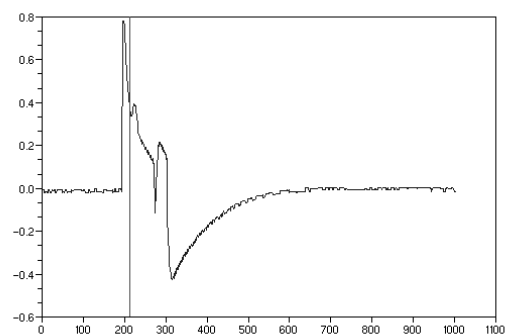


Figura 3: Pulso de carga medido en forma directa.

El voltaje medido es aproximadamente 0,8 V, lo que equivale a una carga de  $10^{-10}C$ . La diferencia de temperatura entre los 2 extremos fue de  $4^{\circ}C$ , en una distancia de 2 cm. Si suponemos que el gradiente es lineal a lo largo de la muestra, éste resulta igual a  $200^{\circ}C/m$ . Como el área de quiebre es de  $5 \times 10^{-5} m^2$ , se llega a que la carga por unidad de longitud y temperatura es  $10^{-8} C/^{\circ}Cm$ .

#### IV. DISCUSIÓN

El efecto termoeléctrico en el hielo fue medido en varias oportunidades y por distintos métodos<sup>(4)</sup>, arrojando un valor cercano a  $2 mV/^{\circ}C$ . Suponiendo la barra de hielo, gracias a su geometría, como un capacitor de alrededor de  $4pF$ , bajo un salto térmico de  $4^{\circ}C$  la carga separada sería del orden de 32 fC. Esto difiere de los valores medidos en este trabajo en casi cuatro órdenes de magnitud, por lo que se ve que el efecto termoeléctrico no explicaría el fenómeno observado.

De todas formas si bien esta carga de  $10^{-10}C$  parece grande, no lo es en términos de cargas elementales transferidas por unidad de área. Basta con notar que las moléculas superficiales en el hielo suman alrededor de  $10^{19} m^{-2}$ , así que sólo participarían en la transferencia una por cada millón.

En varios estudios experimentales sobre carga transferida en colisiones de cristales de hielo con pequeños granizos<sup>(5)</sup>, se observaron cargas del orden de algunos femtocoulombs. Tomando en cuenta que los tamaños en estos experimentos son del orden de  $50 \mu m$ ,

el área de contacto, si bien no es conocida, se puede estimar en un décimo del área transversal, es decir alrededor de  $10^{-10} m^2$ . Suponiendo que la carga por unidad de longitud y temperatura sea la medida en este trabajo, el gradiente térmico debería ser  $10^3^{\circ}C/m$ ; si bien éste es inferior al que probablemente haya entre las dos partículas interactuantes, la eficiencia en la transmisión de carga entre ellas es menor debido a la pequeña área de contacto; es por esto que podrían compensarse ambos efectos. Luego, se observa una gran compatibilidad entre nuestras mediciones de carga separada y la de los observadores arriba citados.

#### REFERENCIAS

- 1 - O'Keefe, S. G., and Thiel, D. V., J. Electrostat. **36**, 3, 225-234 (1996).
- 2 - Freund, F. T., Takeuchi, A. and Lau, B. W. S., Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C **31**, 4-9, 389-396. (2006).
- 3 - Faraday M., Proceedings of the Royal Society of London, **10**, 440-450 (1860).
- 4 - Jaccard, C., Zeitschrift für Physik B Condensed Matter, **1**, 2, 143-151. (1963)
- 5 - Pereyra, R. G., and Avila, E. E., Journal of Geophysical Research, **107**, D23, 4735. (2002)