

## EFECTO DIELECTRICO REMANENTE Y CARGAS PERMANENTES EN DIELECTRICOS SOLIDOS (\*)

por B. GROSS

Instituto Nacional de Tecnología, Río de Janeiro, Brasil

**SUMMARY:** By measurement of current-time curves it has been shown, that in many solid dielectrics a considerable amount of charge can be absorbed. If the electric treatment is associated with a heat treatment, the absorbed charge can be partially "frozen in", the dissipation occurring after the withdrawal of the polarizing field being extremely slow. Such a dielectric therefore is not in the neutral electric state. The charges residing in the dielectric produce electric fields. These fields cancel themselves out under certain circumstances, but eventually a global field exists. This in its turn induces surface charges in adjacent conductors. It follows, that the plates of a capacitor containing the dielectric should carry induced charges. It then can be expected, that the measurement of these charges adduces new information concerning the state of the dielectric. It follows, that the prevailing practice of current time measurements is conveniently completed by surface-charge-time measurements. As a result of this method it is shown, that general information is obtained a) about the state of a polarized dielectric and the conduction mechanism, b) about effects connected with conduction and, c) about the nature of the dielectric.

### *El condensador desarmable.*

Las medidas de carga y corriente superficial pueden ser hechas con la ayuda de un condensador desarmable, en el cual se puede quitar una (o ambas) placas. Para medidas cuantitativas el condensador debe cumplir las exigencias de una alta precisión. Hemos construido un modelo de ensayo representado en la fig. 1. El electrodo superior de un condensador a placa está suspendido de un pistón de hierro que penetra parcialmente en la bobina. Al pasar corriente a través de la bobina se eleva el electrodo. El sistema de placa, adecuadamente blindado, está montado dentro de un calefactor mediante el cual es posible dar

---

(\*) Comunicación hecha el día 21 de setiembre de 1946 a la 8ª Reunión de la AFA. Traducción de D. Canals Frau.

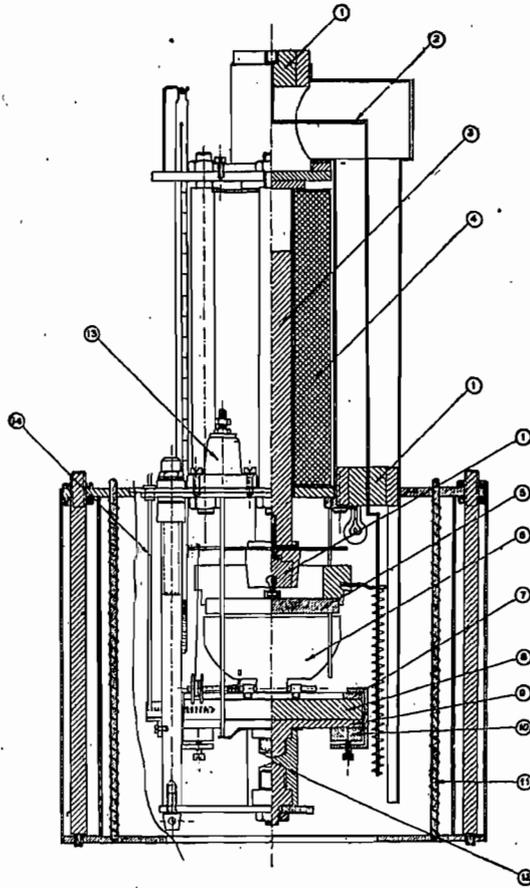


Fig. 1.

- 1) Aislador de azufre.
- 2) Conductor del electrómetro.
- 3) Pistón de hierro.
- 4) Bobina magnética.
- 5) Placa quitable.
- 6) Dispositivo especial de blindaje.
- 7) Anillo de protección.
- 8) Muestra de dieléctrico bajo ensayo.
- 9) Placa fija.
- 10) Aislador.
- 11) Calentador.
- 12) Aislador.
- 13) Conexión para alto voltaje.
- 14) Termocupla.

el tratamiento calórico durante y después del período de aplicación del campo polarizante. La temperatura se mide mediante un termómetro a mercurio y una termocupla que está en contacto directo con la muestra. Para un control adecuado de la humedad todo el sistema está contenido en un secador. Una serie de medidas tomadas con este aparato muestra que, en principio, el método es bueno. Debe tenerse especial cuidado en los siguientes puntos:

Aislante: Debe ser utilizable para medidas estáticas, resistir tensiones hasta de 12000 V y temperaturas de hasta 150° C. Cuarzo fundido satisface esas condiciones.

Contacto entre dieléctrico y electrodos: Ambas superficies deben ser limpiadas cuidadosamente y ser ópticamente planas.

Medidas en el vacío: Debe ser posible realizar medidas a presión reducida y en el vacío, con aire y con otros gases.

Corriente y carga: Pueden ser medidas con un electrómetro con circuito electrométrico.

Otro método de medida podría consistir en un condensador en el cual es posible hacer vibrar uno de los electrodos. Si el electrodo tiene cargas inducidas, la vibración engendra una corriente alternada en el alambre que conecta las placas. La corriente es proporcional al valor de la carga y puede ser amplificada con un adecuado amplificador y medida fácilmente. En algunos aspectos este método tendría ventajas sobre el precedente. Si se pone en cortocircuito al condensador estando ambas placas en su lugar, el interior del dieléctrico está prácticamente libre de campo porque el campo de las cargas del dieléctrico está compensado por el campo de las correspondientes cargas inducidas en las placas. Esta situación cambia cuando una de las placas es levantada. Al estar eliminada la carga compensadora el dieléctrico está sometido al campo de sus propias cargas. Esto tiene un efecto similar a la aplicación de un campo externo. Se crean corrientes que tienden a hacer decrecer las cargas que producen campo. Por lo tanto, en el condensador variable el acto de la medida produce una perturbación de la magnitud que es objeto de la medida. En el condensador vibrante esta perturbación puede ser mantenida debajo de un valor dado, siempre que la amplitud

---

(<sup>1</sup>) B. GROSS, L. DENARD; *An. Acad. Brasil. Ci.*, 14, 349, 1942; *Phys. Rev.*, 67, 253, 1945. R. F. FIELD, *Phys. Rev.*, 69, 688, 1946.

de la vibración sea suficientemente pequeña; entonces el campo interior del dieléctrico experimenta sólo un pequeño incremento durante la medida, ya que la carga compensante de la placa nunca es totalmente alejada.

*Prueba de dieléctricos con el condensador desarmable.*

La corriente de descarga total  $J(t)$  de un condensador puesto en cortocircuito puede ser expresada por la ecuación

$$(1) \quad J(t) = i(t) + dq/dt,$$

donde  $i(t)$  es la corriente de conducción y  $dq/dt$  la corriente de desplazamiento a través de la interfase dieléctrico-electrodo. Medidas de  $J(t)$  y  $q(t)$ , como las que nos proponemos hacer, permiten descomponer la corriente en sus dos componentes y muestran la influencia de a) movimiento de portadores de cargas entre dieléctrico y electrodo y b) desplazamiento de cargas eléctricas dentro del dieléctrico<sup>(2)</sup>.

J. Zeleny (J. Zeleny, Amer. J. Phys., 12, 329, 1944) ha dado evidencia directa del hecho de que en condensadores con cubiertas desarmables hay transferencia de cargas desde las placas al dieléctrico durante la aplicación del campo externo. Afirmamos que este es un efecto general y que en particular, es significativo para el comportamiento del electreto. Consideremos ahora una substancia dieléctrica dipolar, cuya conducción iónica a temperatura ambiente es despreciable. Las cargas permanentes de un tal dieléctrico pueden ser a) cargas dipolares superficiales producidas por la orientación de los dipolos bajo la influencia del campo polarizante y que han sido «congeladas» y b) cargas iónicas originadas por la transferencia de cargas de las placas al dieléctrico y atrapadas en el dieléctrico<sup>(3)</sup>. Por lo tanto, las cargas del dieléctrico tienen naturaleza dual y tienen polaridades opuestas. Es nuestro propósito determinar el valor de cada carga.

<sup>(2)</sup> B. GROSS, *Phys. Rev.*, 66, 26, 1944.

<sup>(3)</sup> Estas cargas están atrapadas por no existir en el dieléctrico un campo capaz de moverlas. Tampoco, en condiciones normales, pueden abandonar el dieléctrico porque no obtienen la suficiente energía como para sobrepasar la barrera de potencial que debe suponerse existe en la superficie del electrodo.

Esto es posible si se pueden hacer las siguientes suposiciones simplificatorias:

a) La carga iónica penetra tan poco en el dieléctrico que puede ser tratada como una carga superficial; b) Eventualmente la carga se disipa, no como consecuencia de conducción interna dentro del dieléctrico, sino por conducción «hacia atrás» a través de la interfase; c) El espesor de la interfase es extremadamente pequeño comparado con el espesor del dieléctrico. En consecuencia, el campo de las cargas residentes en el dieléctrico se concentran en la interfase, siendo despreciable el campo «interno». De donde resulta que cualquier corriente externa  $J(t)$  es debida exclusivamente a la disminución de la carga de dipolo. Si  $P$  es el valor de la carga dipolar, entonces

$$(2) \quad J(t) = dP/dt.$$

La carga dipolar  $P$  es, por lo tanto, idéntica a la carga  $Q$  absorbida, definida como integral extendida sobre la corriente de descarga desde  $t$  a  $\infty$ .

$$(3) \quad P(t) = Q(t) = \int_t^{\infty} J(t) dt.$$

La carga iónica  $\sigma(t)$  está entonces dada como la diferencia de la carga inducida  $q$  y la absorbida  $Q$ :

$$(4) \quad \sigma(t) = q(t) - Q(t).$$

Las ecuaciones (2) a (4) son aproximaciones, pero constituyen, por lo menos, una razonable hipótesis de trabajo. Un análisis más preciso deberá tomar en consideración la extensión finita de la interfase y la influencia de la conducción iónica dentro del dieléctrico (4).

#### *Resultados de las mediciones.*

Discutiremos ahora un grupo de mediciones típicas que pueden demostrar el objeto del método y la clase de información a

---

(4) c. f. B. GROSS, An. Acad. Brasil. Ci., 17, 221. 1945.

obtenerse. Estas mediciones fueron hechas con un disco de cera de carnauba de 8 mm. de espesor. El campo polarizante era del orden de 3000 V y quedó aplicado aproximadamente durante dos horas. La temperatura al comienzo del período de polarización era de 60° C. El condensador fué puesto en cortocircuito cuando la temperatura decayó a 38° C.

La fig. 2 muestra los valores medidos de la corriente  $J$  y de la carga inducida  $q$  posterior al cortocircuito, al igual que la corriente de desplazamiento calculada por derivación gráfica de  $q(t)$ . La carga inducida comienza con una polaridad que corresponde a una carga dipolar, decrece rápidamente pasando por cero y luego crece en dirección opuesta, crecimiento que corresponde a una carga iónica. Este comportamiento refleja la disminución de la polarización dipolar. La pendiente de la curva coincide prácticamente con la corriente; por lo tanto,  $J = dq/dt$ . (Hay una desviación sistemática, pero tenemos razones para creer que eso es debido a una corriente del aislador que no consideramos aquí). Este comportamiento es comprensible solamente suponiendo que la carga total del dieléctrico contiene dos componentes de diferente polaridad. Con las condiciones del presente experimento, una de ellas — la carga iónica — permanece prácticamente constante, mientras la otra disminuye.

La medida de la carga inducida permite observar la disminución de la polarización dipolar durante un larguísimo período de tiempo, aun cuando ya es tan lenta que la corriente ha decaído a un valor muy bajo, siendo solamente medible con mucha dificultad. Un hecho particularmente interesante de las mediciones que se extienden a varias semanas es que hasta ahora no ha sido detectado ningún indicio de disipación de la carga iónica a temperatura ambiente.

La fig. 3 muestra el experimento de depolarización en el cual la temperatura del condensador en cortocircuito es aumentada rápidamente hasta un valor no muy inferior al punto de fusión de la cera. En la figura se han trazado los valores medidos de la corriente  $J$  y de la carga inducida  $q$ , y los valores calculados de la corriente de conducción  $i$ . El aumento de temperatura es seguido por una fuerte corriente de descarga, y esta nueva corriente indica el relajamiento de las cargas dipolares «congeladas». (Tales efectos fueron descritos en *Phys. Rev.*, 67, 235, 1945). La carga inducida aumenta al principio; esto es debido

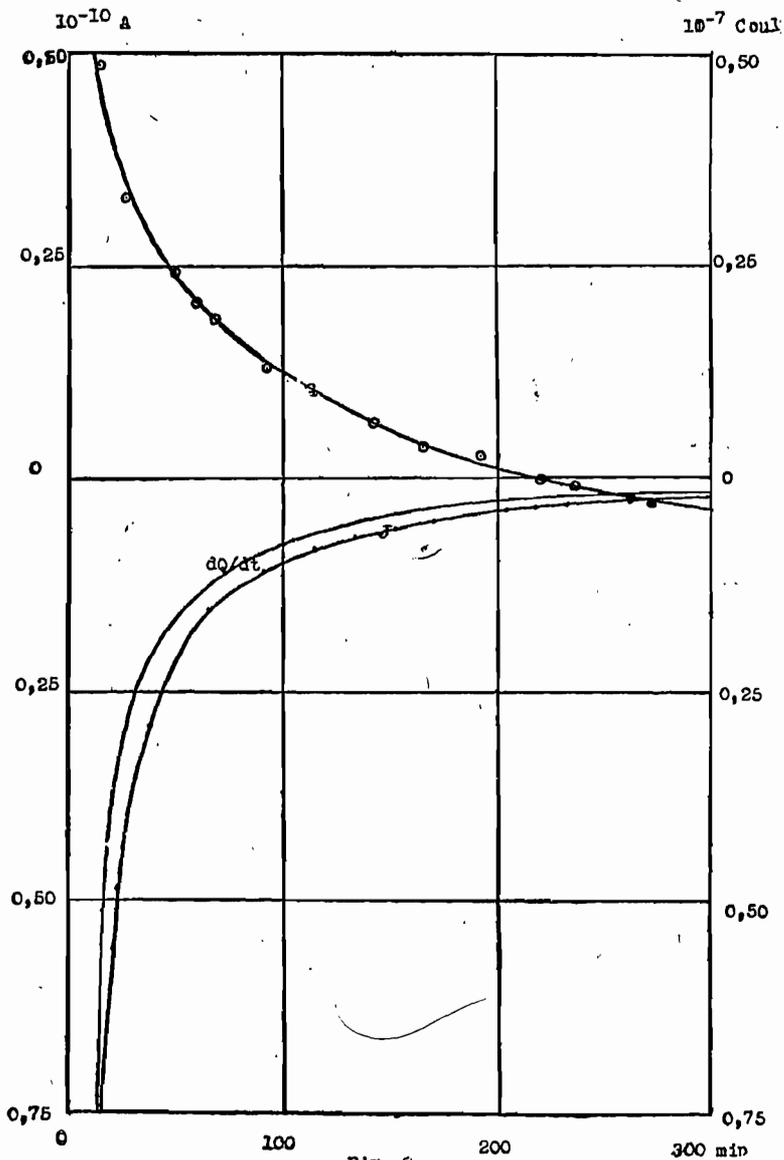


Fig. 2.

al hecho de que la carga dipolar disminuye rápidamente mientras la carga iónica permanece aún aproximadamente constante durante algún tiempo. La diferencia entre ambas cargas aumenta por lo tanto. Pero pronto el calentamiento incluye también la disipación de la carga dipolar, la carga inducida alcanza un máximo y luego decrece. La descomposición de la corriente demuestra ahora por primera vez la existencia de una fuerte corriente de

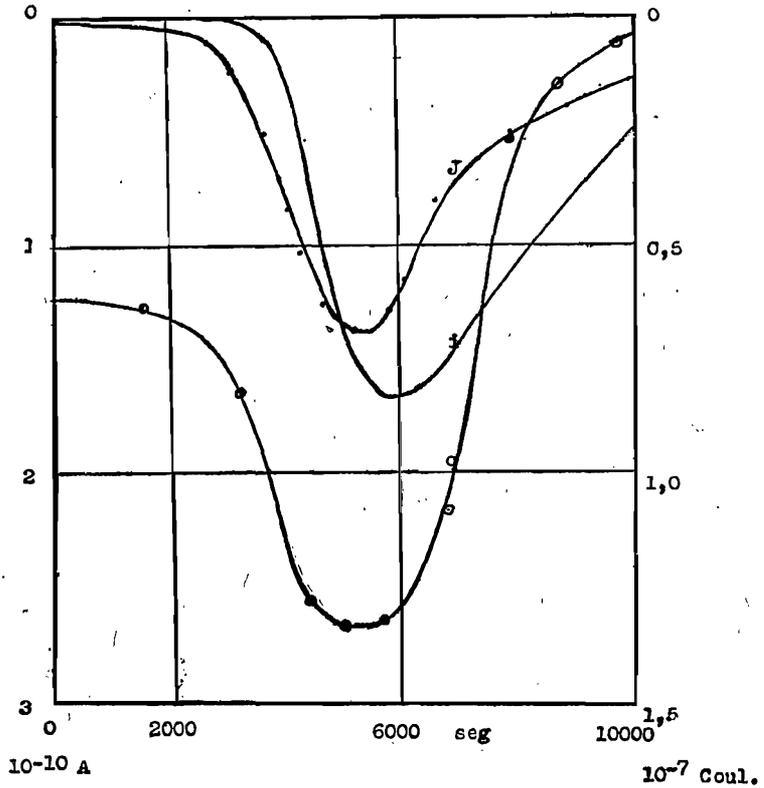


Fig. 3 .

conducción, indicando un transporte de portadores de cargas a través de la interfase; la polaridad de estos portadores debe ser contraria a la de la carga dipolar. Así tenemos aquí la evidencia directa de la disipación de la carga iónica y también de la manera que ello sucede. La diferencia de  $i$  y  $J$  da  $dq/dt$ ; por motivo de simplicidad hemos omitido el trazado de estas funciones.

La existencia de la corriente de conducción es particularmente significativa a la luz de una posible objeción que pudiera ser hecha al método del condensador desarmable, es decir, que la falta de un adecuado contacto entre dieléctrico y placas podría crear una barrera impenetrable en cuanto al pasaje de los portadores y por lo tanto conducir necesariamente a la acumulación de iones en la superficie del dieléctrico.

La precedente descripción muestra que hemos duplicado las propiedades de comportamiento del electreto —la permanencia de su campo y la característica inversión de la polaridad— en condiciones bien controladas. El método de análisis empleado conduce a una descripción cuantitativa en función de los hechos, cuyo significado para el comportamiento dieléctrico ya ha sido demostrado por pruebas independientes. Toda hipótesis ad hoc es evitada.

#### *Sugestiones para determinaciones futuras.*

Hemos demostrado que la medida simultánea de corriente y de cargas superficiales representa un nuevo método para ensayar dieléctricos que conduce a un resultado significativo.

Proponemos la construcción de un condensador desarmable o «vibrante» de acuerdo con las condiciones dadas más arriba, y un estudio sistemático de las relaciones entre efecto de superficie, comportamiento de electreto y mecanismos de conducción para dieléctricos sólidos, que se refiera a:

a) Variación de los parámetros térmicos y eléctricos del experimento, como: valor y tiempo de aplicación del campo polarizante, temperatura durante y después del período de polarización, tiempo de cortocircuito, velocidad de recalentamiento en el experimento de depolarización, etc.;

b) Cambios de fase del dieléctrico por aplicación de un campo eléctrico externo;

c) Espesor de la muestra, naturaleza del contacto entre dieléctrico y electrodo, presión de contacto;

d) Influencia de la presión y del gas que rodea al condensador; mediciones en el vacío, con superficies degasadas;

e) Influencia de la naturaleza del dieléctrico;

f) Posible influencia del efecto sobre la tensión de ruptura;

g) Discusión a la luz de la moderna teoría de los sólidos.

Creemos que el resultado de este estudio sería de interés general para la técnica de las substancias aislantes. Como resultado con consecuencias prácticas directas mencionaremos solamente la posibilidad de obtener datos que eventualmente podrían conducir a mejoras en la manufactura de electretos. De acuerdo con las consideraciones esbozadas más arriba, el campo del electreto es debido a dos cargas de signo opuesto de casi igual valor absoluto. Si fuera posible impedir la formación de uno de ellos, el campo resultante sería muchas veces más intenso que el que ahora se observa.

---