

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**

*Departament de Física i Enginyeria Nuclear  
Grup de Propietats Elèctriques dels Materials Aïllants*

**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA  
CRISTALIZACIÓN FRÍA Y DEL  
ENVEJECIMIENTO FÍSICO EN LAS  
RELAJACIONES DE LOS POLÍMEROS  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE  
CORRIENTES ESTIMULADAS  
TÉRMICAMENTE**

Autor: Juan Carlos Cañadas Lorenzo

## **2 ELECTRETES**

### **2.1 Introducción**

Al polarizar un material dieléctrico los mecanismos de conducción activados por el campo se encuentran en un estado de desequilibrio que puede prolongarse durante un tiempo muy largo en comparación con el tiempo de polarización. A los dieléctricos que mantienen un depósito de carga prácticamente permanente se les denominan electretes [1-4].

El depósito puede ser de cargas reales, distribuidas en el interior y sobre la superficie de la muestra, o cargas ligadas. Al no compensarse estos dos tipos de cargas, el electrete presenta un campo eléctrico en su entorno.

Históricamente el electrete fue descubierto en 1919 por M. Eguchi [5] que utilizó una mezcla de cera de carnauba, cera de abeja y resina de pino, que situó entre láminas metálicas como si se tratara de un condensador y siguió la evolución de la carga acumulada observando que inicialmente la carga disminuía, a los pocos días se anulaba y acababa invirtiendo su signo inicial hasta estabilizarse. Este fenómeno, llamado efecto electrete, fue el motivo de la investigación desarrollada en este campo a lo largo de varias décadas y que culminó con los trabajos de Gross [6]. Alrededor de 1950 se incorporaron a este campo de investigación los polímeros, que al formar excelentes electretes darían origen a una nueva etapa que culmina con el descubrimiento de la piezoelectricidad y de las técnicas termoestimuladas.

## 2.2 Formación y características del electrete

En la Fig. 2.2.1 se describe el proceso de formación de los denominados termoelectretes. El proceso de formación de un electrete convencional se inicia elevando la temperatura de la muestra hasta alcanzar una temperatura ( $T_p$ ), llamada de polarización, a continuación se aplica un campo eléctrico ( $E_p$ ) durante un tiempo ( $t_p$ ), transcurrido el cual, se enfría la muestra, sin dejar de aplicar el campo eléctrico con la velocidad controlada hasta una temperatura ( $T_o$ ).

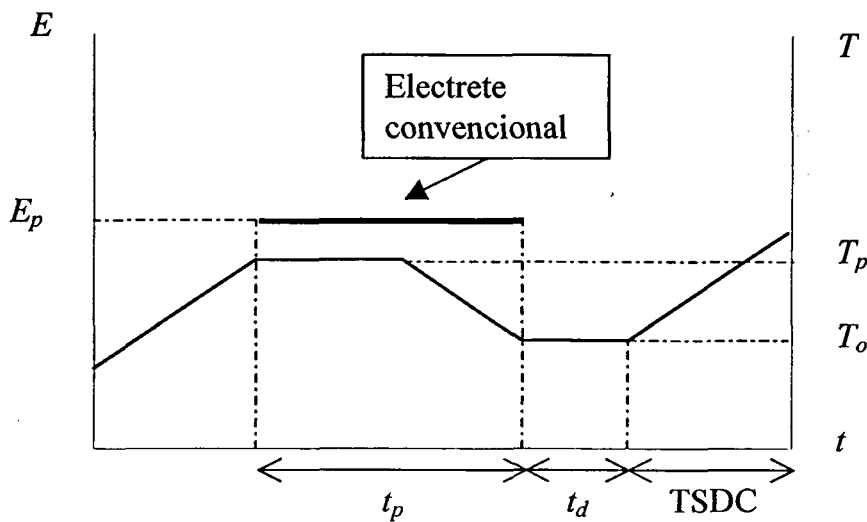


Fig. 2.2.1 Esquema de los diferentes tratamientos de formación de un electrete

Alcanzada la temperatura final del proceso, se inicia un periodo de tiempo, llamado de depósito ( $t_d$ ) en el transcurso del cual los mecanismos activados se reequilibran. En el caso dipolar la agitación térmica origina la desorientación de los dipolos a la temperatura  $T_o$  alcanzada. Por otro lado, las cargas libres que quedan atrapadas en el interior del material durante el proceso de polarización, inician un proceso de recombinación con las cargas de signo opuesto que encuentran al desplazarse en su dirección hacia los electrodos. El aumento de la viscosidad de la muestra, así como la variación del volumen libre de ésta son las condiciones, alcanzadas durante el enfriamiento, más importantes para la reestructuración de la orientación dipolar y la recombinación de cargas libres del material.

Una vez transcurrido el tiempo de depósito del material, comienza el proceso de despolarización con el aumento de la temperatura a una velocidad controlada, poniéndose de manifiesto una corriente de desplazamiento que puede ser registrada en el circuito exterior en función de la temperatura y que puede presentar diversos máximos debido a la existencia de polarizaciones de distinta naturaleza. Estas curvas son muy sensibles a las magnitudes experimentales que intervienen en el proceso de polarización, tales como: el campo eléctrico, la temperatura de polarización, el tiempo de polarización, así como a características propias de la muestra y al tipo de electrodos utilizados.

Los mecanismos de polarización de un dieléctrico que dan lugar a los diferentes picos son debidos a diferentes procesos microscópicos que podemos clasificar de la siguiente forma:

- Polarización electrónica e iónica
- Orientación dipolar.
- Formación de cargas de espacio.
- Formación de cargas superficiales.

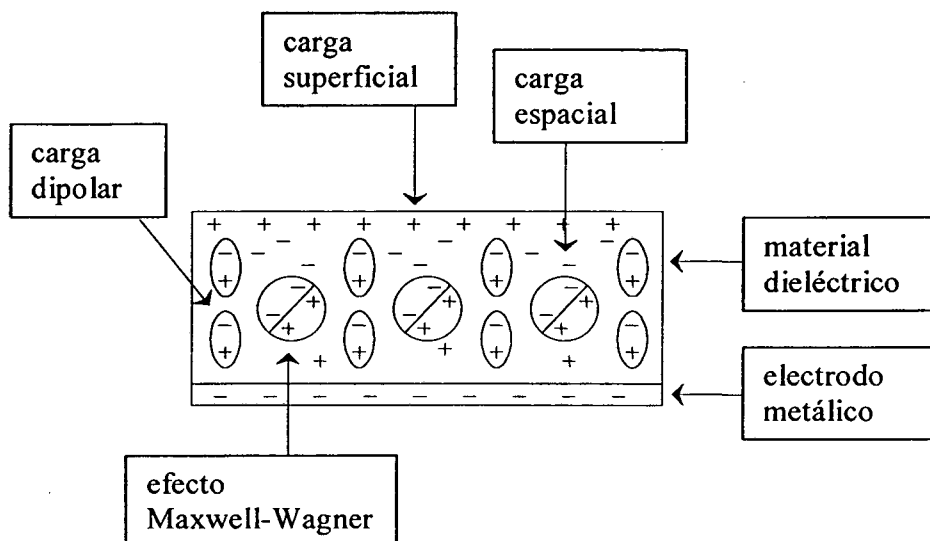


Fig. 2.2.2 Representación esquemática de la distribución de carga en una muestra metalizada por una cara.

Vamos a describir de forma breve cada uno de estos procesos:

### **2.2.1 Polarización electrónica e iónica**

#### **Polarización electrónica o atómica**

Al aplicar un campo eléctrico sobre un material aparecen efectos de deformación de los orbitales electrónicos de forma prácticamente instantánea, originándose un desplazamiento del centro de masas de las cargas positivas respecto del de las negativas, dando así lugar a un tipo de polarización atómico.

#### **Polarización iónica**

La polarización iónica se origina en aquellos materiales que disponen de enlaces heteropolares. La aplicación del campo eléctrico ocasiona un pequeño desplazamiento instantáneo entre iones de signo contrario, produciéndose dipolos iónicos inducidos. Esta polarización, como la electrónica, da lugar a procesos de resonancia que ocurren a frecuencias altas ( $10^8$  -  $10^{19}$  Hz) que son del orden de las frecuencias naturales de oscilación de las partículas.

En los siguientes apartados se describirá la movilidad de los dipolos permanentes así como el movimiento de las cargas libres del material. Estos mecanismos que trataremos son típicos de frecuencias bajas y dan lugar a la formación del conocido electrete que constituye la base de los estudios que se presentan en los capítulos posteriores.

### **2.2.2 Orientación dipolar.**

#### **Mecanismo polar asociado a dipolos permanentes.**

Al aplicar el campo, los dipolos permanentes del material se orientan en función de la intensidad del campo y en contra de la agitación térmica característica de la temperatura de polarización. La respuesta de polarización o despolarización dipolar es considerablemente más lenta que la electrónica e iónica.

### **2.2.3 Formación de cargas de espacio.**

#### **Formación de carga espacial en el volumen del material.**

Las cargas libres, electrones e iones, se activan por el campo dirigiéndose hacia los electrodos. El posible desplazamiento a distancias macroscópicas de las cargas, está condicionado por las posibles recombinaciones, centros de atrapamiento, imperfecciones del material y su propia movilidad, que es función de la temperatura. Por estas causas, las cargas libres quedan localizadas en el volumen del material, dando lugar a regiones de carga espacial.

Por otra parte, la existencia de gradientes de temperatura, apreciables en muestras gruesas, puede ocasionar la difusión de la carga y consecuentemente otra distribución espacial alternativa que posibilita la formación de nubes de carga que se pueden interpretar como dipolos macroscópicos.

#### **Efecto Maxwell-Wagner.**

Otro efecto de volumen importante se presenta en muestras heterogéneas en las que las cargas se desplazan con tendencia a acumularse en las interfases de separación de los componentes del material. En tal caso, la distinta permitividad entre zonas provoca que se acumulen cargas como si de pequeños condensadores se tratara. Al calentar las muestras, las cargas circulan en sentido opuesto y se disipan por conducción.

### **2.2.4 Formación de carga superficial.**

Si en el contacto muestra-electrodo existe entre ambos una pequeña separación ocupada por aire, es posible, mediante un campo eléctrico adecuado, la inyección de carga directa desde el electrodo al material. El efecto se debe a la ionización del aire que ocasiona un camino de acceso para las cargas que pasan del electrodo a la superficie de la muestra. Esta carga penetra en la muestra, provocando una densidad de carga superficial atrapada que tiene el mismo signo del electrodo polarizador y se disipa por conducción óhmica.

Estos diferentes tipos de cargas mencionados pueden coexistir en el electrete, denominándose homocarga a la carga superficial de origen externo que posee el mismo

signo del electrodo, mientras que a las que mantienen signo contrario, cargas intrínsecas del material, se las denomina heterocargas. La diferencia básica entre estos dos tipos de carga es el tiempo de relajación, que es relativamente corto para la heterocarga (días) y largo para la homocarga (años). El estudio de una caída de carga isotérmica indica la existencia de ambas clases de carga. En la Fig. 2.2.3 se muestra una caída de carga isotérmica siguiendo las variaciones del potencial eléctrico en la superficie de una muestra metalizada por una cara y cargada con un boquete de aire. Inicialmente el potencial va ligado a la carga de volumen heteropolar, posteriormente acaba dominando la carga homopolar atrapada ya que dispone de tiempos de relajación más largos.

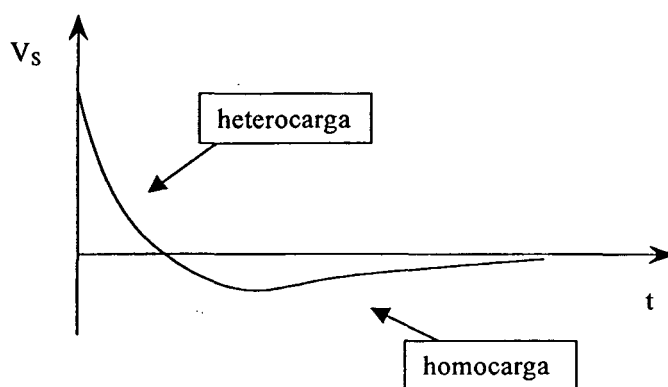


Fig. 2.2.3 Representación esquemática del potencial superficial durante la descarga isotérmica

### 2.3 Bibliografía

1. Perlman, M.M. *Electrets. Charge storage and transport in dielectrics*. (1973). The electroch. Soc. Inc.
1. 2. Van Turnhout, J., *Thermally Stimulated Discharge of Polymer Electrets*, (1975), Elsevier Sci. Publ. Co.
2. 3. Vanderschueren, J., *Electrets. Charge Storage and Transport in Dielectrics*, (1973), p155, Perlman, M., Elect. Soc. Inc.
3. Sessler, G.M., *Electrets*, Topics in Applied Physics vol. 33, ed. G.M. Sessler, (1980), Springer-Verlag, Berlin.
4. Hilczer, B. and Malecki, J., *Electrets*, Studies in Electrical and Electronic Engineering, vol.14, (1986), Elsevier-PWN-Polish Scientific Pub.
5. Eguchi, M., *Phil. Mag.*, 49, (1925), 178.
6. Gross, B., *Brit. J. Appl. Phys.*, 1, (1950), 259.