

# Intercambio de calor orientado a refrigeración de estado sólido en capacitores multicapa

Mariano Quintero ([mhquintero@gmail.com](mailto:mhquintero@gmail.com)) y Claudio Pastorino ([claudio.pastorino@gmail.com](mailto:claudio.pastorino@gmail.com)),  
Departamento de Física de Materia Condensada, CAC-CNEA

En este proyecto de Laboratorio 6 y 7 proponemos una combinación de trabajo experimental con simulación computacional para estudiar distintos aspectos del proceso de refrigeración mediante efecto electrocalórico. En una primera etapa de Laboratorio 6, se propone realizar simulaciones computacionales de dinámica molecular para estudiar los tiempos característicos de disipación de calor en una muestra de líquido y gas. En la segunda etapa se estudiará de manera experimental, mediante la utilización de termografía infrarroja, cómo es el intercambio de calor entre el dieléctrico y los electrodos metálicos, que se encargan de extraer el calor. En dieléctrico se produce el cambio de temperatura por efecto electrocalórico. Se intentará modelar los intercambios de calor entre dieléctrico y electrodos y la disipación, con enfoques experimental y computacional, para optimizar el diseño de dispositivos de refrigeración basados en este efecto.

## Introducción

Cuando se aplica sobre un material dieléctrico un campo eléctrico, este experimenta una disminución de la entropía asociada con la polarización, lo que termina resultando en un aumento de la temperatura del material. Al retirar el campo eléctrico la temperatura del material disminuirá debido al aumento de la entropía. De esta manera se puede explicar, brevemente, el efecto electrocalórico, que es uno de los efectos que se utilizan para desarrollar sistemas de refrigeración de estado sólido. Para esto es necesario controlar el intercambio de calor entre las diferentes partes del mecanismo de refrigeración, ya que, con una adecuada conducción del calor, es posible aumentar la frecuencia de trabajo, lo que mejora la eficiencia del dispositivo.

Entre las diferentes geometrías posibles para estudiar el efecto electrocalórico la de multicapas, que se presenta en capacitores comerciales, es una de las más versátiles ya que permite altos valores de campo eléctrico aplicando tensiones relativamente bajas entre los electrodos. Al mismo tiempo, la geometría favorece el intercambio del calor con el medio que la rodea, mediada por los electrodos metálicos, cuya conductividad térmica es alta. Esta geometría es la elegida para llevar a cabo el trabajo propuesto.

## Motivación

Cuando se aplica un campo eléctrico sobre los electrodos de un capacitor se activan simultáneamente dos fuentes de intercambio de calor. Por un lado, para tiempos cortos, el calor es dominado por el intercambio entre el dieléctrico y el metal de los electrodos. El segundo proceso es el intercambio de calor del capacitor con el medio que lo rodea, típicamente más largo que el primero.

Ambos mecanismos serán estudiados en este trabajo con dos abordajes distintos y complementarios.

## Intercambio de calor con el medio

Se propone disponer una muestra con un fluido en su interior, formado por partículas que interactúan con potenciales de Lennard-Jones e imponer sobre el sistema un ciclo térmico de calentamiento y enfriamiento para estudiar la respuesta térmica del sistema. El ciclo será similar al que se observa en experimentos con muestras que presentan efecto electrocalórico, que serán estudiadas en la parte experimental de este trabajo (Laboratorio 7)

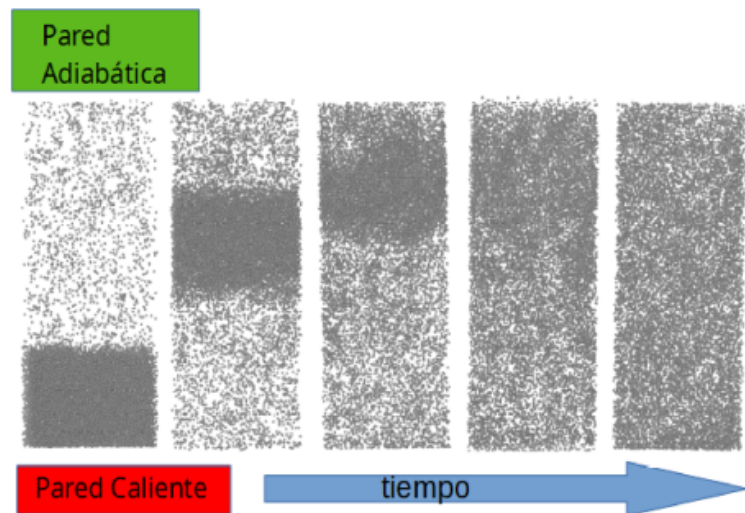
Como antecedente directo, presentamos la situación de la Figura 1. Allí se observa la evolución temporal de una muestra de un fluido (partículas grises) en coexistencia líquido-vapor, que inicialmente se encuentra en equilibrio termodinámico. Luego se calienta súbitamente la pared inferior a una temperatura por encima de la temperatura de ebullición del líquido. La pared superior es adiabática, es decir, no intercambia calor con el medio confinante. De esta forma, el sistema es calentado debido al flujo de calor de

la pared inferior. La interfaz líquida se encuentra al principio sobre la pared caliente (panel izquierdo, Fig 1) luego se forma una capa de vapor y la fase líquida se desplaza hacia el centro de la muestra para luego disolverse en un vapor supersaturado.

La propuesta de Laboratorio 6 es realizar simulaciones computacionales implementando un ciclo térmico similar al que se realizará en el experimento con la muestra electro-calórica, para estudiar los tiempos característicos

de disipación del calor. La idea es medir perfiles de temperatura y densidad del sistema para diferentes puntos del ciclo térmico de calentamiento y enfriamiento. El programa de dinámica molecular con los termostatos de paredes térmicas, le serán provistos a los estudiantes, pero deberán implementar la dependencia temporal con la temperatura y las rutinas (o scripts) de medición de la temperatura en la pared adiabática. Se estudiarán distintas temperaturas iniciales y frecuencias del ciclo térmico para caracterizar la disipación de este sistema, que se comparará luego con las mediciones de temperaturas realizadas en la muestra experimental.

Los alumnos se introducirán en los fundamentos de las técnicas de simulación computacional y el estudio de procesos térmicos y deberán poder realizar una implementación sencilla pero original en el programa de simulación computacional, que utiliza habitualmente nuestro grupo. Se familiarizarán también con el uso de clusters de supercómputo y la obtención de datos científicamente útiles a partir las simulaciones.



## Intercambio de calor entre dieléctrico y electrodos.

La estructura básica del capacitor es la que se muestra en la Figura 2. El dieléctrico (naranja) tiene intercaladas dos estructuras de capas interdigitadas de un metal. Esto puede pensarse como un capacitor de caras paralelas con un área muy grande y a su vez una distancia entre caras muy chica. Esto permite que se apliquen tensiones muy altas sin que se produzca la ruptura dieléctrica del material, a la vez que se obtienen campos eléctricos altos, lo que genera un efecto electrocalórico grande.

Si bien la gran superficie de contacto entre los electrodos y el dieléctrico provoca que el tiempo de intercambio de calor sea bajo, este no es nulo. Para estudiar este intercambio se estudiará la influencia de la frecuencia de las excitaciones eléctricas sobre los electrodos en la temperatura del capacitor. Para evitar pérdidas de calor por el intercambio con instrumentos de medición, se utilizará una cámara térmica *Flir e76* para realizar las mediciones.

Se contempla que en esta etapa los alumnos se familiaricen con el setup experimental, implementen el control de los diferentes instrumentos con una computadora utilizando el lenguaje Python y avancen en el análisis de los resultados obtenidos.

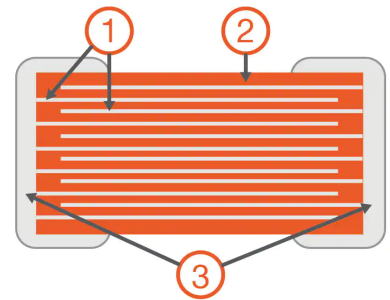


Figura 2: esquema de un capacitor multicapa.  
1) electrodos internos, 2) dieléctrico, 3) electrodos externos

## Factibilidad

Las simulaciones serán realizadas en las facilidades de cálculo avanzado del Grupo de Teoría y Simulación en Materia Blanda (GTSMB) y se contará con acceso al Laboratorio de Simulación, Modelado y Diseño Computacional (INN-CONICET-CNEA).

Las medidas experimentales serán realizadas utilizando las facilidades experimentales del Laboratorio de Propiedades Eléctricas y Magnéticas de Óxidos Multifuncionales (LPEMOM). Se proveerá a los estudiantes de todos los elementos necesarios para llevar adelante el proyecto propuesto.