

Capacitores y dieléctricos

Un capacitor está formado por dos conductores separados por un material aislante. Los conductores suelen tener cargas de igual magnitud pero de signo opuesto, o sea, la carga neta en el capacitor es nula. Puesto que la diferencia de potencial entre los conductores es proporcional a la carga, el cociente entre la magnitud de la carga y la diferencia de potencial es una constante que solo depende de la geometría (forma de los conductores, separación entre ellos) y el medio aislante que los separa (vacío, polímero, cerámica, etc.) (Véase la figura 1). Se define la capacitancia de un capacitor como la relación entre la magnitud de la carga de uno de los conductores y la diferencia de potencial entre ellos.

$$C = \frac{Q}{V}$$

En el Sistema Internacional de Unidades la unidad de capacitancia es el coulomb por volt (C/V), el cual se denomina farad (F). En idioma español se acepta llamarlo faradio.

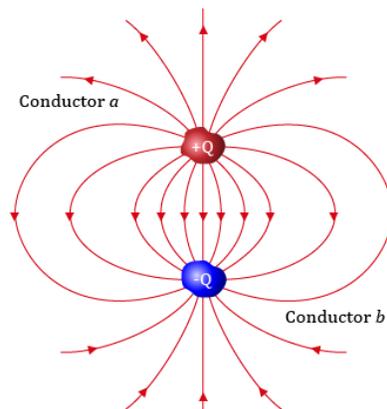


Figura 1. Esquema fundamental de un capacitor.

Los capacitores¹ se utilizan en muchas aplicaciones de la ingeniería, pero una de sus propiedades importantes es que este dispositivo puede almacenar energía. La energía que puede almacenar un capacitor es proporcional a la capacitancia.

Para obtener la capacitancia, generalmente se calcula la diferencia de potencial entre los materiales conductores, $V_{ab} = V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$, y luego se realiza el cociente entre Q y V . El cálculo de la diferencia de potencial requiere el conocimiento del campo eléctrico, el que en ocasiones puede calcularse mediante la Ley de Gauss.

¹ En ingeniería se llama *condensador*.

La tabla 1 muestra la capacitancia para algunas de las geometrías más comunes, en las que el medio es el vacío.

Tabla 1. Diferencia de potencial y capacitancia para el capacitor de placas paralelas, el capacitor cilíndrico y el capacitor esférico.

Geometría de los conductores	Diferencia de potencial	Capacitancia
Placas paralelas de área A y separación d	$V = \frac{Qd}{\epsilon_0 A}$	$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$
Capacitor de placas cilíndricas de radio interior a , radio exterior b y longitud L	$V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$	$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$
Capacitor de placas esféricas de radio interior a y radio exterior b	$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{b-a}{ab}$	$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a}$

Energía almacenada en un capacitor cargado

Esencialmente, al cargar un capacitor un agente externo transfiere carga desde la placa de menor potencial a la placa de mayor potencial. La energía que se requiere para cargar el capacitor se almacena en el dispositivo y se libera al descargarlo. En el proceso de carga, varía tanto la carga como la diferencia de potencial entre las placas. Al final del proceso, la carga final Q y la diferencia de potencial final V están relacionadas por $Q = CV$.

El trabajo total requerido para cargar el capacitor corresponde a la energía almacenada por el dispositivo.

$$W = U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV$$

La energía almacenada está contenida en el campo eléctrico establecido entre las placas del capacitor. Frecuentemente, es útil considerar la *densidad de energía* (u), es decir, la energía por unidad de volumen en el espacio comprendido entre las placas.

$$u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$$

Materiales dieléctricos

En la práctica, muchos de los capacitores tienen un material sólido no conductor entre sus placas conductoras; a este material se le llama *dieléctrico*. En la industria de los capacitores se utilizan películas de parafina, de polímeros o de óxidos no conductores.

El separar las placas metálicas con un dieléctrico tiene varias funciones: da soporte mecánico al sistema, es decir, mantiene las placas separadas, además, el dieléctrico puede soportar diferencias de potencial mayores al aire, sin que se llegue a romper, o sea, sin que se ionice el material y haya conducción entre las placas. Finalmente, la capacitancia aumenta cuando se introduce un dieléctrico entre las placas.

La relación entre la capacitancia del capacitor cuando se introduce el dieléctrico C y cuando las placas se separan por el vacío C_0 se llama la constante dieléctrica del material, K .

$$K = \frac{C}{C_0}$$

Las constantes dieléctricas de todos los dieléctricos son mayores que la unidad.

Cuando se introduce un dieléctrico entre las placas del capacitor el dieléctrico se polariza, es decir, hay una redistribución de las cargas positivas y negativas dentro del material (figura 2).

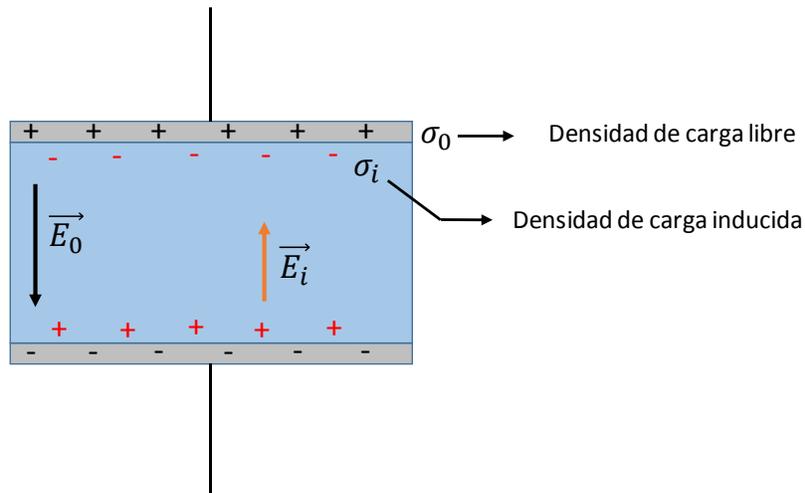


Figura 2. Carga inducida en un material dieléctrico

El campo eléctrico inducido en el dieléctrico se opone al campo debido a las cargas sobre las placas. Al mantener la carga constante, el campo eléctrico resultante (E) y la diferencia de potencial (V), son de menor magnitud respecto al campo y el potencial sin el dieléctrico (E_0 y V_0).

$$E = \frac{E_0}{K} \quad V = \frac{V_0}{K}$$

También, la *permitividad* del dieléctrico puede expresarse en términos de la permitividad del vacío,

$$\varepsilon = K\varepsilon_0$$

esto permite simplemente substituir ε por ε_0 en todas las expresiones, diferenciándose así cuando el medio que separa las placas es el vacío o el dieléctrico, por ejemplo $u = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$, para la densidad

de energía y $C = \varepsilon \frac{A}{d}$ para la capacitancia de un capacitor de placas paralelas, ambos con material dieléctrico.

En el caso de los dieléctricos, la ley de Gauss se expresa únicamente en términos de la *carga libre*, (carga en las placas metálicas) y se introduce la modificación del campo mediante la constante dieléctrica:

$$\oint K \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{\text{libre}}}{\varepsilon_0}$$