

Electromagnetismo Aplicado:

I. Principios de Teoría Electromagnética y Propiedades de Medios Materiales

F.P. Mena

Primavera 2011

I. Teoría E.M. y Materiales

- Ecuaciones de Maxwell
- Materiales
 - Conductores
 - Dieléctricos
 - Materiales magnéticos.
- Condiciones de frontera
- Funciones de potenciales
- Ecuaciones diferenciales para potenciales.

Dieléctricos - AC

- La permitividad dieléctrica tiene una fuerte dependencia con la frecuencia
 - Relajación (polarización orientacional)

$$\varepsilon(\omega) = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + j \omega / \omega_0}$$

- Resonancia (polarización iónica/electrónica)

$$\varepsilon(\omega) = \frac{N q^2}{m} \left(\frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + j k_F \omega} \right)$$

- Contribución a altas frecuencias

$$\varepsilon_\infty$$

Dieléctricos - AC

- Pérdidas en dieléctricos
 - Ley de Ampère

$$\nabla \times \mathcal{H} = \mathcal{J}_f + \frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t}$$

- Corrientes en un dieléctrico en un campo AC:

$$J(\omega, t) = \frac{dD(\omega, t)}{dt} = \frac{d[\epsilon(\omega)E(\omega, t)]}{dt} = \epsilon(\omega) \frac{d(E_0 e^{j\omega t})}{dt}$$

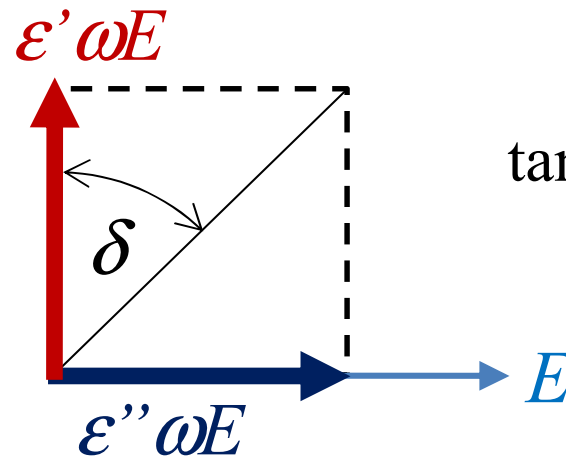
 $J(\omega, t) = \epsilon(\omega) j \omega E(\omega, t)$

Dieléctricos - AC

- Pérdidas en dieléctricos
 - Corrientes en un dieléctrico:

$$J = \underbrace{\varepsilon(\omega)j\omega E}_{\sigma(\omega)} = \varepsilon''(\omega)\omega E + j\varepsilon'(\omega)\omega E$$

Conductividad
compleja

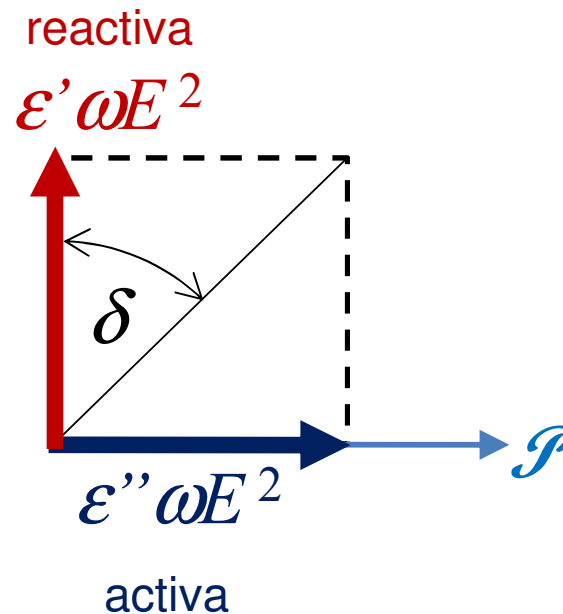


$$\tan \delta \equiv \frac{\varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)}$$

Dieléctricos - AC

- Pérdidas en dieléctricos
 - Ley de Joule

$$\mathcal{P} = \int_v \mathcal{E} \cdot \mathcal{J} dv \quad \longrightarrow \quad \mathcal{P} = E J = \varepsilon''(\omega)\omega E^2 + j\varepsilon'(\omega)\omega E^2$$



Dieléctricos - AC

- Pérdidas en dieléctricos

- Ley de Joule

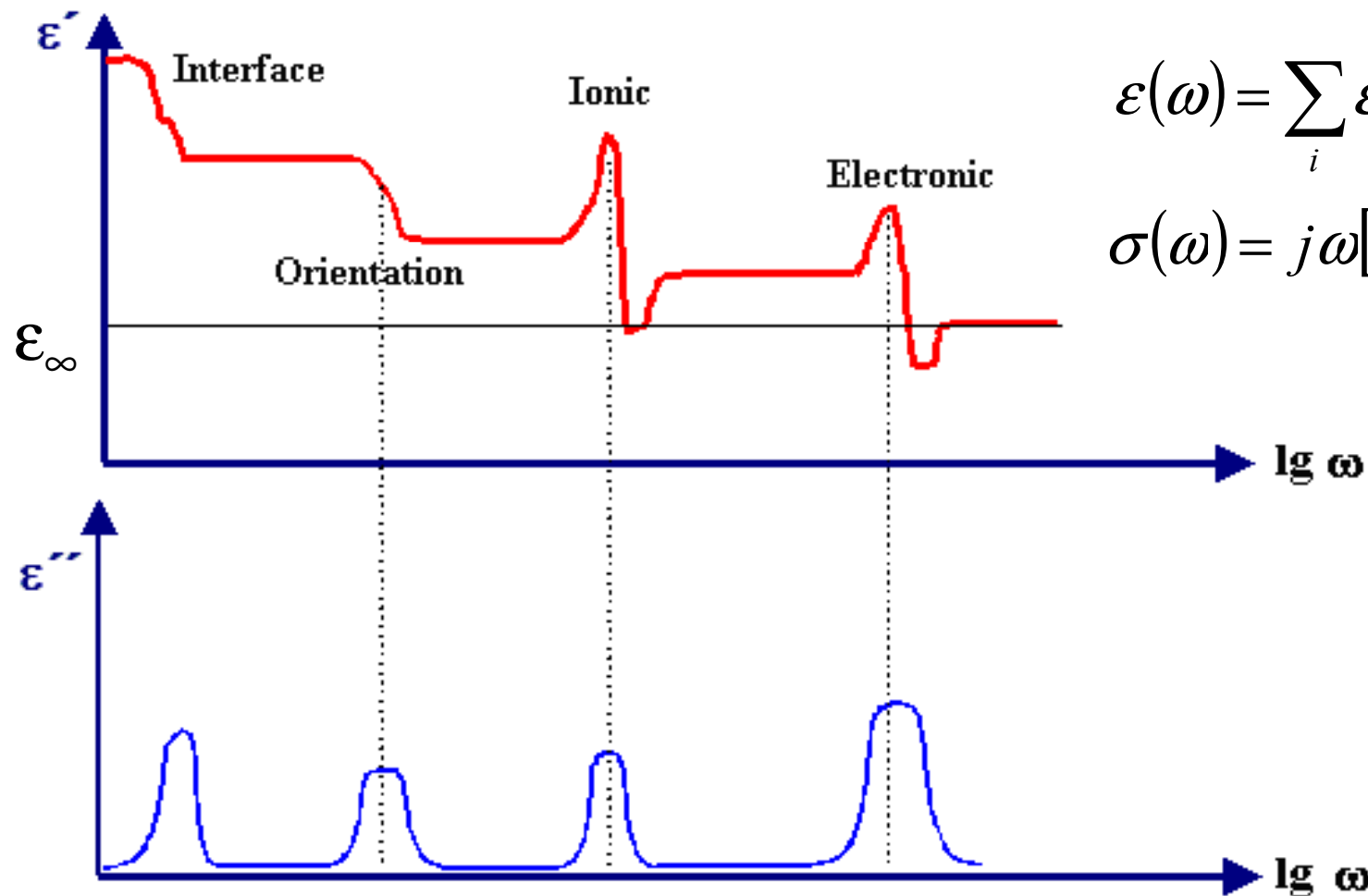
$$\mathcal{P} = \int_v \mathcal{E} \cdot \mathcal{J} dv \quad \longrightarrow \quad \mathcal{P} = E J = \varepsilon''(\omega) \omega E^2 + j \varepsilon'(\omega) \omega E^2$$

PREGUNTA: ¿A qué frecuencia es más efectivo el calentamiento de un dieléctrico?

$$\varepsilon(\omega) = \frac{N q^2}{m} \left(\frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + j k_F \omega} \right)$$

Dieléctricos - AC

- En un material pueden haber varias contribuciones



$$\epsilon(\omega) = \sum_i \epsilon_i(\omega) + \epsilon_\infty$$

$$\sigma(\omega) = j\omega[\epsilon(\omega) - \epsilon_\infty]$$

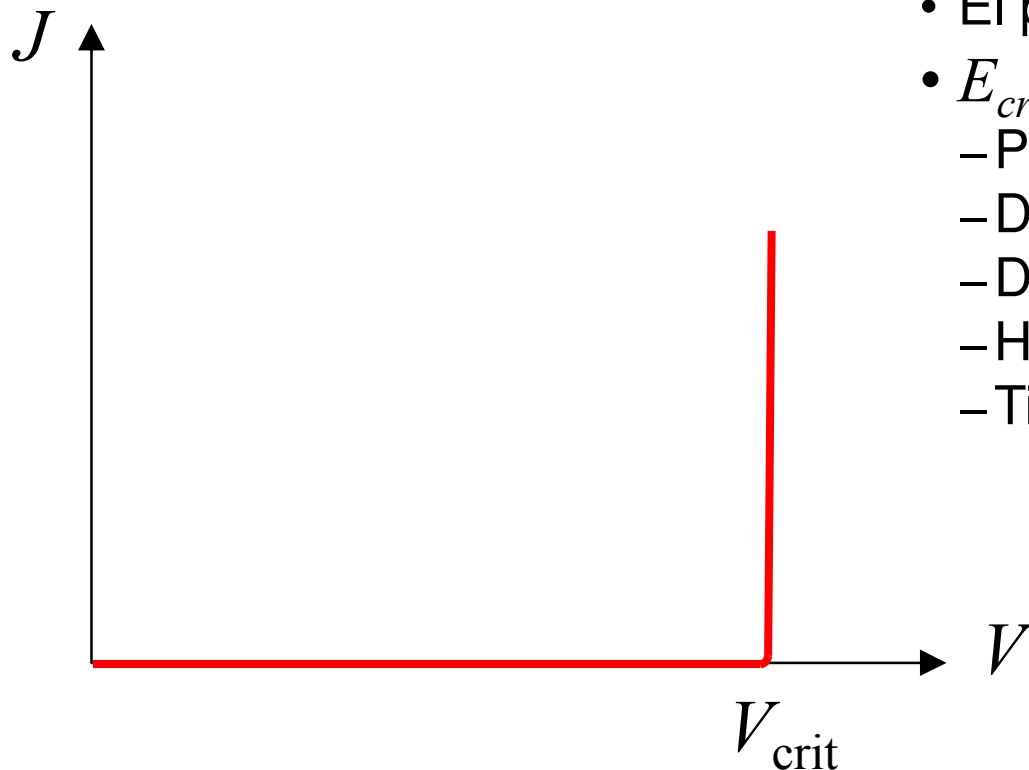
Dieléctricos - AC

- Pérdidas en dieléctricos
 - Algunos valores

Material	ϵ_r	$\tan \delta$ $\times 10^{-4}$
Al_2O_3	10	5....20
SiO_2	3,8	2
BaTiO_3	500	150
Nylon	3,1	10...0,7
Policarbonato ...etileno ...estírol	~ 3	
PVC	3	160

Dieléctricos

- Ruptura eléctrica (DC)



- Ocurre en $\sim 10^{-8}$ s
- El parámetro importante es E_{crit} .
- E_{crit} depende de:
 - Propiedades del material
 - Dimensiones
 - Defectos internos
 - Humedad ambiental
 - Tiempo

Dieléctricos

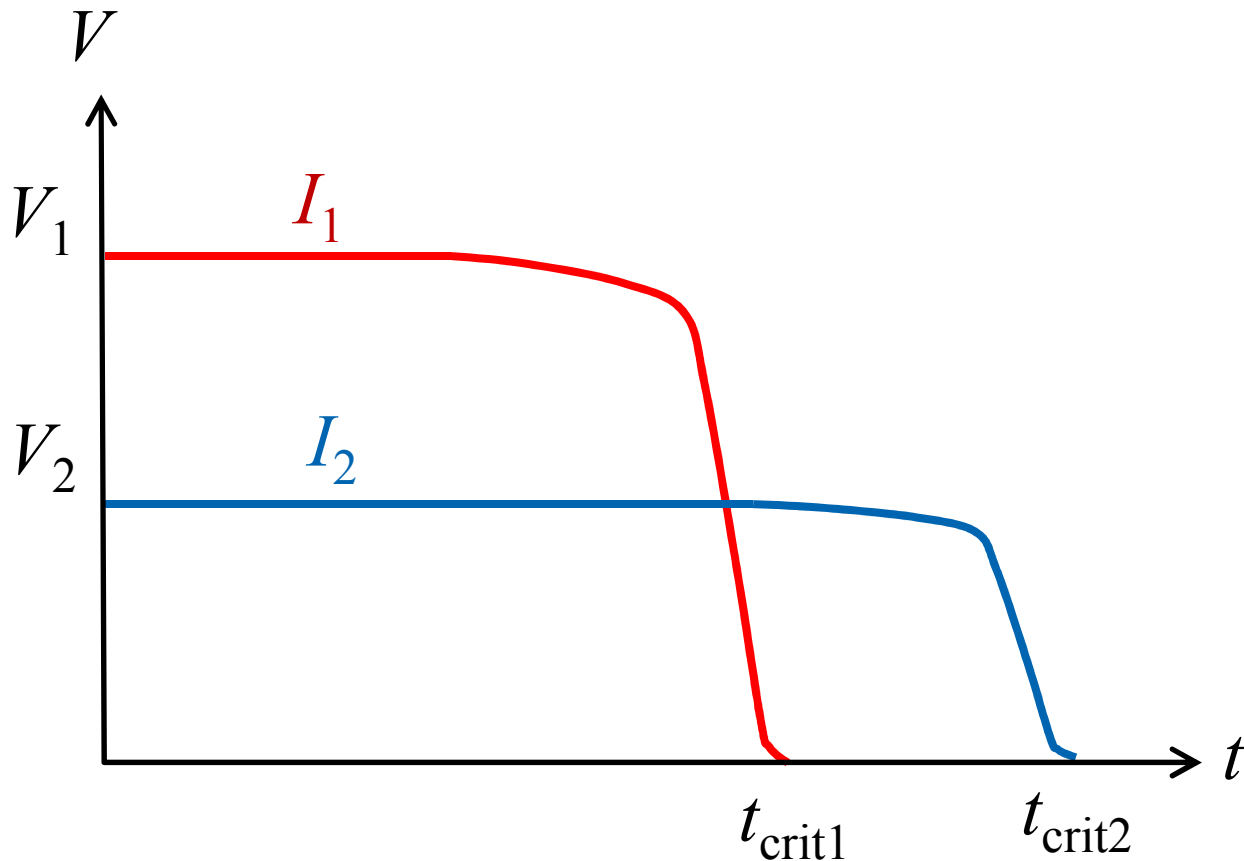
- Ruptura eléctrica (DC)

Material	Campo Crítico [kV/cm]
Aceite	200
Vidrio, Cerámicos	200...400
Mica	200...700
Papel Aceitado	1800
Polímeros	50...900
SiO ₂ en CIs	> 10 000

NOTA: Un material fabricado en láminas delgadas (~ 10 nm) puede tener mucha mayor E_{crit} que cuando fabricado como cuerpo extenso.

Dieléctricos

- Falla eléctrica (DC): Con el tiempo (meses/años) pueden aparecer corrientes de pérdida (leakage current).

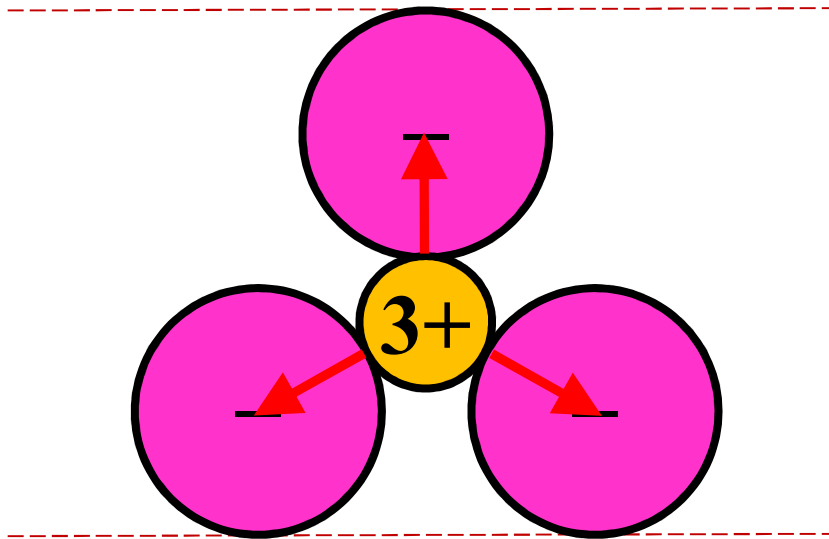


Dieléctricos

- Mecanismos de ruptura eléctrica
 - **Ruptura térmica:** corrientes locales que se calientan
 - **Ruptura por avalancha:** cargas libres aceleradas
 - **Descarga local:** pequeñas cavidades en cerámicos
 - **Ruptura electrolítica:** corrientes de iones en ambientes húmedos y ácidos

Dielectricos Especiales

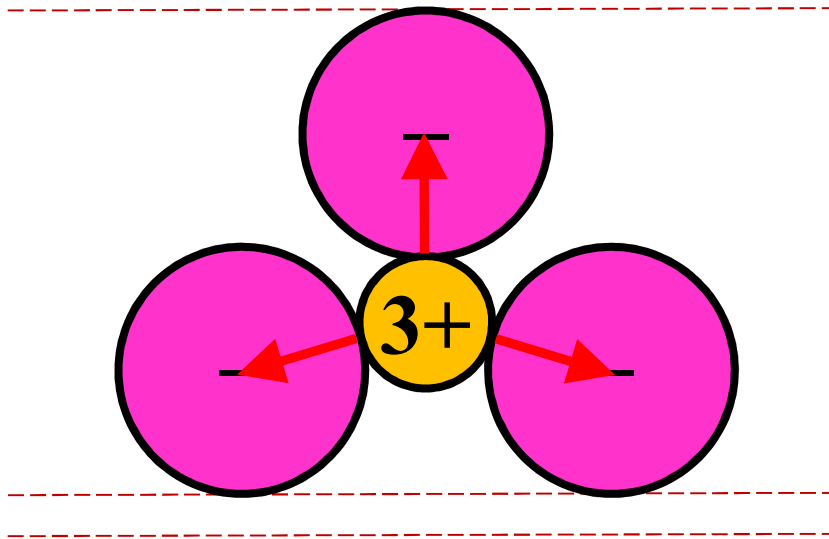
- Piezoeléctricos:
 - Polarización por deformación mecánica



$$\sum p = 0$$

Dieléctricos Especiales

- Piezoeléctricos:
 - Polarización por deformación mecánica



$$\sum p \neq 0$$

Dieléctricos Especiales

- Piezoeléctricos:
 - Polarización por deformación mecánica (y viceversa)
 - Osciladores para relojes
 - Micrófonos
 - Ultrasonido
 - Sensores de presión o longitud
 - Inyectores de gasolina
 - Posicionadores de precisión

Dieléctricos Especiales

- Otros efectos
 - **Electrostricción:** Polarización produce deformación pero no viceversa.
 - **Piroelectricidad:** Cambios de temperatura producen polarización
 - **Electretos:** Materiales con carga permanente
 - **Ferroelectricidad:** Materiales con polarización permanente en cada celda unitaria + interacción entre ellos = polarización total permanente

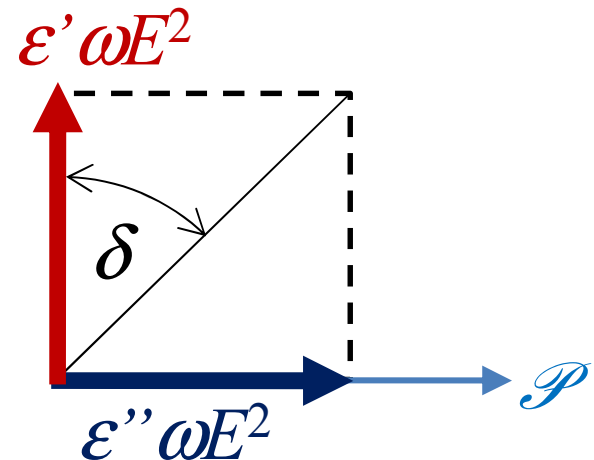
Moraleja del Día

- En un campo alterno, la permitividad dieléctrica es compleja:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega)$$

- Las pérdidas están asociadas con la parte imaginaria ($\tan \delta$)

$$\mathcal{P} = E J = \varepsilon''(\omega)\omega E^2 + j\varepsilon'(\omega)\omega E^2$$



Moraleja del Día

- Ruptura eléctrica y Falla eléctrica

