

Dieléctricos

J.E. Prieto

Fuente principal de figuras:

“Physics for scientists and engineers” (5th edition),

P.A. Tipler, G. Mosca

Comportamiento eléctrico de los materiales

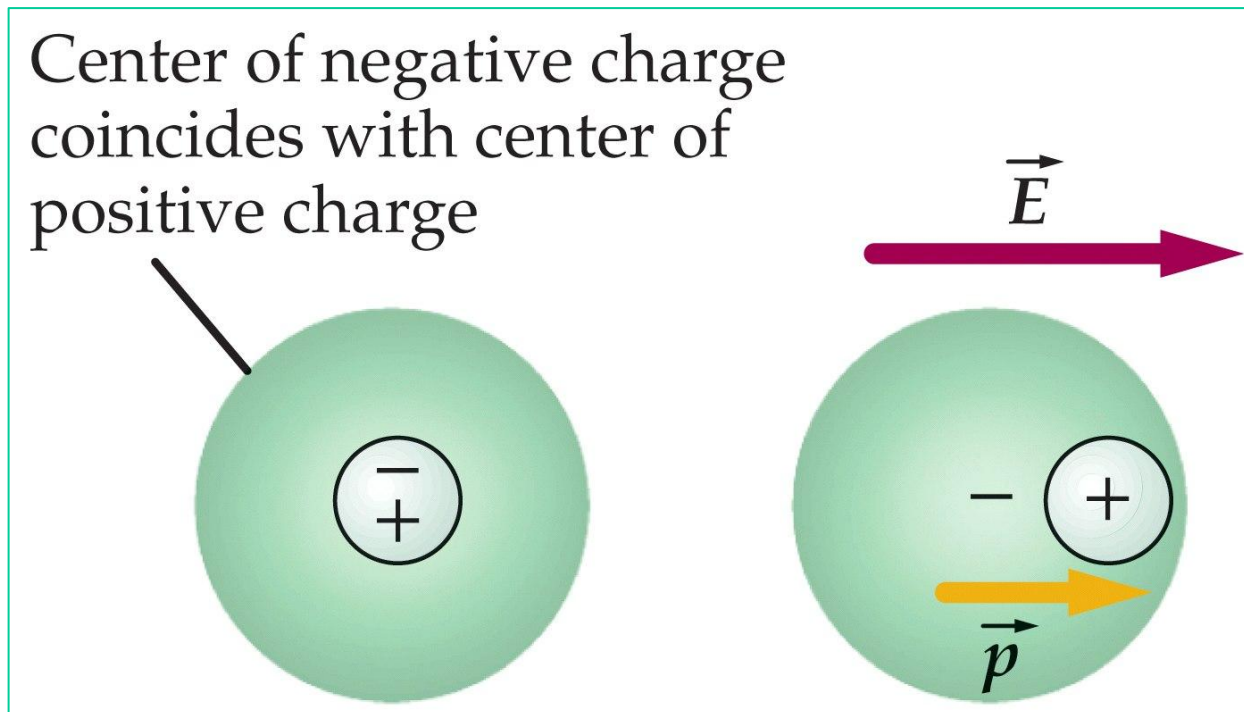
- Hay básicamente **dos tipos** de materiales en cuanto a su comportamiento eléctrico:
 - **Conductores**: transportan una *corriente eléctrica* cuando se les somete a un campo E . Ejemplos típicos: **metales**.
 - **Aislantes** o **dieléctricos**: no son capaces de conducir una corriente significativa. Ejemplos típicos: **cristales iónicos**, **sólidos moleculares**, **plásticos**...
- (en realidad hay una *tercera categoría*...)
 - **Semiconductores**: propiedades de conductividad intermedias entre conductores y aislantes y fácilmente modificables ¡**esenciales** en la **Electrónica**! Ej.: Si, GaAs...

Dieléctricos

- **Aislantes** o **dieléctricos** no son capaces de conducir una corriente significativa. Ejemplos típicos: **cristales iónicos**, **sólidos moleculares**, **plásticos**...
- Como todos los materiales, están constituidos por cargas positivas y negativas, pero en un aislante están **ligadas**. No son “**libres**”. **No pueden desplazarse “grandes” distancias** (sólo distancias del orden de las distancias atómicas) **en presencia de campo E** . Pueden estar formados por:
 1. Moléculas o átomos no polares (no tienen momento dipolar **p** en ausencia de **E**)
 2. Moléculas polares (poseen un momento dipolar intrínseco **p** también cuando **E** es 0)

Dielectricos

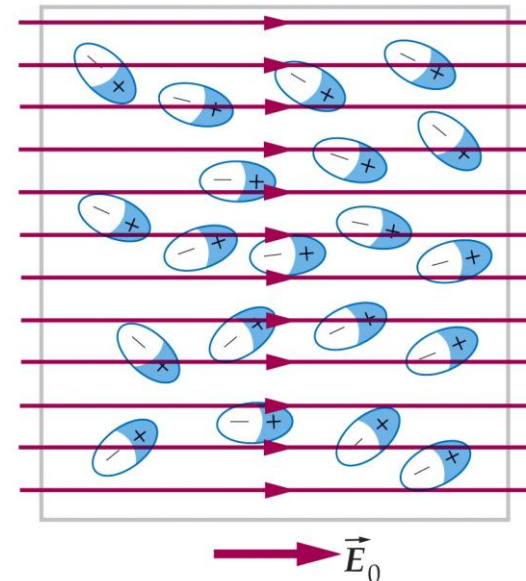
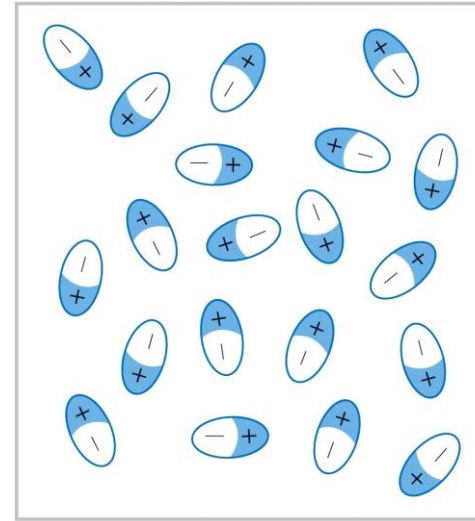
1. Materiales con moléculas o átomos no polares (no tienen momento dipolar \vec{p} en ausencia de \vec{E}):
 - El campo \vec{E} induce un momento dipolar \vec{p} en la dirección del campo: polarización



Dieléctricos

2. Moléculas polares (tienen momento dipolar intrínseco \mathbf{p})

- En **ausencia de \mathbf{E}** , los dipolos están orientados **aleatoriamente**:
- En **presencia de \mathbf{E}** , se orientan (parcialmente) **en la dirección del campo**:



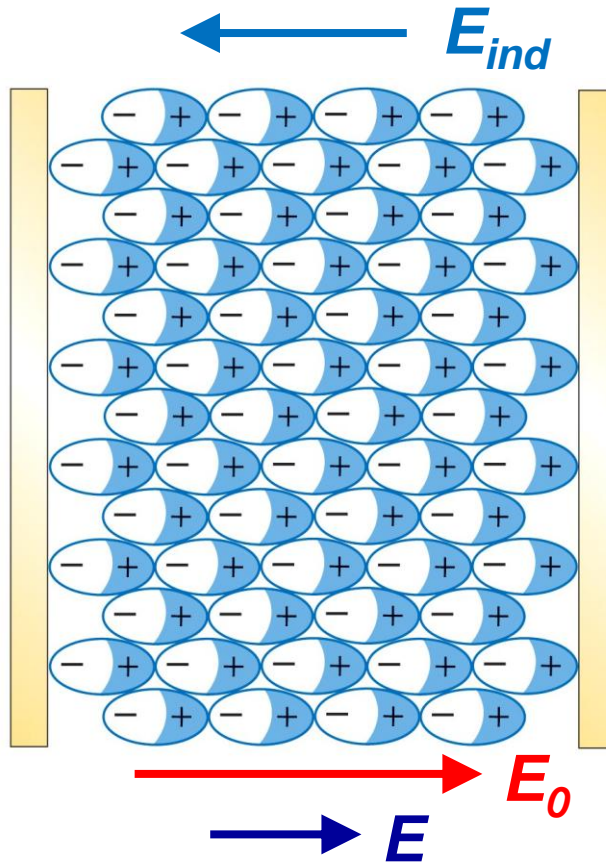
Recordamos:

Hemos visto cómo un dipolo \mathbf{p} se orienta en la dirección del campo \mathbf{E} para minimizar su energía.

Dieléctricos

- En ambos casos, el campo eléctrico E_0 externo *orienta los dipolos en la dirección del campo*:

→ el campo E_{ind} **inducido** (creado por la polarización inducida) **se opone** al campo externo:



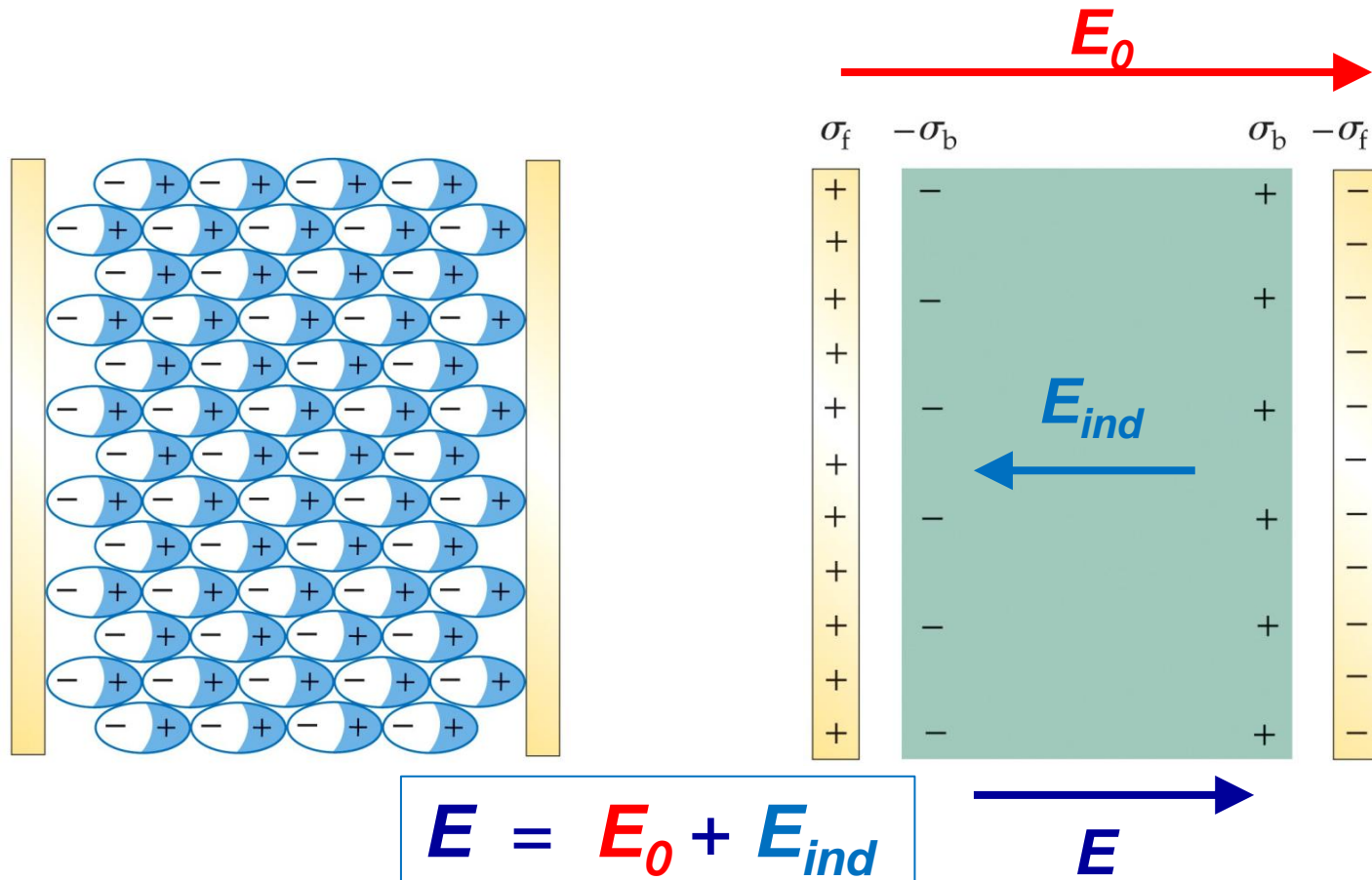
¡ El campo neto

$$E = E_0 + E_{ind}$$

disminuye !

Dieléctricos

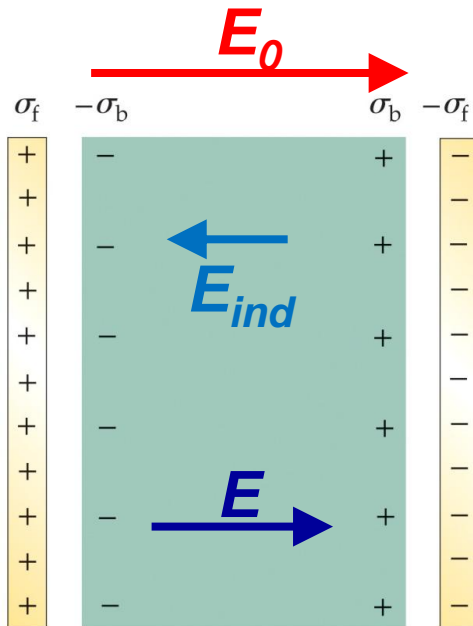
- La *polarización* del dieléctrico origina una *densidad superficial de carga ligada* σ_b cuyo campo E_{ind} se opone al campo E_0 externo producido por cargas libres de forma que *el campo resultante E es menor que E_0* .



Dieléctricos \leftrightarrow Conductores

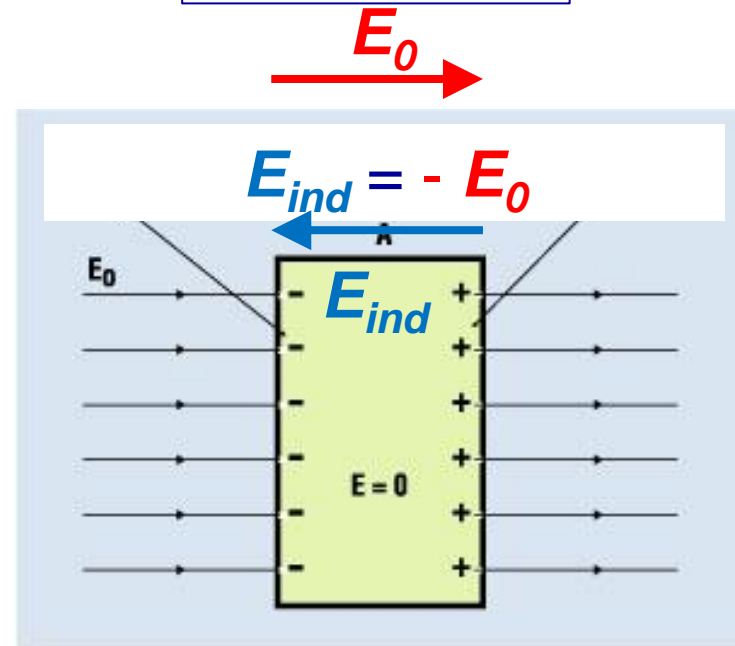
- Dieléctricos y conductores en presencia de \mathbf{E} : la misma respuesta en principio (polarización), con diferente intensidad:
 - Dieléctrico: *polarización parcial* (\mathbf{E} resultante = $\mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_{ind} < \mathbf{E}_0$)
 - Conductor: *polarización total* (\mathbf{E} resultante = $\mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_{ind} = 0$)

Dieléctrico



$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_{ind} < \mathbf{E}_0$$

Conductor



$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_{ind} = 0$$

Caracterización de dieléctricos

- En general, en un dieléctrico, el campo inducido E_{ind} es proporcional (y opuesto) al campo externo aplicado E_0 :

$$E_{ind} = -\alpha E_0$$

donde α es la *polarizabilidad* eléctrica del material.

$$E = E_0 + E_{ind} = E_0 - \alpha E_0 = (1 - \alpha) E_0$$

$$E = \frac{E_0}{\kappa}$$

$$\kappa = \frac{1}{1 - \alpha}$$

κ : **constante dieléctrica** o **constante dieléctrica relativa** del material.

$$\alpha < 1 \Rightarrow \kappa > 1$$

Es una magnitud *adimensional*.

Condensador con dieléctrico

- Si el campo \mathbf{E} *disminuye* en un factor κ , el potencial V *disminuye* también en el mismo factor κ .

$$E = \frac{E_0}{\kappa}$$

$$V(\mathbf{r}) = - \int_{r_0}^{\mathbf{r}} \mathbf{E} d\mathbf{r}$$

$$V = \frac{V_0}{\kappa}$$

→ La capacidad aumenta en un factor κ

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

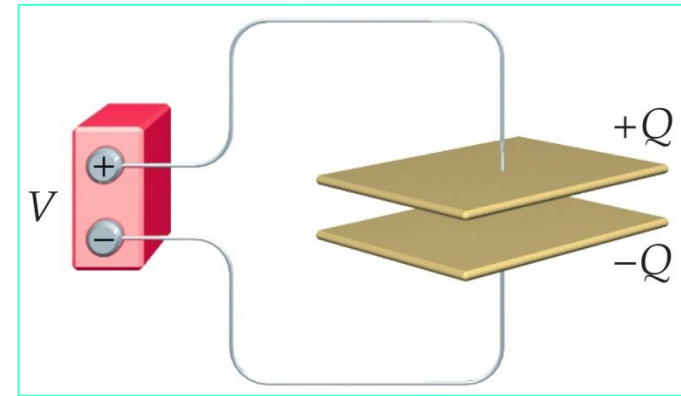
$$C = C_0 \kappa$$

- Aplicación de dieléctricos: aumento de la capacidad de condensadores.

Condensador con dieléctrico

- Aumento de la capacidad causada por un dieléctrico en el ejemplo más sencillo: el *condensador plano-paralelo*

$$E = \frac{E_0}{\kappa}$$

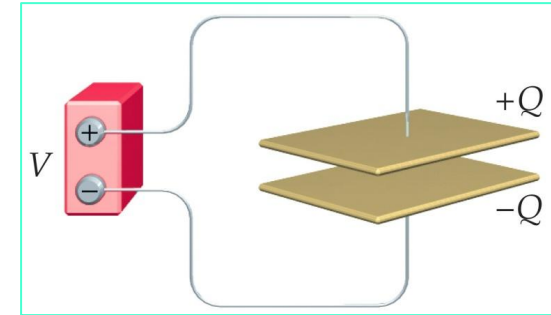


$$V = E d = \frac{E_0}{\kappa} d = \frac{Q d}{\kappa \epsilon_0 A}$$

Condensador con dieléctrico

- Vemos como en el ejemplo del condensador plano-paralelo la capacidad aumenta en un factor κ debido al dieléctrico

$$C \equiv \frac{Q}{V} = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon A}{d}$$



- La combinación $\kappa \epsilon_0$ aparece muy frecuentemente y recibe un nombre especial: *permitividad dieléctrica* del medio (tiene las mismas unidades que ϵ_0)

$$\epsilon = \kappa \epsilon_0$$

- ϵ : *permitividad dieléctrica* del medio
- κ : *constante dieléctrica* o *constante dieléctrica relativa* del medio

Campo eléctrico en dieléctricos

“RECETA”

Donde aparece ϵ_0 (para el vacío),
se sustituye por ϵ ($\epsilon = \kappa \epsilon_0$)

- Ejemplos:
 - **Capacidad** en el condensador plano-paralelo con dieléctrico:

$$C_{pp} = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d}$$

- **Densidad de energía** del campo \mathbf{E} en un dieléctrico.

$$u_{el} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 = \frac{1}{2} \kappa \epsilon_0 E^2$$

Resumen: Dieléctricos

- Dieléctrico *reduce* el campo E y el potencial V en un factor κ :

$$E = \frac{E_0}{\kappa}$$

$$V = \frac{V_0}{\kappa}$$

- La capacidad *aumenta* en un factor κ :

$$C = C_0 \kappa$$

- Magnitudes que caracterizan un medio dieléctrico:
 - κ : *constante dieléctrica* o *constante dieléctrica relativa* del medio (adimensional, $\kappa > 1$)
 - ϵ : *permitividad dieléctrica* del medio: (dimensiones de ϵ_0)

$$\epsilon = \kappa \epsilon_0$$

RECETA: Donde aparece ϵ_0 (para el vacío), se sustituye por ϵ ($\epsilon = \kappa \epsilon_0$)

Ruptura dieléctrica

- Además de la constante dieléctrica, hay otra magnitud importante que caracteriza a un dieléctrico: el campo eléctrico máximo E_{max} que resiste el material sin dejar de ser un aislante: *campo de ruptura dieléctrica*:
 - Ejemplo: en aire, por encima de $E_{max} \approx 3 \text{ kV / mm}$, salta un arco (chispa): el aire se *rompe dieléctricamente* (se *ioniza*, se forma un *plasma*) y pasa a ser *conductor*.

TABLE 24-1

Dielectric Constants and Dielectric Strengths of Various Materials

Material	Dielectric Constant κ	Dielectric Strength, kV/mm
Air	1.00059	3
Bakelite	4.9	24
Glass (Pyrex)	5.6	14
Mica	5.4	10–100
Neoprene	6.9	12
Paper	3.7	16
Paraffin	2.1–2.5	10
Plexiglas	3.4	40
Polystyrene	2.55	24
Porcelain	7	5.7
Transformer oil	2.24	12

