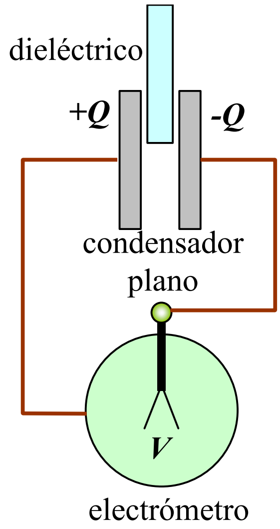
Tema 34.- Campo eléctrico en la materia

§34.1.- Efecto de un dieléctrico

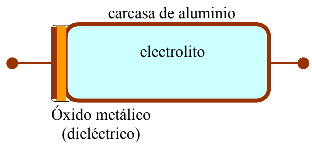


- Cuando se introduce el dieléctrico, la d.d.p. disminuye.
- La carga permanece constante
- La capacidad ($C = Q/V$) aumenta: $C\uparrow = \dfrac{Q}{V\downarrow}$

Ventajas del dieléctrico:

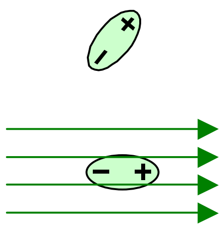
- Evita que las placas se toquen
- Aumenta la rigidez dieléctrica (tensión de ruptura
- Aumenta la capacitancia

Tipos de condensadores:



- Cerámicos
- de película (poliester metalizado)
- de mica
- Electrolíticos (óxidos metálicos)

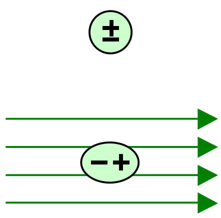
§34.2.- Teoría molecular de la carga inducida en el dielétrico



❖ moléculas polares (H_2O, N_2O,...):

En un campo eléctrico externo,

- incrementan su momento dipolar (***p***)
- se orientan en la dirección del campo.

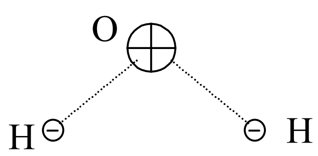


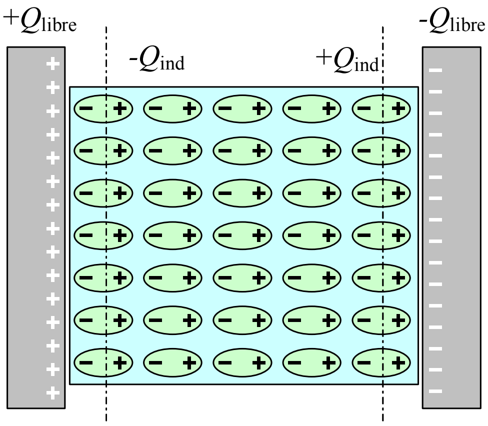
❖ moléculas no-polares (O_2, N_2, ...):

En un campo eléctrico externo,

- se polarizan
- se orientan en la dirección del campo.

❖ Molécula de agua (polar)



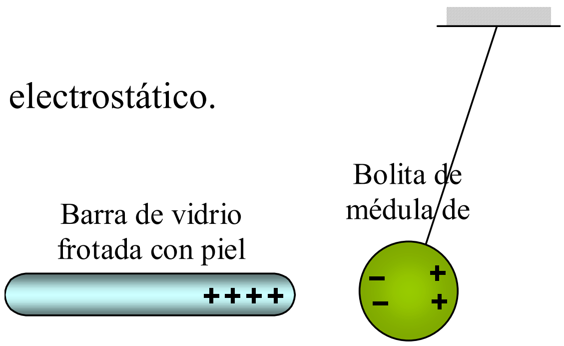


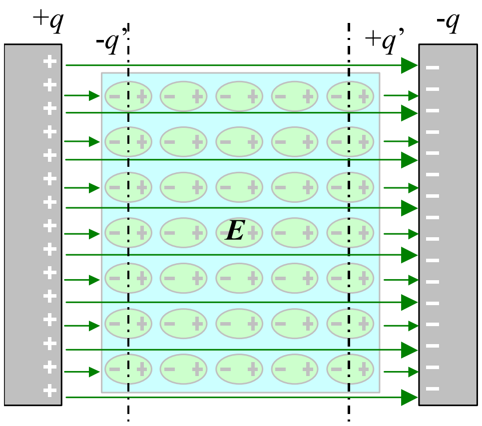
❖ Polarización del dieléctrico

- Carga libre (q) sobre las armaduras del condensador
- Carga inducida o ligada o de polarización (q') en las caras del dieléctrico

Este efecto puede ponerse de manifiesto con el péndulo electrostático.

- Inicialmente es atraída.
- Después del contacto, es repelida





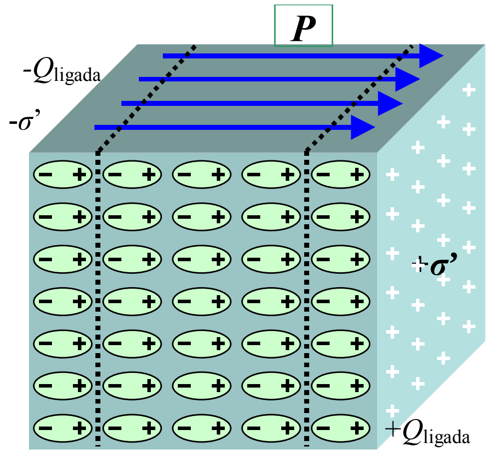
❖ Efectos de la carga de polarización (q'):

- reducción de carga neta: $q_{\text{neta}} = q + q'$
- el campo eléctrico en el dieléctrico (E) es menor que en el aire o vacío (E_0).
- La d.d.p. entre las armaduras (V) es menor que en el aire o vacío (V_0).

§34.3.- Polarización

- Grado en que las moléculas del dieléctrico se polarizan.
  - n dipolos por unidad de volumen:
  - momento dipolar: $\boldsymbol{p} = q\boldsymbol{\delta}$
  - momento dipolar por unidad de volumen: $\boxed{\boldsymbol{P} = n\,\boldsymbol{p} = nq\boldsymbol{\delta}}$
- La *polarización* $\boldsymbol{P}$ es una magnitud vectorial, paralela a $\boldsymbol{p}$ en cada punto.
- La *polarización* $\boldsymbol{P}$ es función de punto: $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}(x,y,z)$.
- Unidades de polarización: $\left(\dfrac{\text{dipolos}}{\text{m}^3}\right)(\text{C}\cdot\text{m}) = \dfrac{\text{C}}{\text{m}^2}$ (densidad superficial de carga)

34.3.a. Polarización uniforme



$$\delta \propto E \quad \to \quad p \propto E \quad \to \quad P \propto E$$

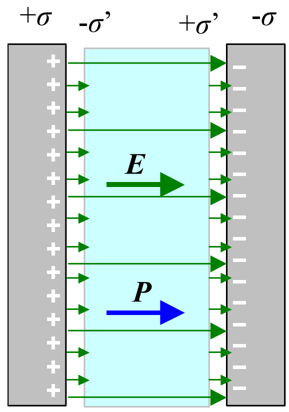
$$\sigma' = \frac{n(S\delta)q}{S} = nq\delta$$

$$\therefore \quad \boxed{|\boldsymbol{P}| = \sigma' \qquad \text{(densidad de carga ligada)}}$$

En general: $\boxed{\boldsymbol{P} \bullet \boldsymbol{e}_{\text{n}} = \sigma'}$

§34.4.- Susceptibilidad, permitividad y coeficiente dieléctrico

Medios homogéneos e isótropos



$$\boxed{\boldsymbol{P} = \chi(\varepsilon_0 \boldsymbol{E})} \qquad \boldsymbol{P} \parallel \boldsymbol{E}$$

Susceptibilidad:
- (vacío) $0 < \chi < \infty$ (¿conductor?)
- mide la facilidad para polarizarse
- es adimensional

$$P = \sigma' = \chi\varepsilon_0 E \quad \to \quad \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} = \chi E$$

$$E = \frac{\sigma - \sigma'}{\varepsilon_0} = E_0 - \chi E \quad \to \quad (1+\chi)E = E_0 \quad \to \quad \boxed{E = \frac{E_0}{1+\chi} = \frac{E_0}{\varepsilon_{\text{r}}}}$$

permitividad relativa:
- (vacío) $1 < \varepsilon_{\text{r}} < \infty$ (¿conductor?)
- mide la facilidad para polarizarse
- es adimensional

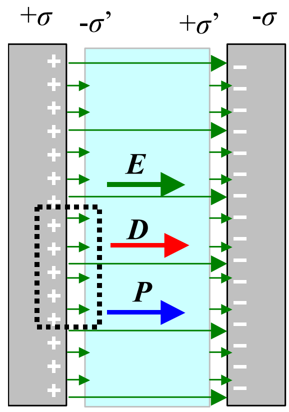
$$E = \frac{E_0}{\varepsilon_{\text{r}}} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon_{\text{r}}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \to \quad \boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon}} \qquad \boxed{\varepsilon = \varepsilon_{\text{r}}\varepsilon_0}$$

permitividad del dieléctrico:
- (vacío) $\varepsilon_0 < \varepsilon < \infty$ (¿conductor?)
- mide la facilidad para polarizarse
- unidades: F/m (faradio/metro)

Vemos que :

$$E < E_0 \quad \rightarrow \quad \begin{cases} V = El = \dfrac{E_0}{\varepsilon_r} l = \dfrac{V_0}{\varepsilon_r} & \rightarrow \quad V < V_0 \\ C = \dfrac{Q}{V} = \varepsilon_r \dfrac{Q}{V_0} = \varepsilon_r C_0 & \rightarrow \quad C > C_0 \end{cases} \quad \rightarrow \boxed{C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{l} = \varepsilon \frac{S}{l}}$$ (condensador plano)

§34.5.- Vector Desplazamiento Eléctrico



También llamado *inducción eléctrica.*

$$E = \frac{\sigma - \sigma'}{\varepsilon_0} = E_0 - \frac{P}{\varepsilon_0} \quad \rightarrow \quad \varepsilon_0 \boldsymbol{E}_0 = \varepsilon_0 \boldsymbol{E} + \boldsymbol{P}$$

Desplazamiento eléctrico: $\boxed{\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E} + \boldsymbol{P}}$

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E} + \underline{\chi \varepsilon_0 \boldsymbol{E}} = (1+\chi)\varepsilon_0 \boldsymbol{E} = \varepsilon \boldsymbol{E} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} \boxed{\boldsymbol{D} = \varepsilon \boldsymbol{E}} & \text{(dieléctrico)} \\ \boxed{\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E}} & \text{(en el vacío)} \end{cases}$$

$$D = \varepsilon_0 E + P = (\sigma - \sigma') + \sigma' = \sigma \quad \rightarrow \quad \boxed{D = \sigma} \qquad \text{(densidad de carga libre)}$$

$$\begin{cases} \Phi_E = \oint_S \boldsymbol{E} \bullet \mathrm{d}\boldsymbol{S} = ES = \dfrac{\sigma - \sigma'}{\varepsilon_0} S = \dfrac{q - q'}{\varepsilon_0} = \dfrac{q_{\text{neta}}}{\varepsilon_0} \\ \Phi_D = \oint_S \boldsymbol{D} \bullet \mathrm{d}\boldsymbol{S} = DS = \sigma S = q = q_{\text{libre}} \\ \Phi_P = \oint_S \boldsymbol{P} \bullet \mathrm{d}\boldsymbol{S} = PS = -\sigma' S = -q' = -q_{\text{ligada}} \end{cases} \quad \rightarrow \quad \begin{cases} \nabla \bullet \boldsymbol{E} = \dfrac{\rho - \rho'}{\varepsilon_0} \\ \nabla \bullet \boldsymbol{D} = \rho \\ \nabla \bullet \boldsymbol{P} = -\rho' \end{cases}$$

Ejemplo: Esfera conductora rodeada por un dieléctrico.

$$\Phi_D = \oint_S \boldsymbol{D} \bullet \mathrm{d}\boldsymbol{S} = DS = 4\pi r^2 D = Q \quad \rightarrow \quad \boxed{\boldsymbol{D} = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{r^2} \boldsymbol{e}_r}$$

$$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{D}}{\varepsilon} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q}{r^2} \boldsymbol{e}_r \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{E}_0}{\varepsilon_r}$$

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{D} - \varepsilon_0 \boldsymbol{E} = \varepsilon \boldsymbol{E} - \varepsilon_0 \boldsymbol{E} = (\varepsilon - \varepsilon_0) \boldsymbol{E}$$

$$\boldsymbol{P} = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_0)}{4\pi\varepsilon} \frac{Q}{r^2} \boldsymbol{e}_r \quad \rightarrow \quad \sigma' = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_0)}{4\pi\varepsilon} \frac{Q}{r^2}$$

$$\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Qq}{r^2} \boldsymbol{e}_r \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{F} = \frac{\boldsymbol{F}_0}{\varepsilon_r}$$