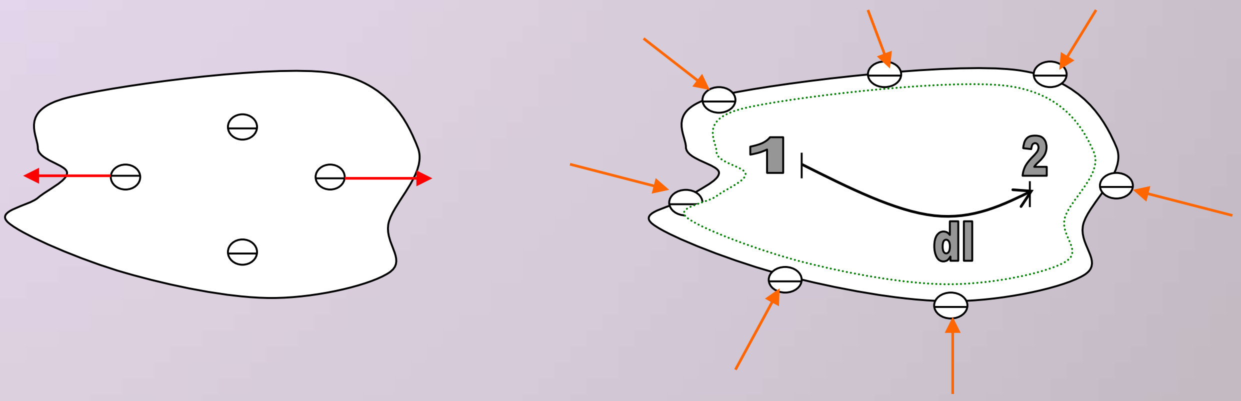
Departamento de Física
Universidad de Jaén

Electricidad

- ✓ **Campo Eléctrico**
- ✓ Campo Eléctrico en la materia
- ✓ **Corriente Eléctrica**

1- Conductor ideal

- Podemos distinguir tres tipos de materiales, en cuanto a su comportamiento eléctrico: Conductores, Dieléctricos y Semiconductores.
- Conductor Ideal: Los electrones pueden moverse libremente en él.



- Dentro de la superficie de Gauss en un conductor ideal $q = 0$, por tanto:

$$\phi = \oint \overline{E} \cdot d\overline{S} = \frac{q}{\varepsilon_0} = 0$$

$$\overline{E}_{int} = 0$$

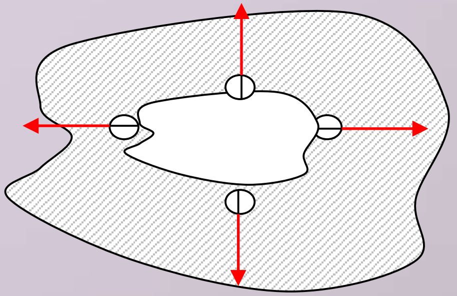
1- Conductor ideal

Además, la diferencia de potencial entre los puntos 1 y 2 será:

$$dV = -\vec{E}\cdot d\vec{l} = 0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{V_1 = V_2}$$

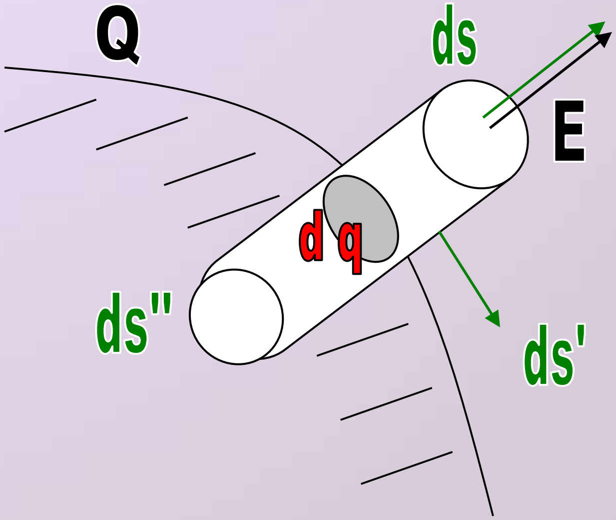
- Todos los puntos de un conductor ideal están al mismo potencial.
- **Jaula de Faraday**: Es un conductor con cavidades.

Las cargas se van a la superficie externa. Por tanto, E_{int} vuelve a ser nulo. Los campos eléctricos externos no afectaran a los huecos de los conductores.



2- Teorema de Coulomb

Consiste en el cálculo de campo eléctrico producido en la superficie de los conductores cargados. Para esto aplicaremos el Teorema de Gauss:



$$d\phi = \overline{E}\cdot d\overline{S} + \overline{E}\cdot d\overline{S}' + \overline{E}\cdot d\overline{S}''$$

$$\overline{E}\cdot d\overline{S}' = 0 \qquad \text{(Perpendiculares)}$$

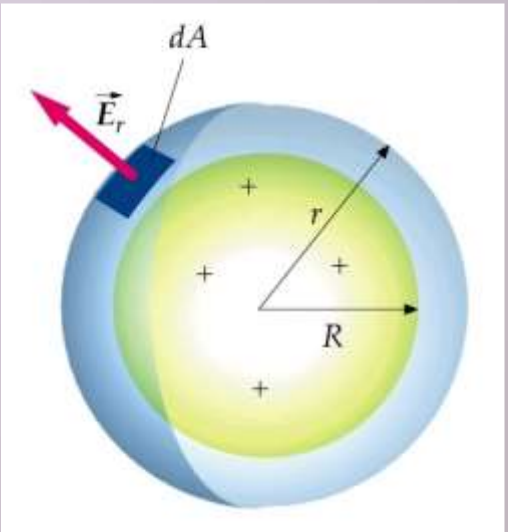
$$\overline{E}\cdot d\overline{S}'' = 0 \qquad \text{(E nulo)}$$

$$\overline{E}\cdot d\overline{S} = E\, dS$$

$$d\phi = E\, dS = \frac{dq}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma\, dS}{\varepsilon_0} \quad \Rightarrow \quad \boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$

3 - Ejemplo

- Determinar el campo eléctrico producido por una esfera conductora cargada con Q, en cualquier punto del espacio:



- En $r < R \Rightarrow E = 0$
- En $r = R \Rightarrow$ $\boxed{E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}}$
- En $r > R \Rightarrow$ Teorema de Gauss

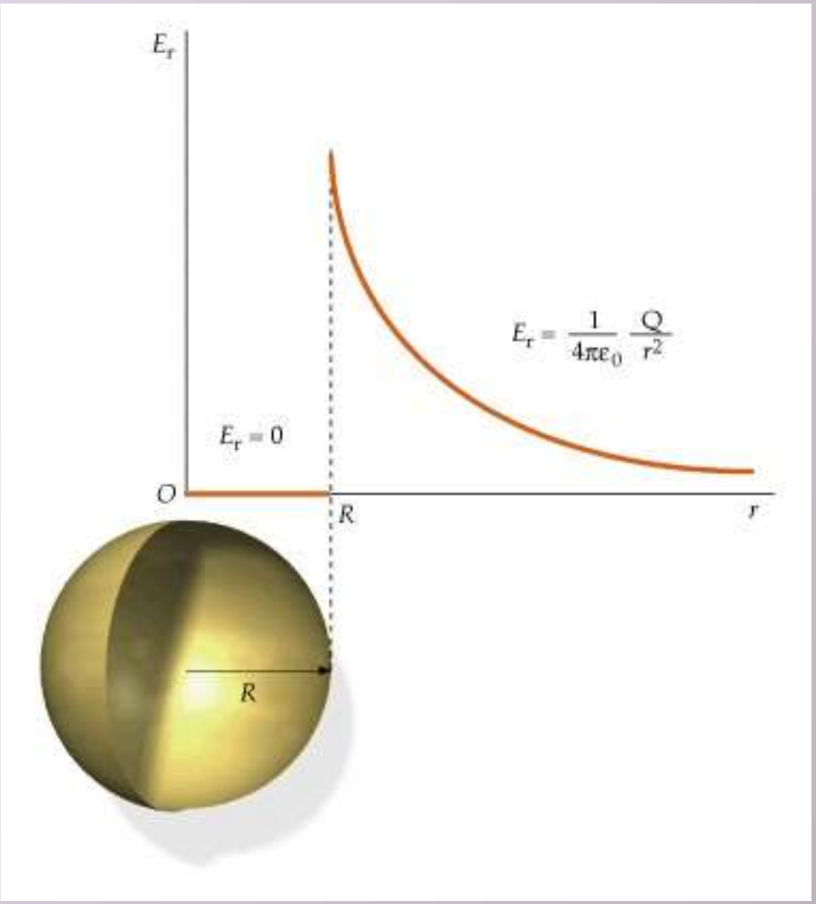
$$\phi = \int \vec{E}\cdot d\vec{S} = \int E\, dS = E \cdot 4\pi r^2$$

$$\phi = \frac{q}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma S'}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma 4\pi R^2}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0 r^2}}$$

3 - Ejemplo

Representación gráfica de la solución:



3 - Ejemplo

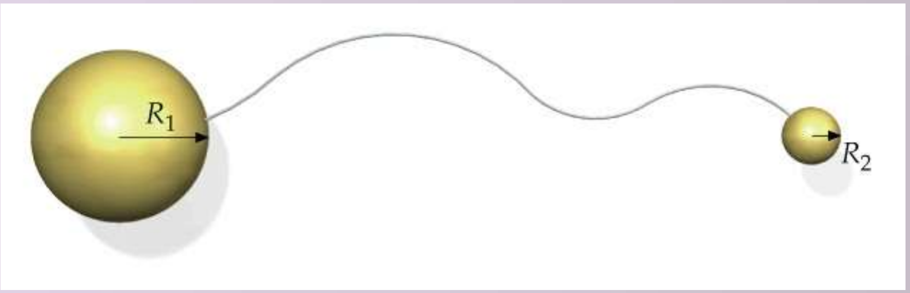
Para calcular el potencial de la esfera: $dV = -\bar{E}\cdot d\bar{l}$

$$\int_R^\infty dV = -\int_R^\infty E\cdot dr = -\frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0}\int_R^\infty \frac{dr}{r^2} = -\frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0}\left(-\frac{1}{r}\right)_R^\infty$$

$$\Rightarrow \quad V_\infty - V_R = -\frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0 R} \quad \Rightarrow \quad V_R = \frac{\sigma R}{\varepsilon_0} = \frac{q R}{4\pi R^2 \varepsilon_0} \quad \Rightarrow$$

$$\boxed{V_R = \frac{q}{4\pi R\,\varepsilon_0}}$$

3 - Ejemplo

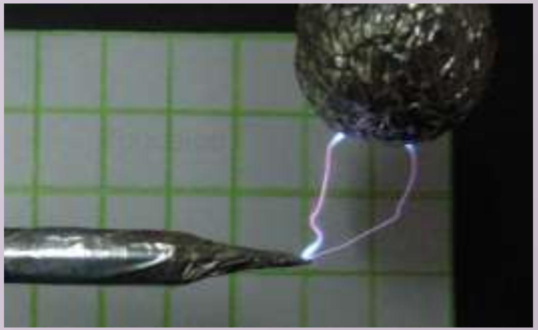


- Si conectamos dos esferas:

  $V_1 = V_2 = V$

$$V_1 = \frac{\sigma_1 R_1}{\varepsilon_0} \qquad V_2 = \frac{\sigma_2 R_2}{\varepsilon_0} \quad \Rightarrow \quad \sigma_1 R_1 = \sigma_2 R_2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}}$$

por tanto, σ es inversamente proporcional a R (**Efecto Puntas**).



4 - Condensadores

- Condensador: cualquier dispositivo capaz de almacenar carga y energía eléctrica.

- Capacidad

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

- Faradio = 1 C / 1 V

- Por ejemplo, para un conductor esférico: $V_R = \dfrac{q}{4\pi R\,\varepsilon_0}$

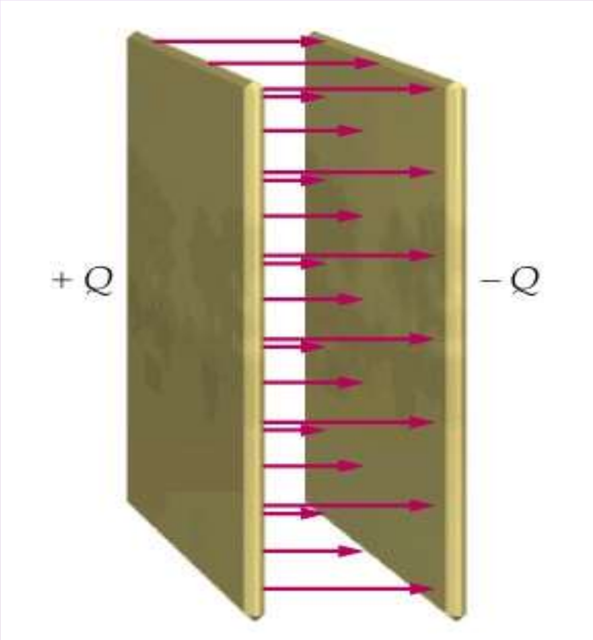
$$C = 4\pi\varepsilon_0 R$$

Para la Tierra: $C = 6 \cdot 10^{-4}$ F

Simulación

4 - Condensadores

- Condensador de placas planas paralelas: $C = \dfrac{q}{\Delta V}$



Para obtener la diferencia de potencial entre las placas necesitamos el campo eléctrico en el condensador:

$$E_{Fuera} = 0 \quad \text{pues} \quad q_T = 0$$

Dentro de las placas, por el Teorema de Coulomb es:

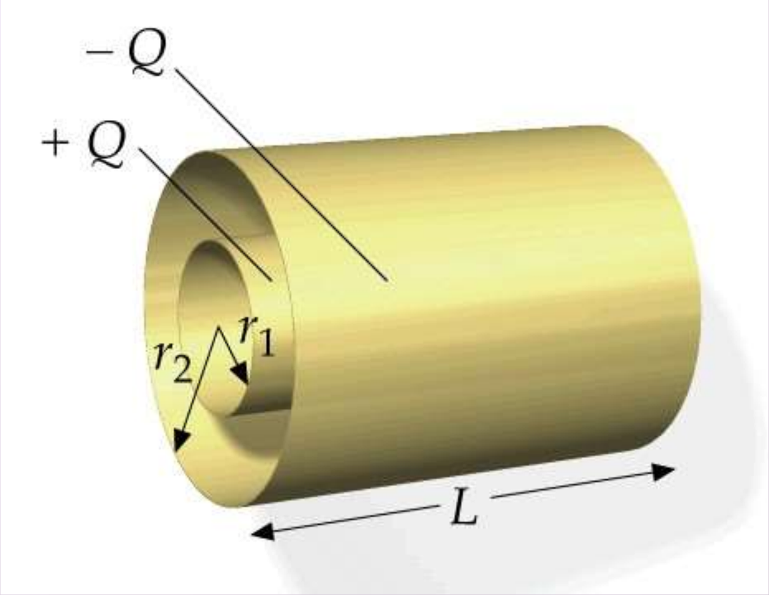
$$E_{Dentro} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$\Delta V = -\int_1^2 E \cdot dl = -E\, d \quad \Rightarrow \quad C = \frac{q}{E\, d} = \frac{\varepsilon_0}{\sigma}\frac{q}{d} \quad \Rightarrow \quad \boxed{C = \varepsilon_0 \frac{S}{d}}$$

4 - Condensadores

- Condensador Cilíndrico:

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$



$$\Delta V = -\int_1^2 E \cdot dl$$

Para obtener el campo eléctrico dentro de las placas, aplicamos el Teorema de Gauss:

$$\phi = \oint \overline{E} \cdot d\overline{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

Tomamos como superficie de Gauss un cilindro cerrado de radio r (mayor que r_1 y menor que r_2):

4 - Condensadores

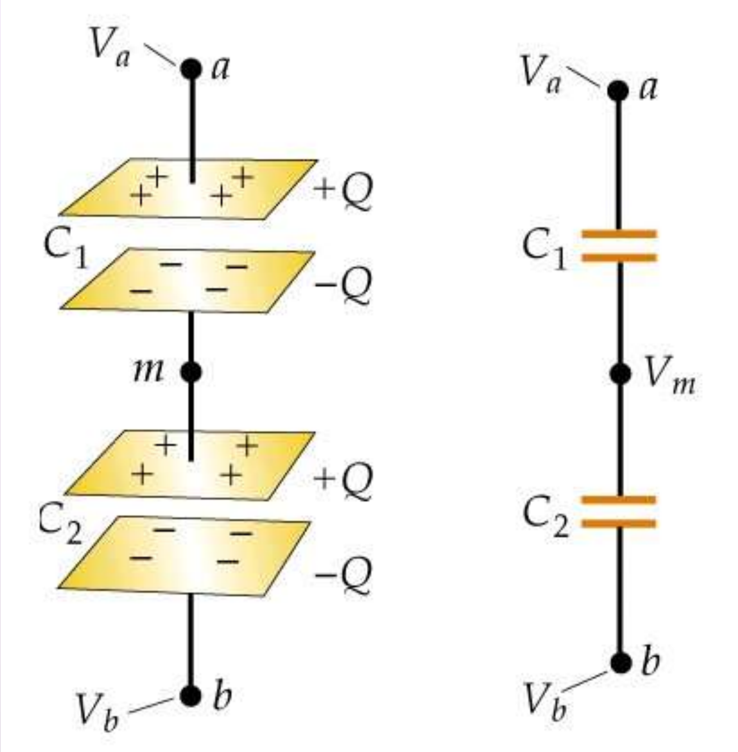
$$E_r\, 2\pi r L = \frac{q}{\varepsilon_0} \quad \Rightarrow \quad E_r = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 L r}$$

$$\Delta V = -\int_a^b \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 L r}\, dr = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 L} \ln\frac{b}{a}$$

$$C = \frac{q}{\Delta V} \quad \Rightarrow \quad \boxed{C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}}$$

5 - Asociación de Condensadores

- En Serie: Cada condensador tendrá la misma carga.



$$V_1 = \frac{q}{C_1} \qquad V_2 = \frac{q}{C_2}$$

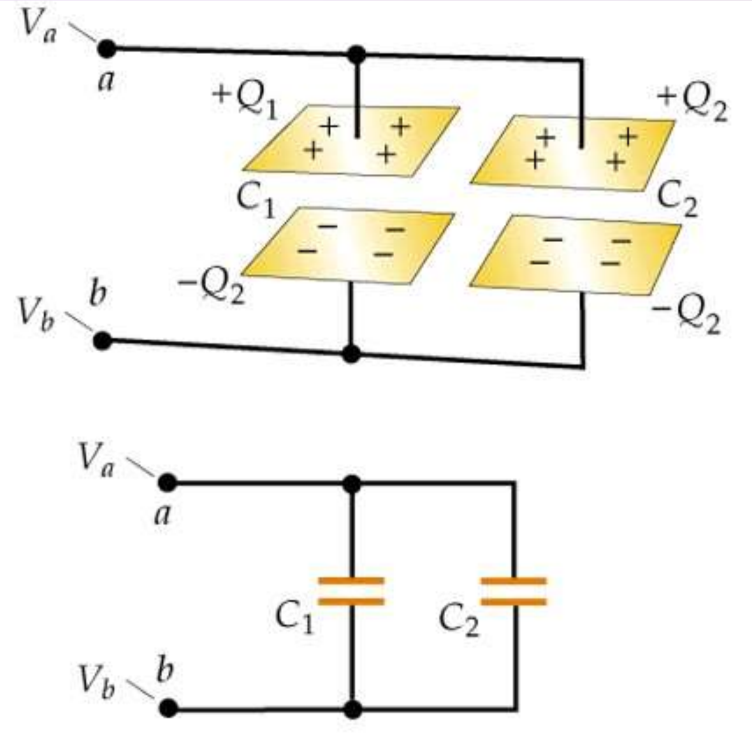
$$V_{ab} = q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{V_{ab}}{q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\boxed{\frac{1}{C_{eq}} = \sum_i \frac{1}{C_i}}$$

5 - Asociación de Condensadores

- En paralelo: Cada condensador tendrá la misma diferencia de potencial.



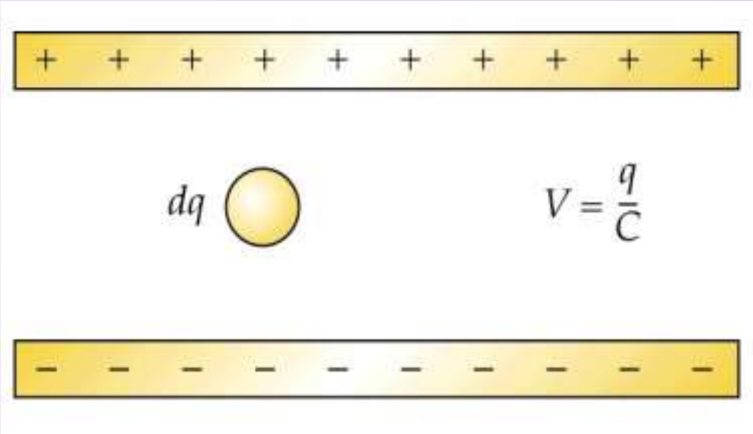
$$q_1 = c_1 V_{ab} \qquad q_2 = c_2 V_{ab}$$

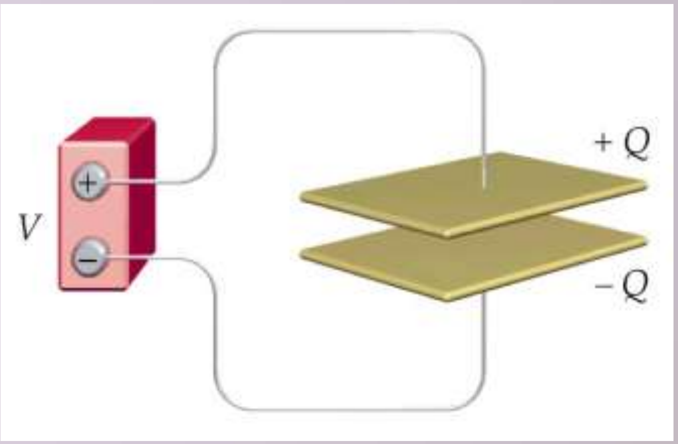
La carga total del condensador equivalente será: $Q = q_1 + q_2$

$$C_{eq} = \frac{q_T}{V_{ab}} = C_1 + C_2$$

$$\boxed{C_{eq} = \sum_i C_i}$$

6 - Energía de un Condensador





- Para realizar el proceso de carga de un condensador se van trasladando cargas ‘dq’ de una placa a otra.
- Al ir aumentando la carga almacenada en la placa, el trabajo requerido para continuar introduciendo cargas va aumentando también, pues hay que vencer repulsión eléctrica.
- Por tanto, necesitamos una fuente que suministre esa energía.

Simulación

6 - Energía de un Condensador

- El trabajo empleado en este proceso es el que se almacena:

$$W = \int_0^Q V \cdot dq = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C}\int_0^Q q\, dq \quad \Rightarrow \quad \boxed{W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}}$$

Sustituyendo la expresión $C = Q / V$, tendremos:

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} C V^2$$

- En un condensador de placas paralelas: $C = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ $V = E\, d$

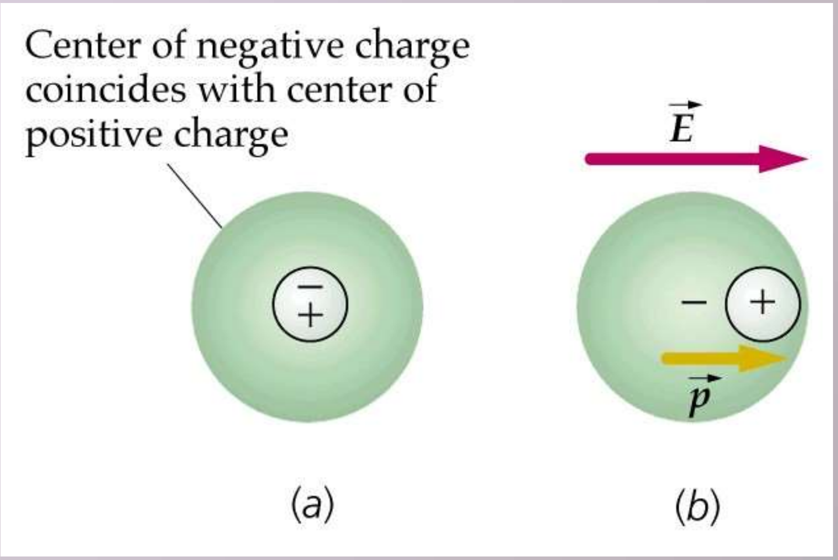
$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \frac{S}{d} E^2 d^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0 S\, d\, E^2$$

$$\boxed{\frac{W}{Vol} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2}$$

7 - Dieléctricos

- Dieléctrico: material aislante. Los electrones de estos materiales están fuertemente unidos a sus átomos.
- Para analizar el comportamiento eléctrico de un material lo sometemos a un campo eléctrico externo: los electrones sufren desplazamientos.

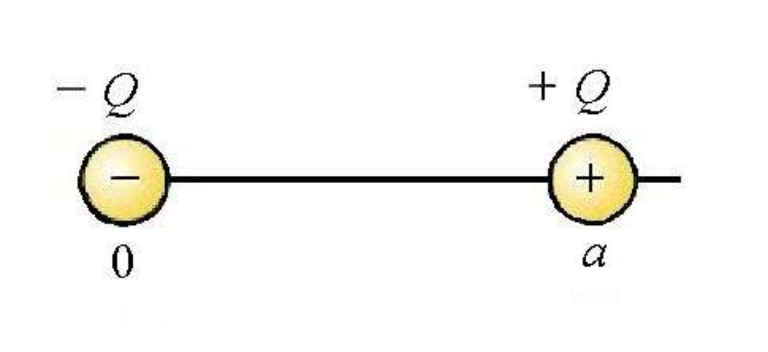
Este desplazamiento se denomina Distorsión.



- El E_{max} que un dieléctrico puede soportar sin romperse se denomina Rigidez dieléctrica.

7 - Dieléctricos

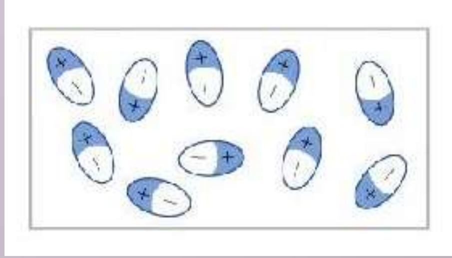
- El sistema formado por dos cargas iguales, opuestas y separadas una cierta distancia, se llama **Dipolo Eléctrico**.



Momento Dipolar

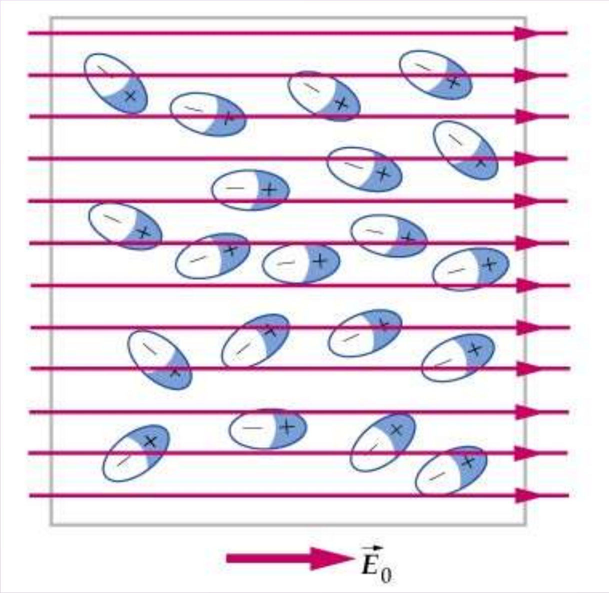
$$\bar{p} = q\,\bar{a}$$

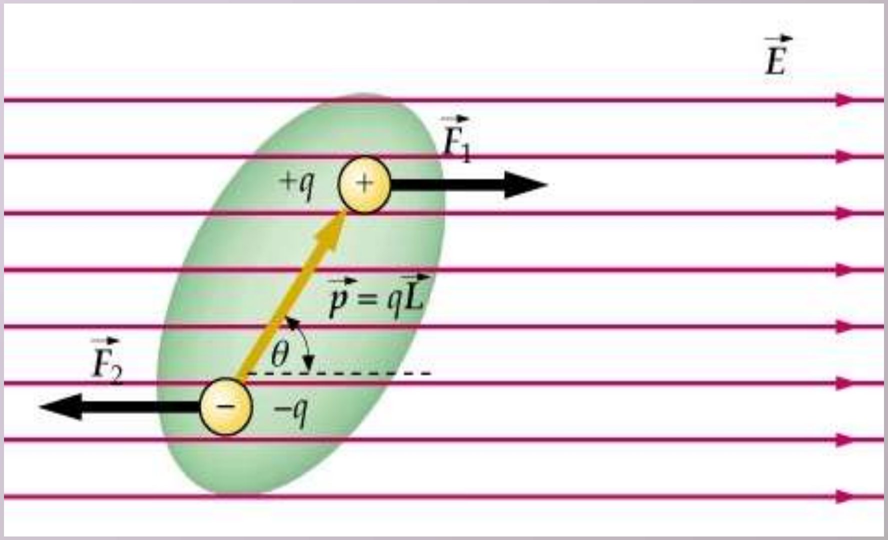
- Clasificamos los dieléctricos en:
  - No Polar: $p_i = 0 \Rightarrow P_T = 0$
  - Polar: $p_i \neq 0 \Rightarrow P_T = \sum p_i = 0$



7 - Dieléctricos

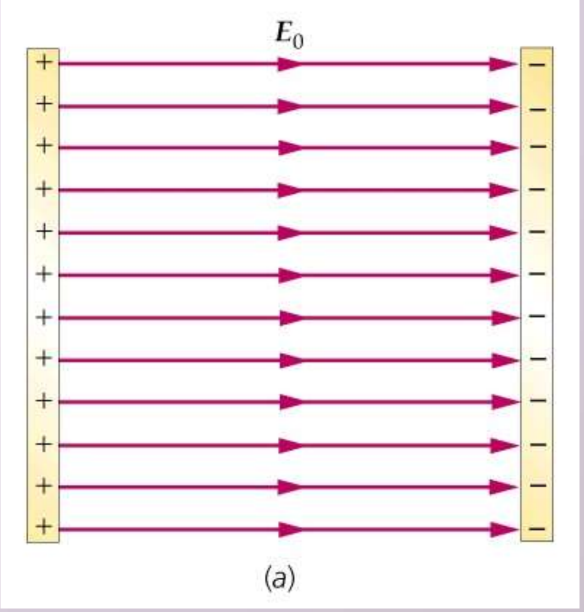
- Al aplicar un campo eléctrico externo a un dieléctrico:
  - En sustancias Polares y No Polares se produce polarización por **Distorsión**.
- Una vez polarizado el dieléctrico, sus moléculas sufrirán **Orientación** en la dirección del campo aplicado.





7 - Dieléctricos

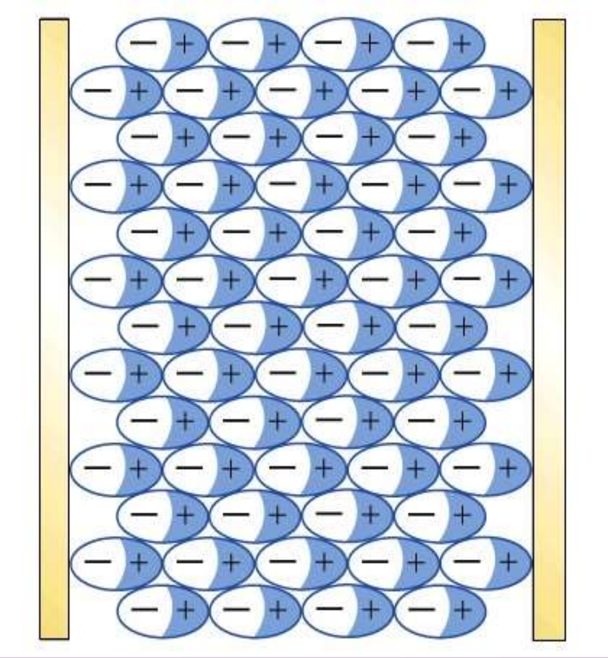
- El campo eléctrico más uniforme y controlable del que disponemos es el del interior de un condensador, así que ponemos el dieléctrico en él para comprobar que efectos se producen:



$$C_0 = \frac{q}{V_0}$$

7 - Dieléctricos

Lo primero que se observa es la ordenación del dieléctrico por Orientación:



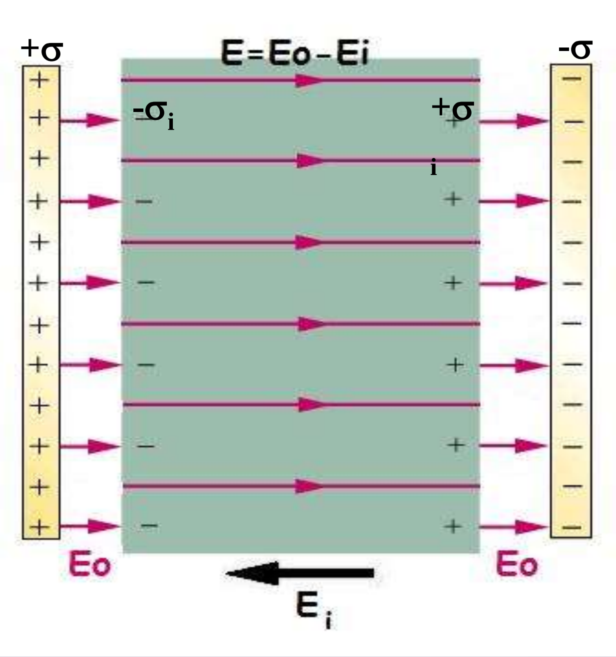
- La carga de las placas no cambia.
- Sin embargo se observa que la diferencia de potencial en el condensador es menor:

$$V < V_0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{C > C_0}$$

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

7 - Dieléctricos

¿Porqué se produce este aumento en la capacidad?



- Debido a la orientación del dieléctrico, la primera capa de cargas, llamada carga inducida (de signo contrario a la de las placas) apantalla la carga libre:
- Reduciendo de esta forma el Campo interior y la diferencia de potencial entre las placas.

7 - Dieléctricos

- Usaremos esta propiedad para definir las características eléctricas del dieléctrico, Cte. Dieléctrica Relativa:

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} = \frac{V_0}{V} > 1$$

- En el caso de un condensador plano: $C = C_0\,\varepsilon_r = \varepsilon_0 \frac{A}{d}\,\varepsilon_r$

- Definimos ahora la Cte. dieléctrica del material ε, como: $\boxed{\varepsilon = \varepsilon_0\,\varepsilon_r}$

- Con lo que la capacidad quedará: $\boxed{C = \varepsilon \frac{A}{d}}$

7 - Dieléctricos

Constante dieléctrica y campo de ruptura de varios materiales a Temperatura ambiente

Material	Constante dieléctrica κ	Campo de ruptura (V/m)
Vacío	1,00000	-
Aire (seco)	1,00059	$3 \cdot 10^6$
Baquelita	4,9	$24 \cdot 10^6$
Cuarzo fundido	3,78	$8 \cdot 10^6$
Cristal pirex	5,6	$14 \cdot 10^6$
Poliestireno	2,56	$24 \cdot 10^6$
Teflón	2,1	$60 \cdot 10^6$
Neopreno	6,7	$12 \cdot 10^6$
Nylon	3,4	$14 \cdot 10^6$
Papel	3,7	$16 \cdot 10^6$
Titanato de estroncio	233	$8 \cdot 10^6$
Agua	80	–
Mica	6	$200 \cdot 10^6$
Aceite de Silicona	2,5	$15 \cdot 10^6$