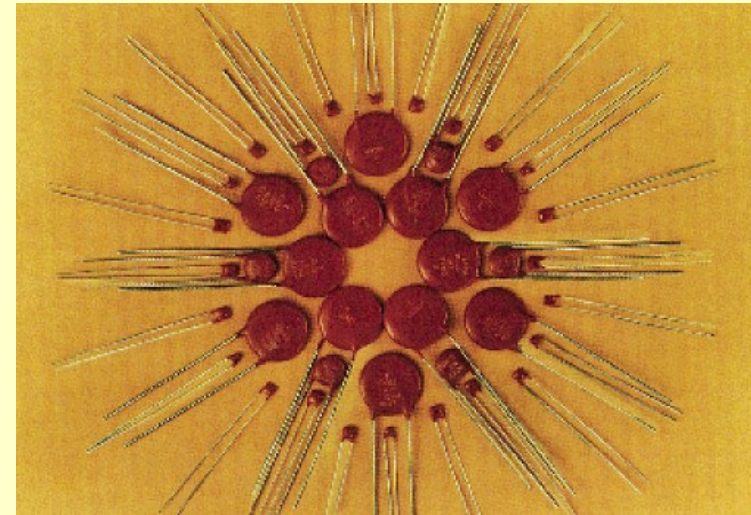


## Lección 2: Propiedades electrostáticas de conductores y dieléctricos.

- Conductores cargados en equilibrio electrostático.
- Tierra. Influencia electrostática. Pantallas eléctricas.
- El condensador plano. Capacidad.
- Energía almacenada en un condensador.
- Asociación de condensadores.
- Dipolo eléctrico. Dieléctricos.
- Condensadores con dieléctrico.



# Conductores cargados en equilibrio electrostático

- Conductores: Materiales cuyas cargas eléctricas (**electrones**) **pueden moverse** de un punto a otro debido a un campo eléctrico.

Añadiendo  $e^- \Rightarrow$  Carga neta  $-$

Quitando  $e^- \Rightarrow$  Carga neta  $+$

- Dieléctricos: Los electrones están fuertemente unidos a los átomos, por lo que su carga neta no cambia.  
Los dieléctricos sólo pueden ser polarizados.

# Conductores cargados en equilibrio electrostático

- Conductores en **equilibrio electrostático**: No hay movimiento neto de cargas ( **$F=0$** ).

- Como las fuerzas eléctricas son debidas a campo eléctricos:

$$\vec{F} = q\vec{E} = 0 \Rightarrow \vec{E} = 0$$

- El **campo eléctrico en un conductor** en equilibrio electrostático es **cero** en cualquier punto del conductor.

# Conductores cargados en equilibrio electrostático

- La **carga eléctrica** en un conductor **reside** en la **superficie** del conductor.

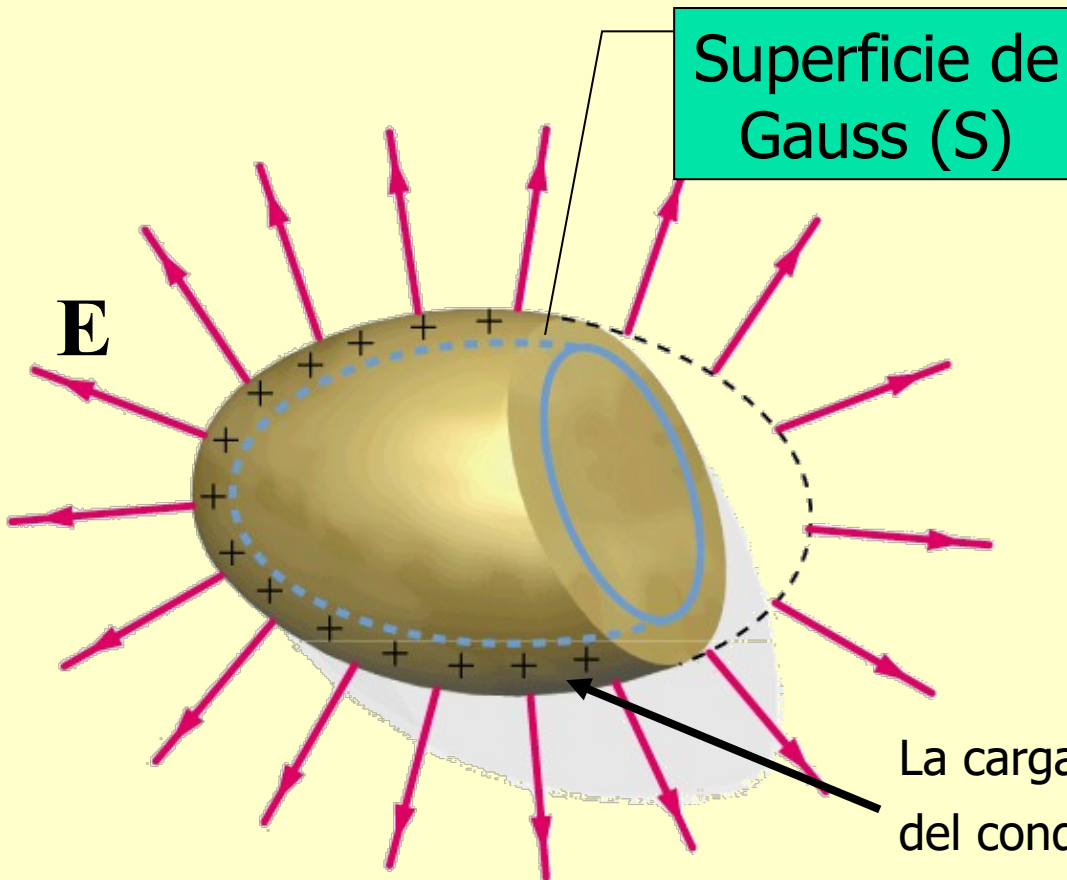
- $\mathbf{E} = 0$  Dentro del conductor  $\Rightarrow \phi = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = 0$

Ley de Gauss  $\downarrow$

$$\phi = \frac{\sum Q_i}{\epsilon_0}$$

$\downarrow$

$$Q_i = 0$$

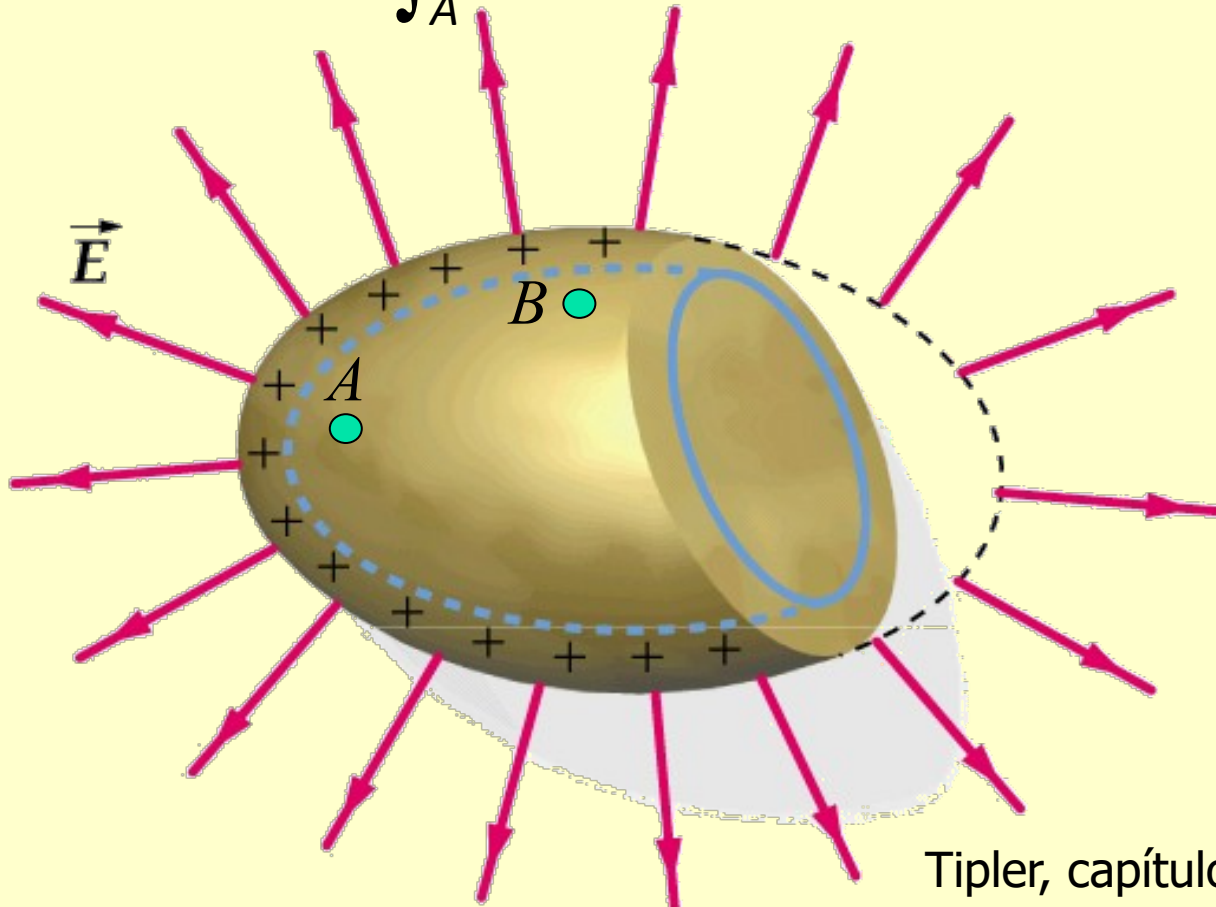


La carga eléctrica reside en la superficie del conductor

# Conductores cargados en equilibrio electrostático

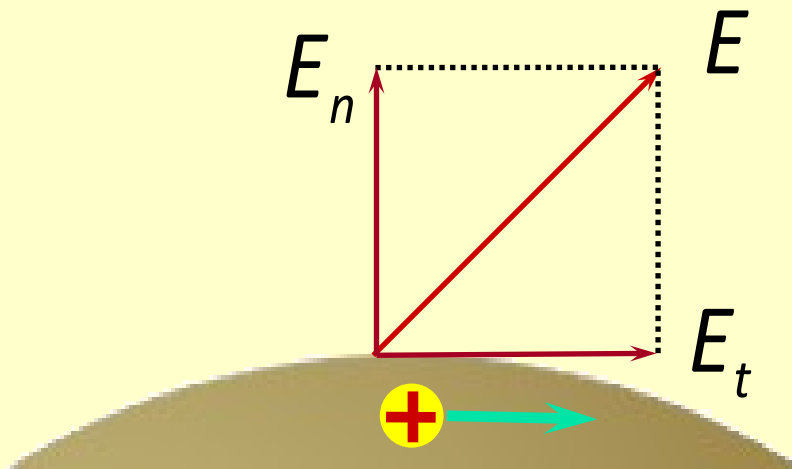
- Cualquier punto del conductor tiene el mismo potencial:

$$V_B - V_A = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0 \Rightarrow V_A = V_B$$



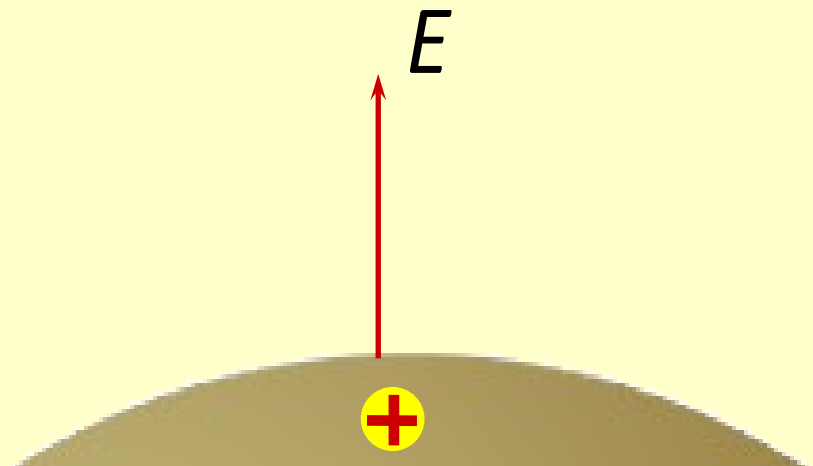
# Conductores cargados en equilibrio electrostático

- El campo eléctrico en puntos próximos al conductor es perpendicular a la superficie del conductor.
- Si el campo eléctrico no fuera perpendicular, la componente tangencial  $E_t$  movería las cargas, y el conductor no estaría en equilibrio.



$$F = qE_t$$

Carga moviéndose

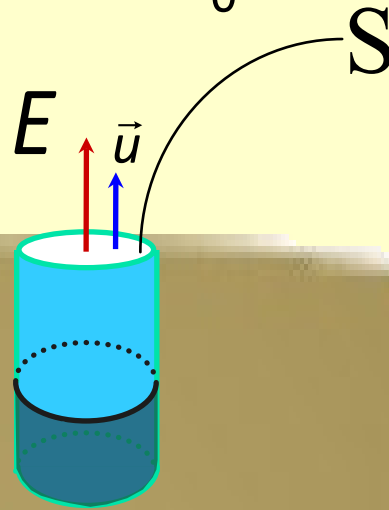


Carga sin movimiento

# Conductores cargados en equilibrio electrostático

- Teorema de Coulomb: en puntos próximos a la

superficie del conductor  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$



Puede demostrarse aplicando la ley de Gauss

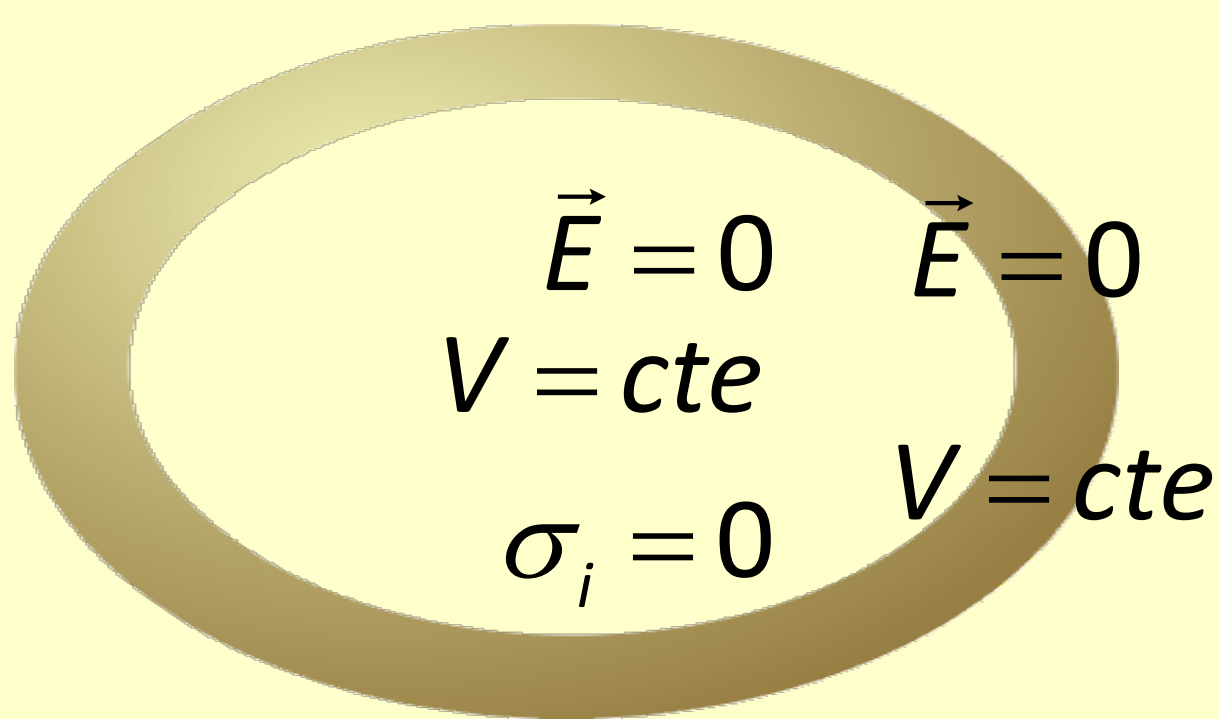
# Conductores cargados en equilibrio electrostático

- Resumen de propiedades de conductores cargados en equilibrio electrostático:
  - $E=0$  dentro del conductor.
  - Toda la carga se encuentra en la superficie como una  $\sigma$ . NO hay carga dentro del conductor.
  - El potencial eléctrico es constante en todo el conductor:  $V=\text{cte}$ .
  - El campo eléctrico cerca de la superficie del conductor es perpendicular a la superficie, con un valor:  $E_s = \sigma/\epsilon_0$



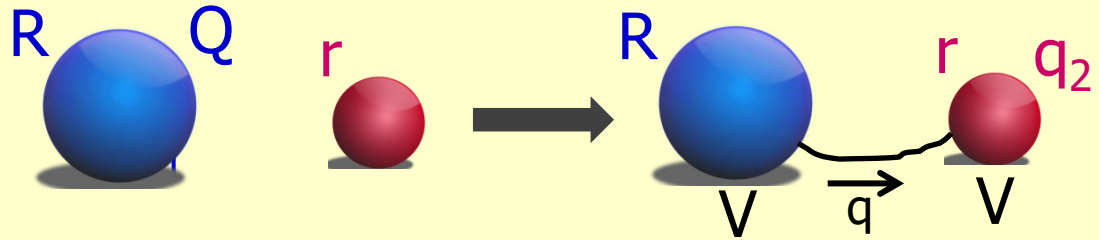
# Conductor hueco

- El comportamiento de un **conductor hueco sin cargas en su interior** es igual que el de un conductor sólido:



# Efecto puntas

Ejercicio 2.2



$$\begin{cases} Q_1 + q_2 = Q \\ V = k \frac{Q_1}{R} = k \frac{q_2}{r} \end{cases} \quad \longrightarrow \quad \text{Solución:} \quad \begin{cases} Q_1 = \frac{QR}{R+r} & q_2 = \frac{Qr}{R+r} & V = k \frac{Q}{(R+r)} \end{cases}$$

Efecto puntas:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi R^2} = \frac{QR}{(R+r)4\pi R^2} \Rightarrow E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0(R+r)R} = \frac{V}{R} \\ \sigma_2 = \frac{q_2}{4\pi r^2} = \frac{Qr}{(R+r)4\pi r^2} \Rightarrow E_2 = \frac{\sigma_2}{\epsilon_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0(R+r)r} = \frac{V}{r} \end{cases}$$

$E_2 > E_1$   
A menor radio, mayor campo eléctrico cerca del conductor.  
Las "puntas" atraen cargas eléctricas

Efecto puntas: debido al gran campo eléctrico cerca de las "puntas":

- Pararrayos
- Paraguas durante una tormenta
- Fuego de San Telmo

- <https://www.youtube.com/watch?v=kdNjKdmpkOs>

# Tierra

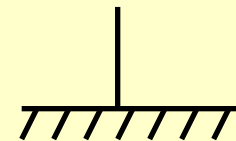
- El potencial eléctrico de un conductor esférico es:

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

- Como el radio de la Tierra es enorme ( $R \rightarrow \infty$ ) comparado con cualquier otro objeto, el **potencial eléctrico** de la **tierra** es **cero** sea cual sea  $Q$ . **Tierra** puede **dar** o **tomar** cualquier cantidad de carga sin cambiar su potencial eléctrico (como el nivel del mar)



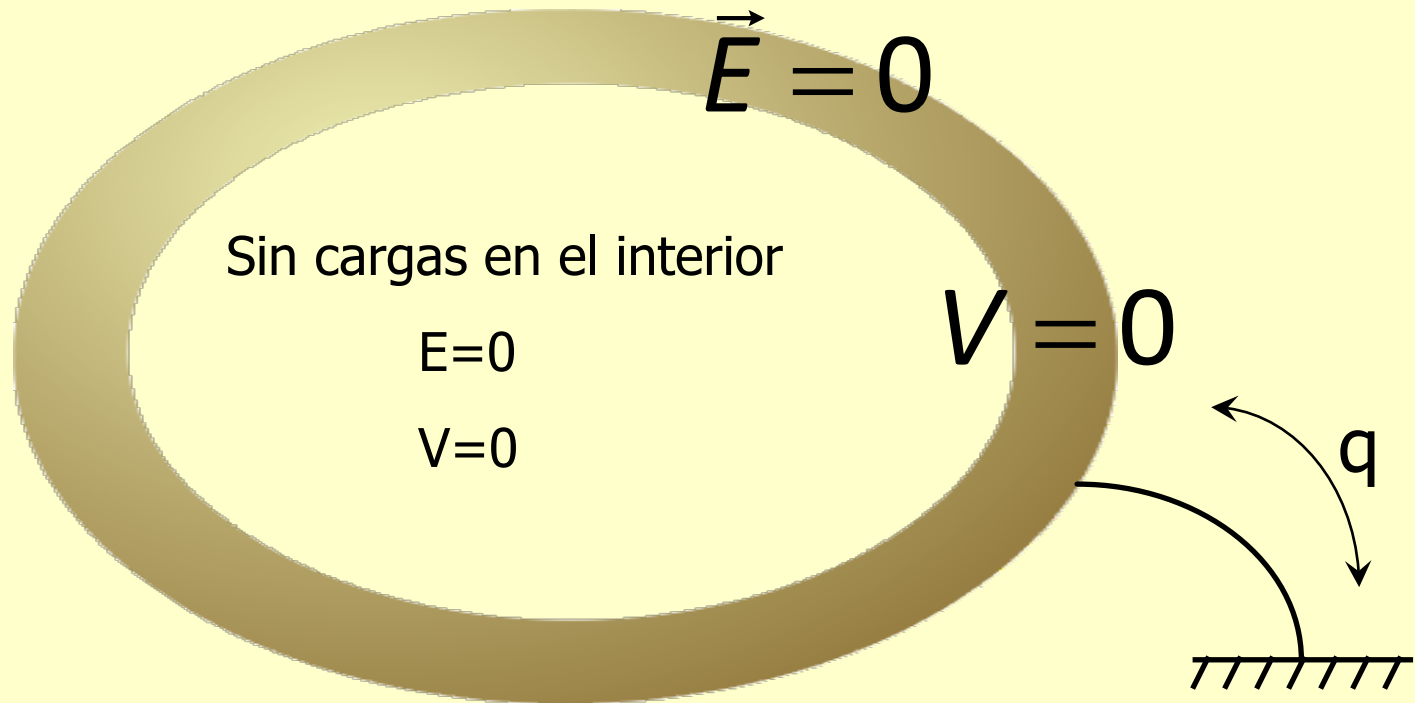
$$V_T = 0$$



Conectar un aparato a Tierra da seguridad a las personas

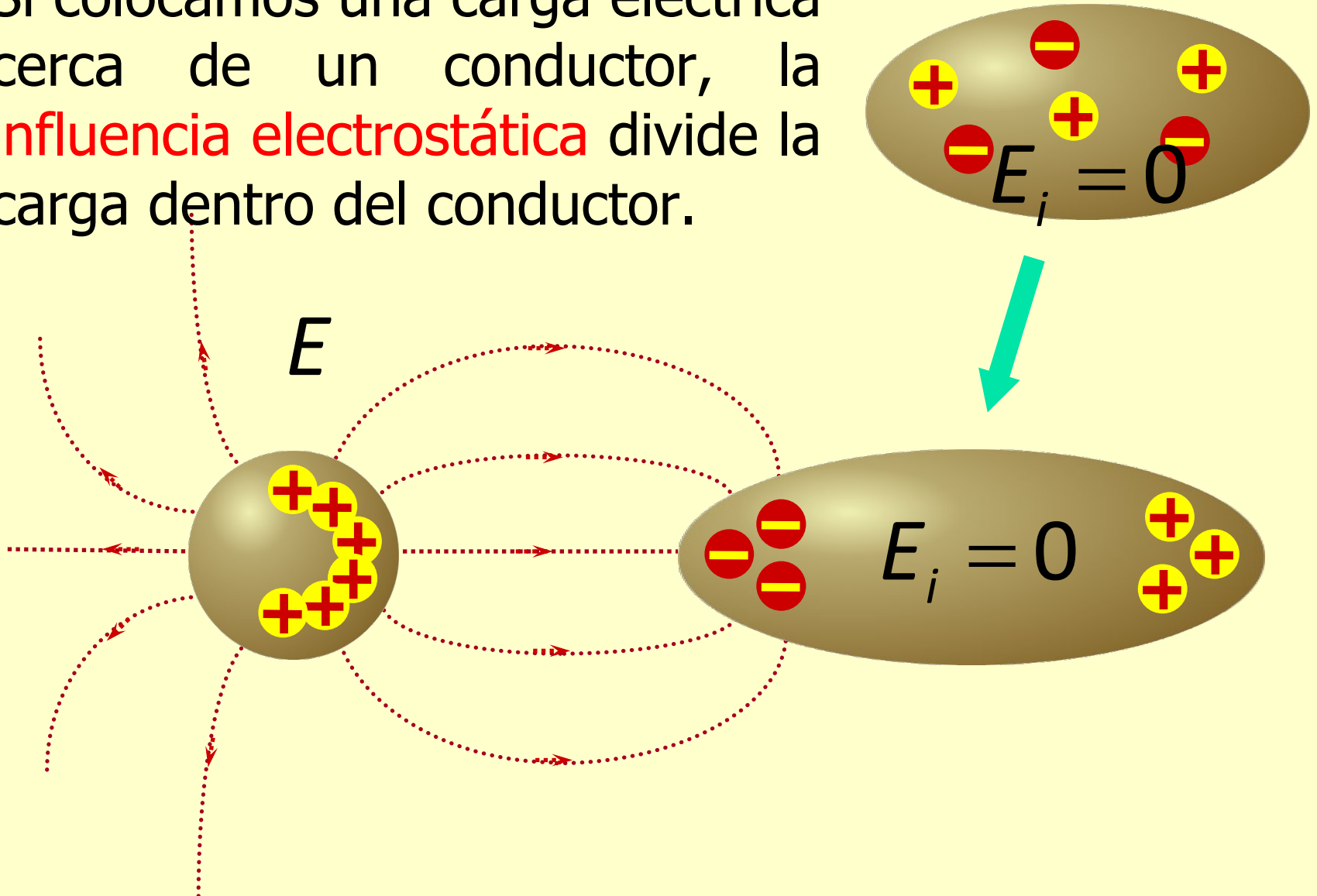
# Conexión de un aparato a Tierra

- Conectar un conductor a Tierra (TTTTTTT) supone:
  - 1. El potencial eléctrico es 0 ( $V=0$ )
  - 2. El conductor puede cambiar su carga tomando o cediendo electrones de/a Tierra.



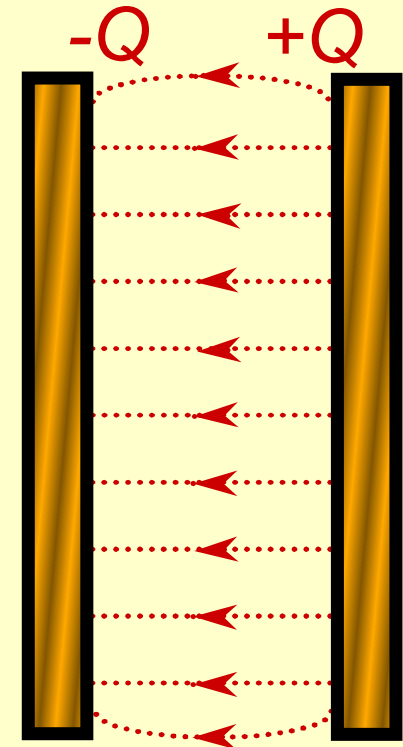
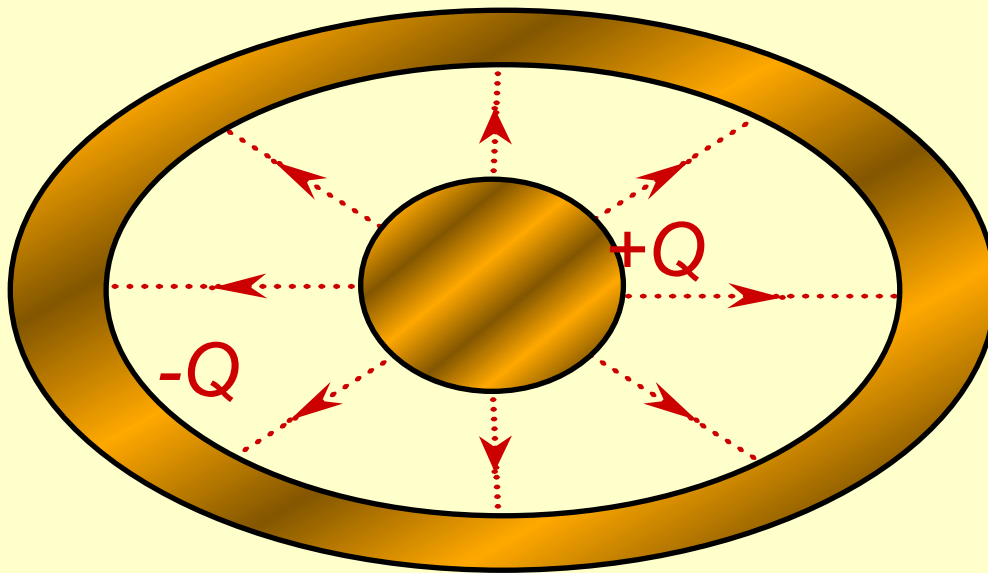
# Influencia electrostática

- Si colocamos una carga eléctrica cerca de un conductor, la **influencia electrostática** divide la carga dentro del conductor.



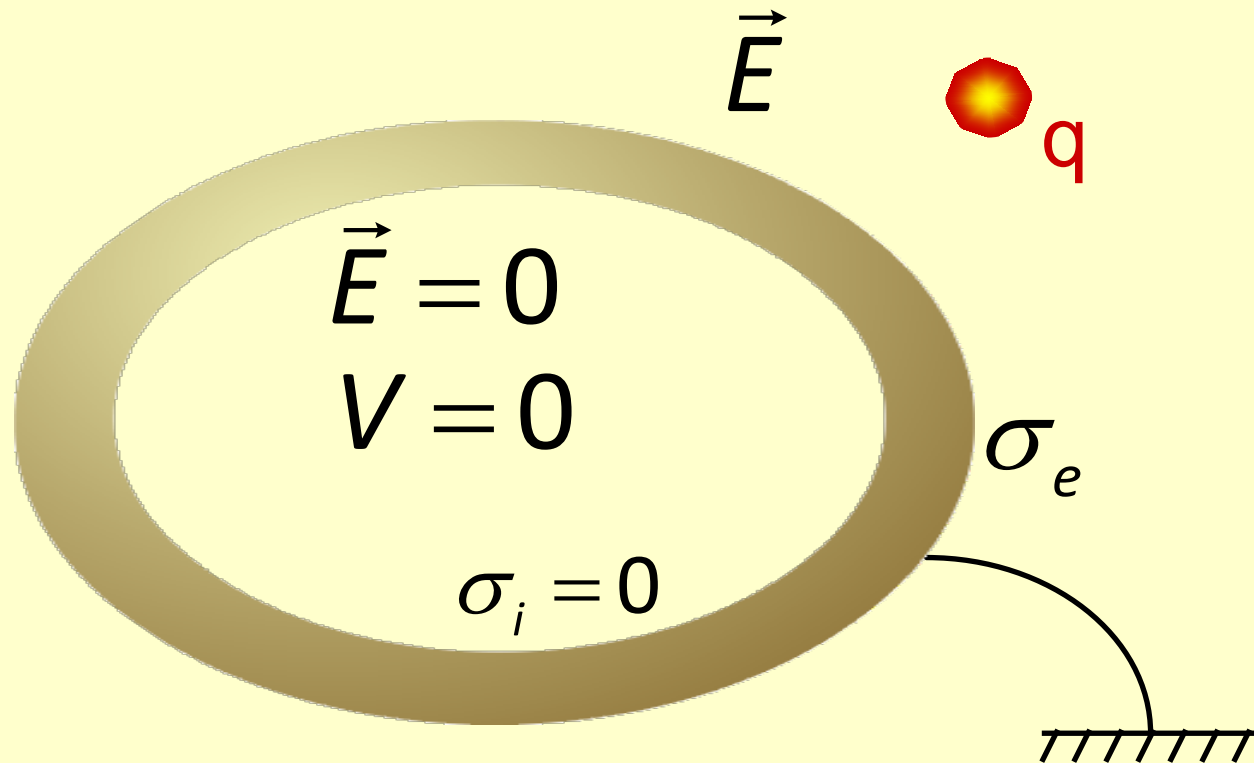
# Influencia electrostática total

- Entre dos conductores hay *Influencia electrostática total* si todas las líneas de campo que parten de un conductor acaban en el otro conductor.
  - Superficies con influencia electrostática total tienen la misma carga pero diferente signo



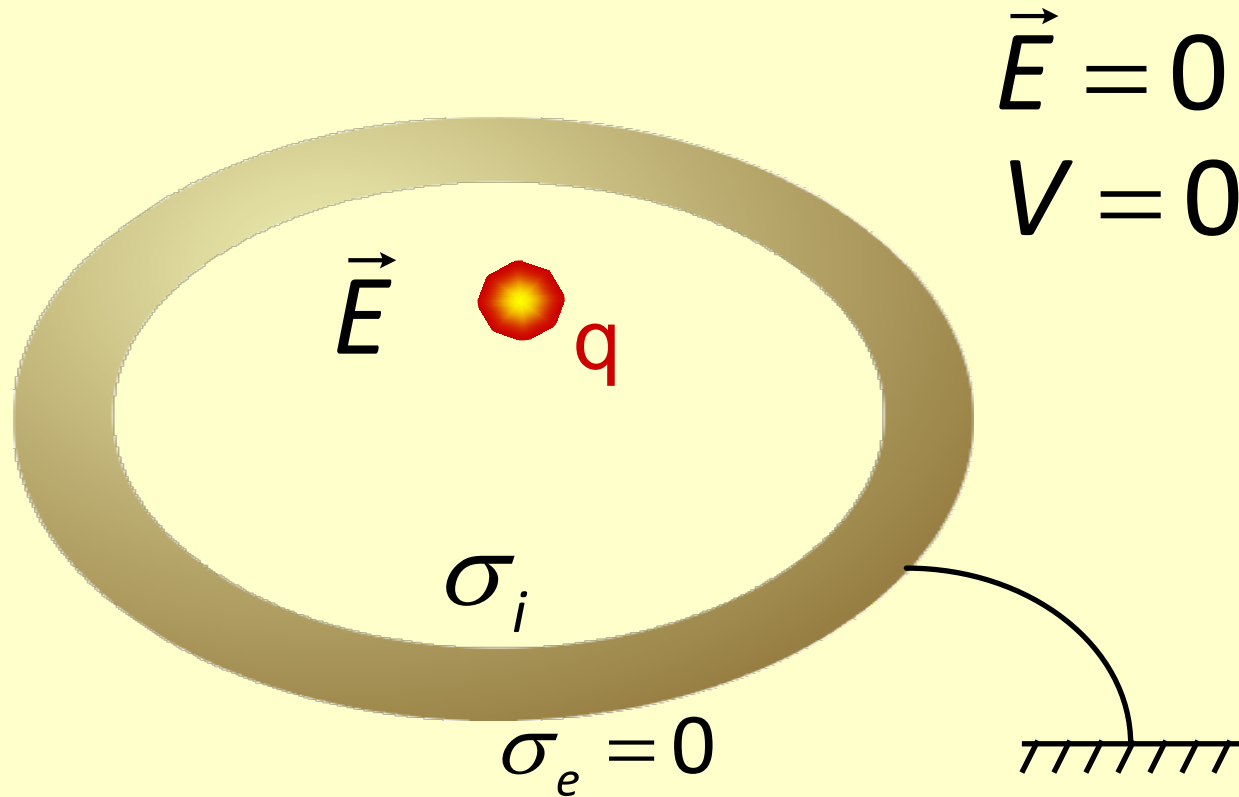
# Pantalla eléctrica o jaula de Faraday

- Un conductor hueco unido a tierra divide eléctricamente los espacios interior y exterior. Se conoce como una **pantalla eléctrica**. Las cargas exteriores no afectan al espacio interior.....



# Pantalla eléctrica o jaula de Faraday

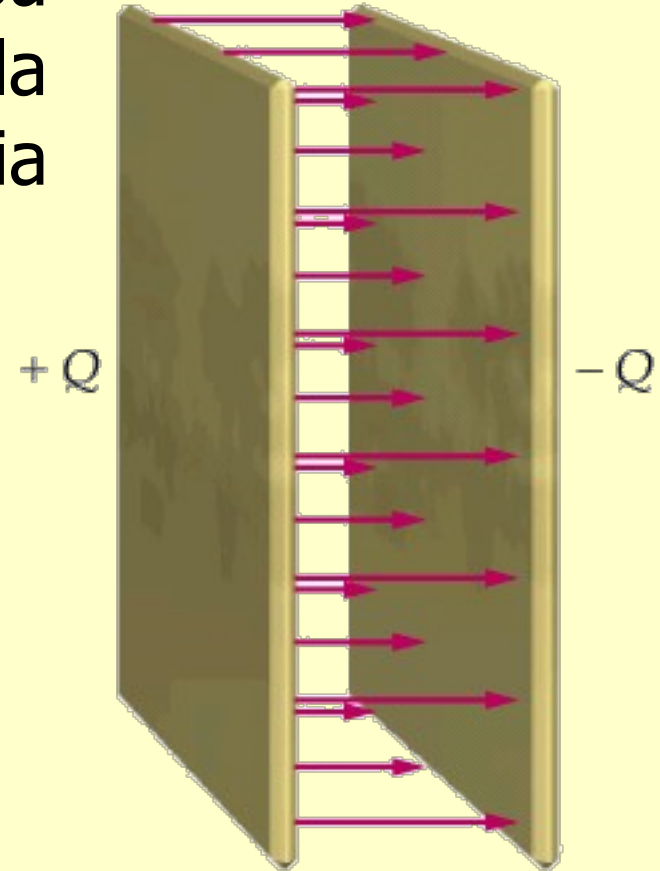
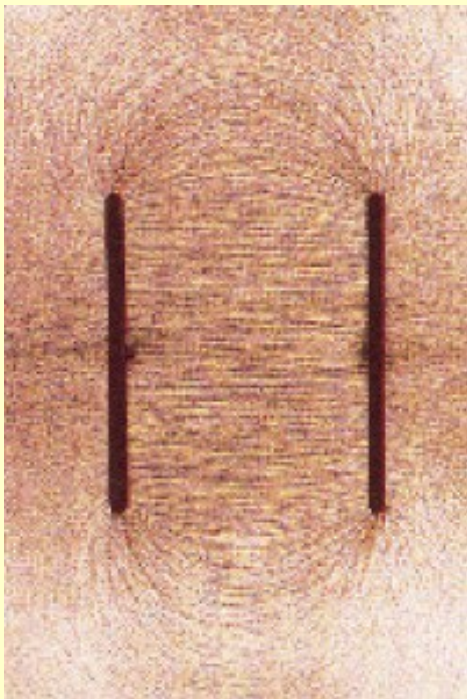
- Y las cargas interiores no afectan al espacio exterior.



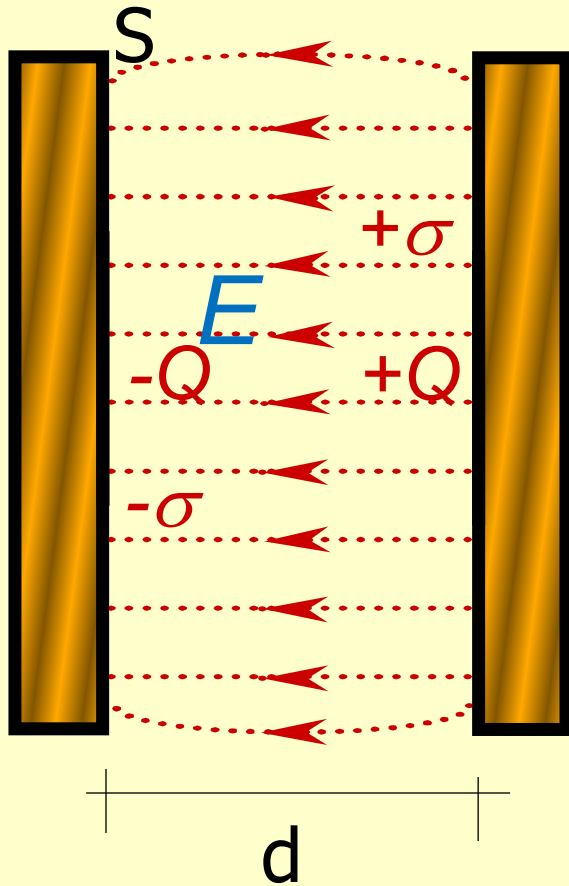


# El condensador plano

- Está formado por **dos conductores planos paralelos**, siendo su superficie mucho mayor que la separación entre ellas (influencia electrostática total).



# El condensador plano. Capacidad



- Si un condensador plano se carga con una carga  $Q$  ( $+Q$  en una placa y  $-Q$  en la otra) (en el vacío):

$$\sigma = \frac{Q}{S} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

y la diferencia de potencial entre las placas:

$$V = V^+ - V^- = \int_+^- \vec{E} \cdot d\vec{r} = E \cdot d = \frac{\sigma d}{\epsilon_0}$$

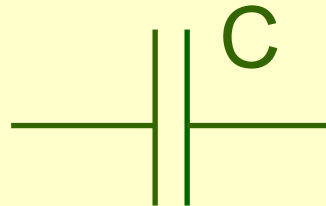
# El condensador plano. Capacidad

- El cociente  $Q/V$  es la **capacidad** (C) del condensador, y depende de la geometría (tamaño, forma y posición relativa), y es independiente de la carga del condensador:

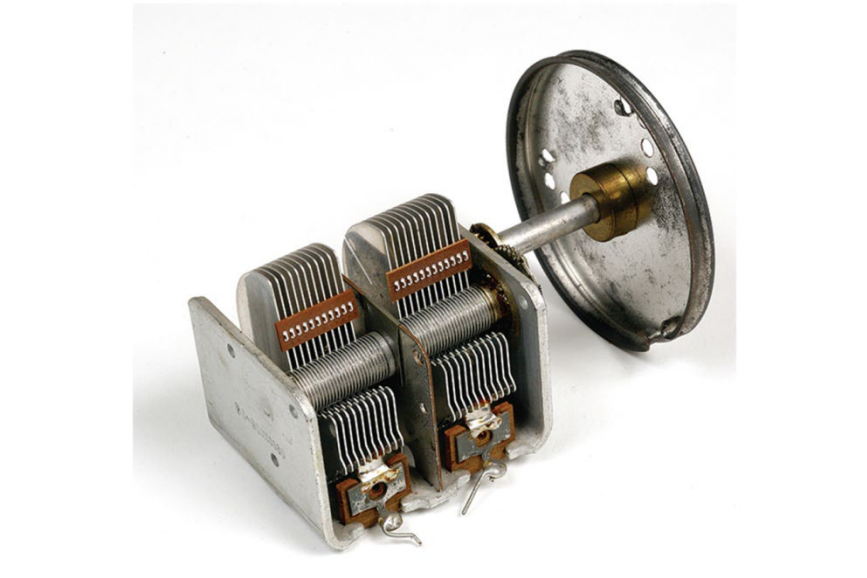
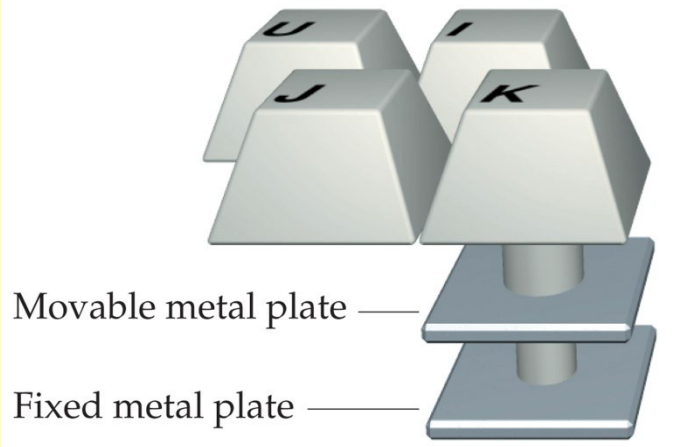
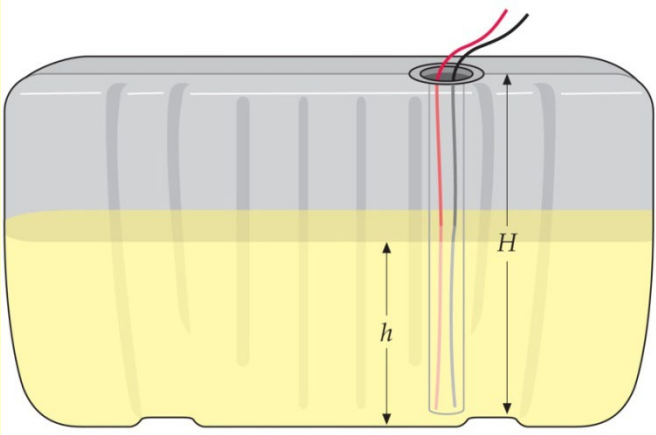
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\sigma S}{\sigma d} \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

$$[C] = M^{-1}L^{-2}T^4I^2$$

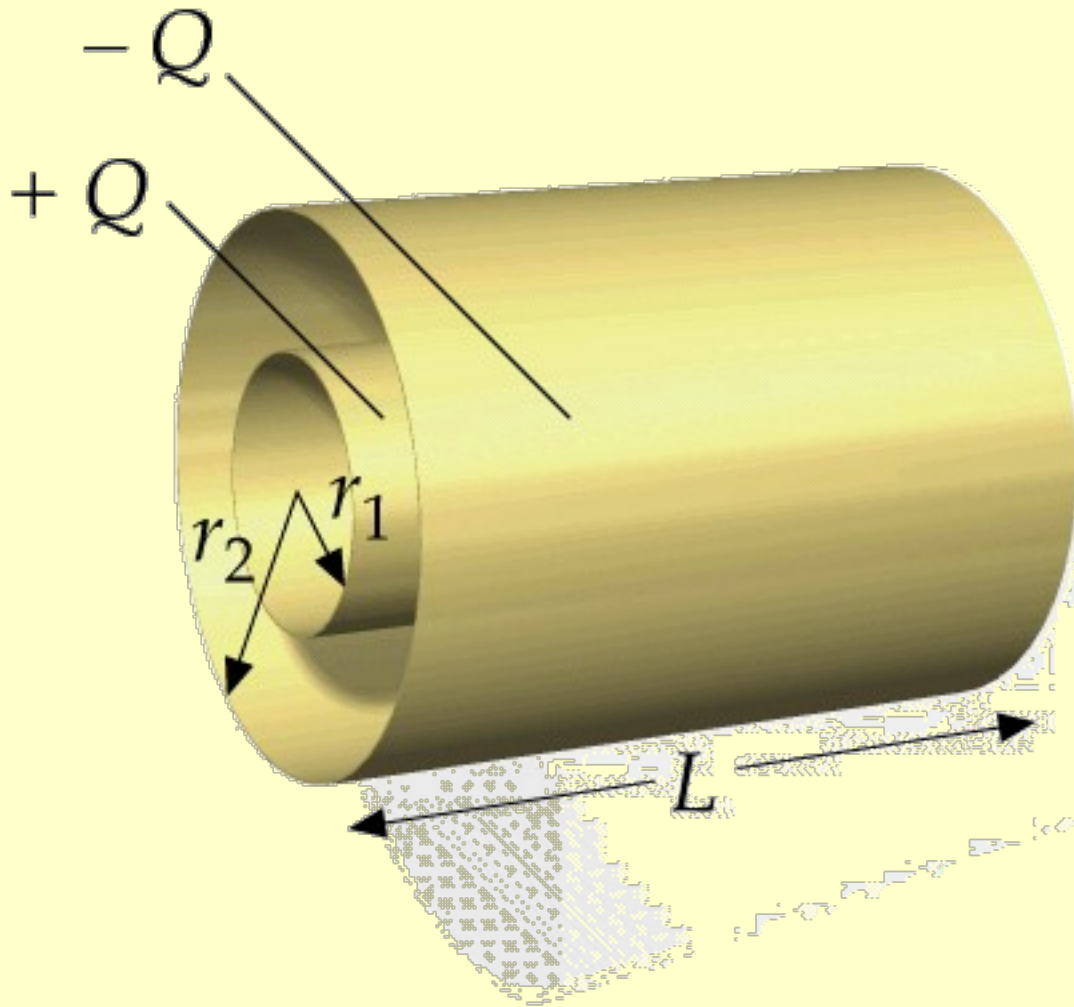
Unidad: Faradio (F)



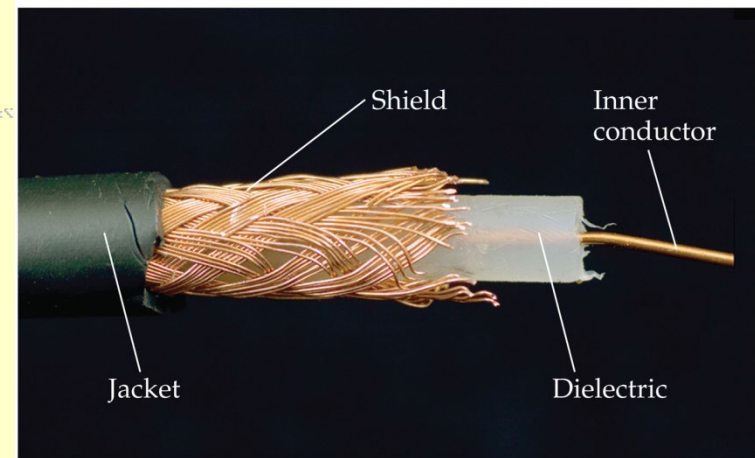
# Algunos condensadores planos



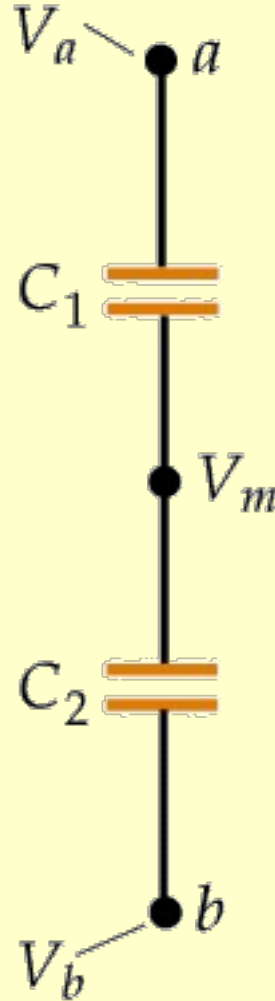
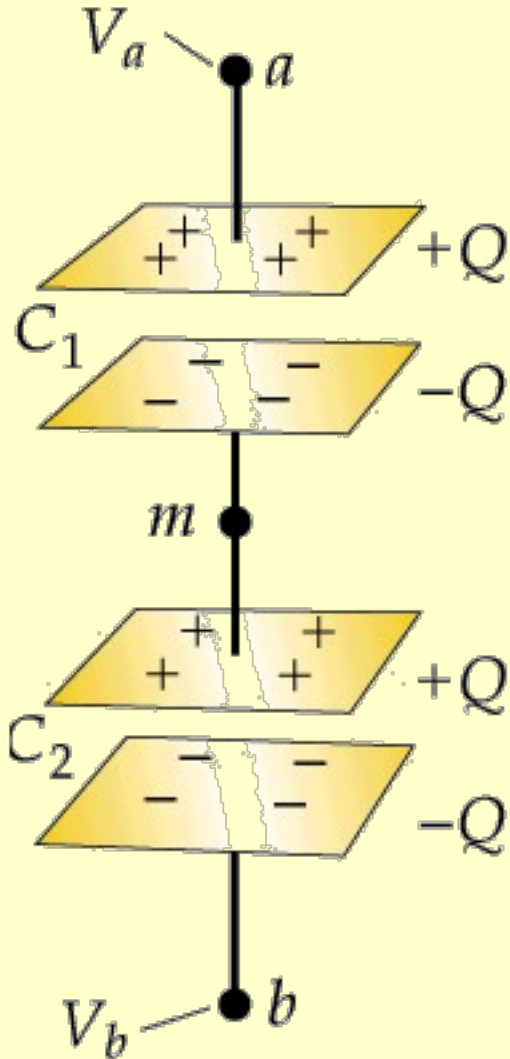
# Otros condensadores. Condensador cilíndrico



$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(r_2 / r_1)}$$



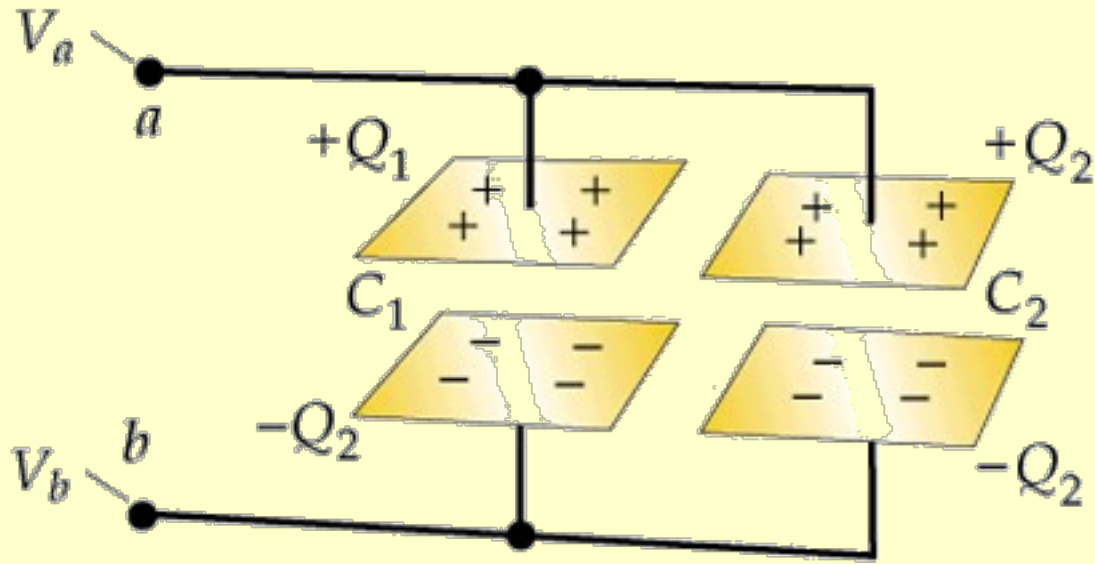
# Asociación de condensadores. Condensadores en serie



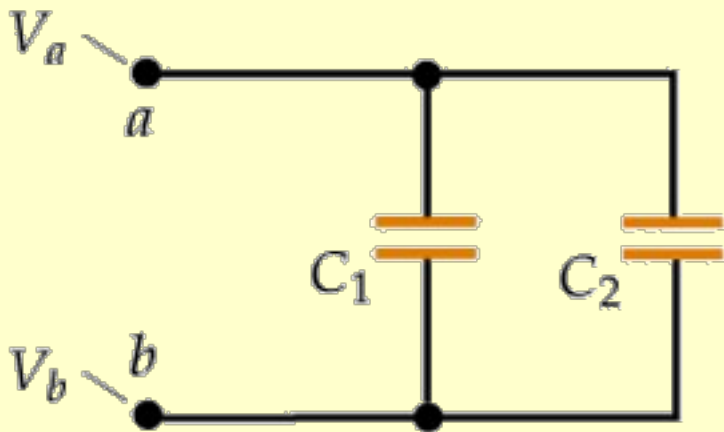
- Si varios condensadores se asocian en serie, todos tienen la misma carga (si inicialmente están descargados).

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

# Asociación de condensadores. Condensadores en paralelo



- Si varios condensadores se asocian en paralelo, todos tienen la misma diferencia de potencial entre sus placas.

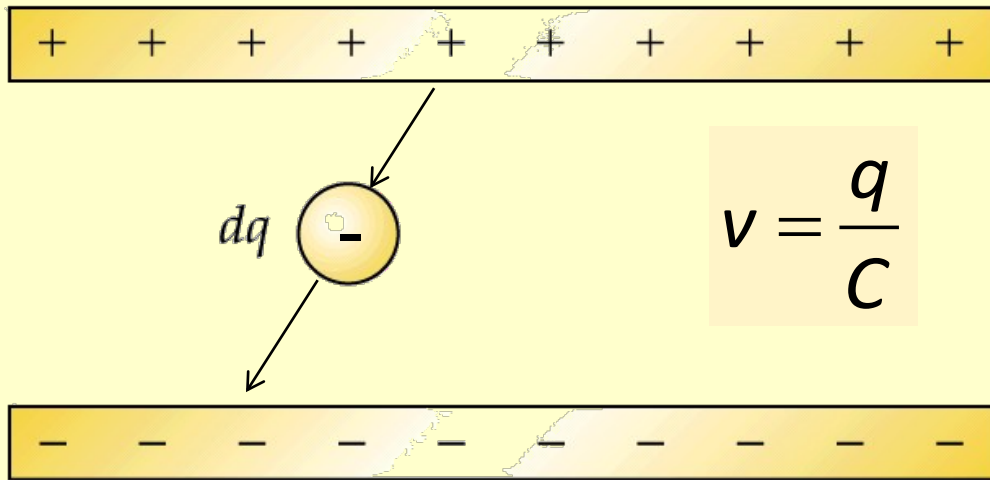


$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots = \sum_i C_i$$



# Energía almacenada en un condensador

- Cargar un condensador supone llevar carga desde una placa a la otra (cargas negativas desde + a -, o positivas desde - a +). Consideremos el estado en el que la carga y el potencial del condensador son  $q$  and  $V$ . Para aumentar la carga una cantidad  $dq$ , debe hacerse un trabajo ( $dU$ ):



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

$$dU = v dq = \frac{q}{C} dq$$



# Energía almacenada en un condensador

- Para cargar hasta una carga  $Q$  un condensador descargado, el trabajo realizado (energía almacenada en el campo eléctrico) es:

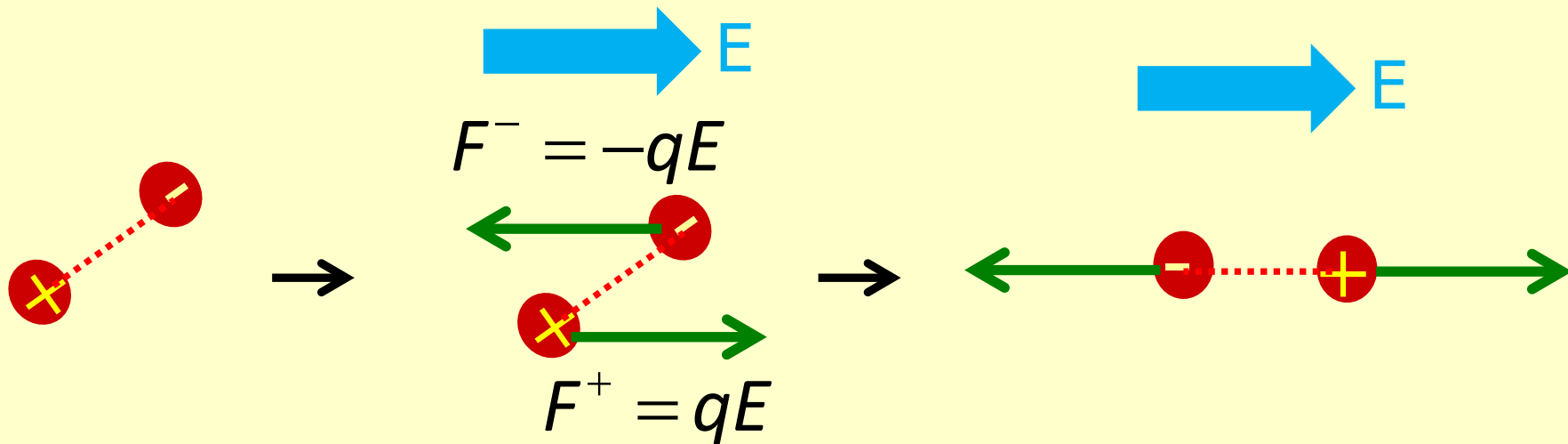
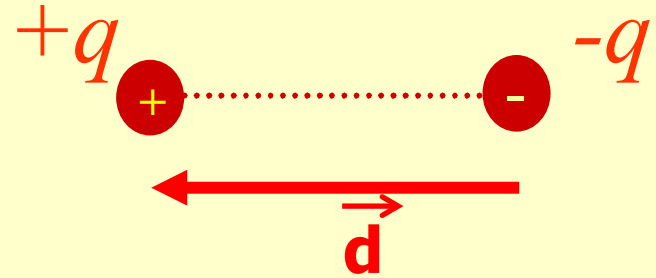
$$U = \int dU = \int_0^Q v dq = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

- De la definición de capacidad:

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

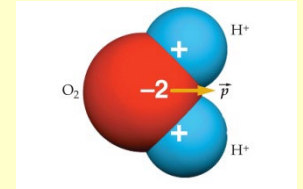
# Dipolo eléctrico

- Para comprender el comportamiento de los dieléctricos, es necesario conocer qué es un dipolo eléctrico.
- Es el conjunto de **dos cargas puntuales** iguales pero con distinto signo.
- Su característica principal es su **momento dipolar**  $\vec{p} = q\vec{d}$
- Ante un **campo eléctrico** el dipolo **gira**, quedando **paralelo a E**:

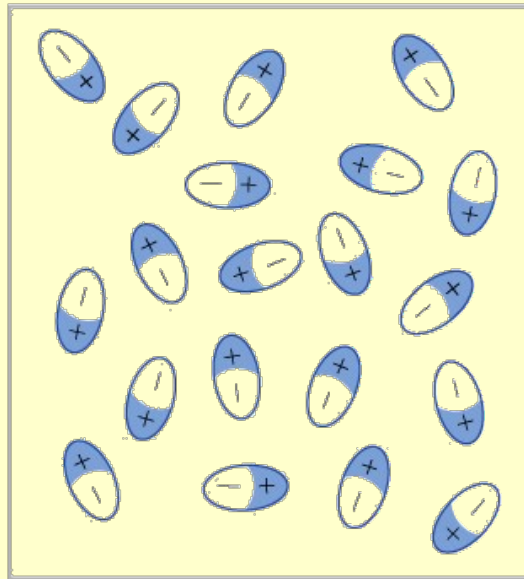


# Dieléctricos. Polarización dieléctrica.

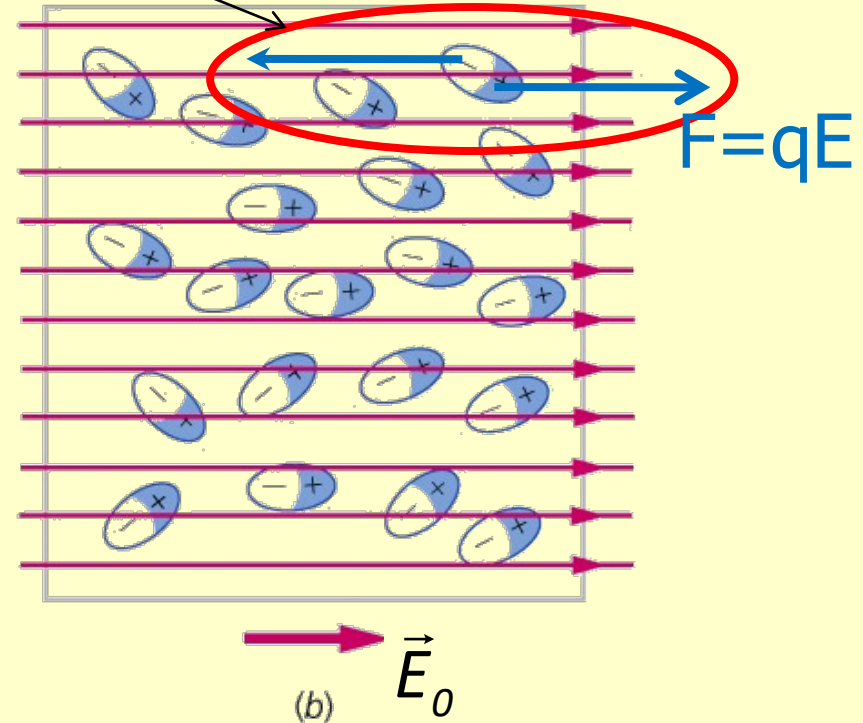
- Los dieléctricos no tienen electrones libres. Pero sus **moléculas polares (dipolos)** pueden ser orientadas por un campo eléctrico (polarización dipolar). Cuando no actúa ningún campo eléctrico, su orientación es aleatoria.



Molécula polar de agua



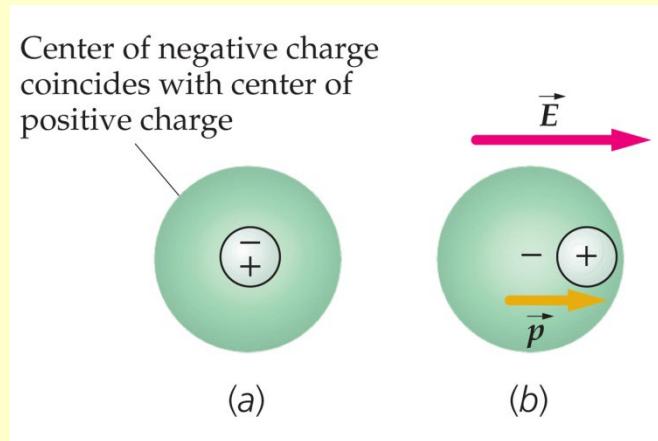
(a)



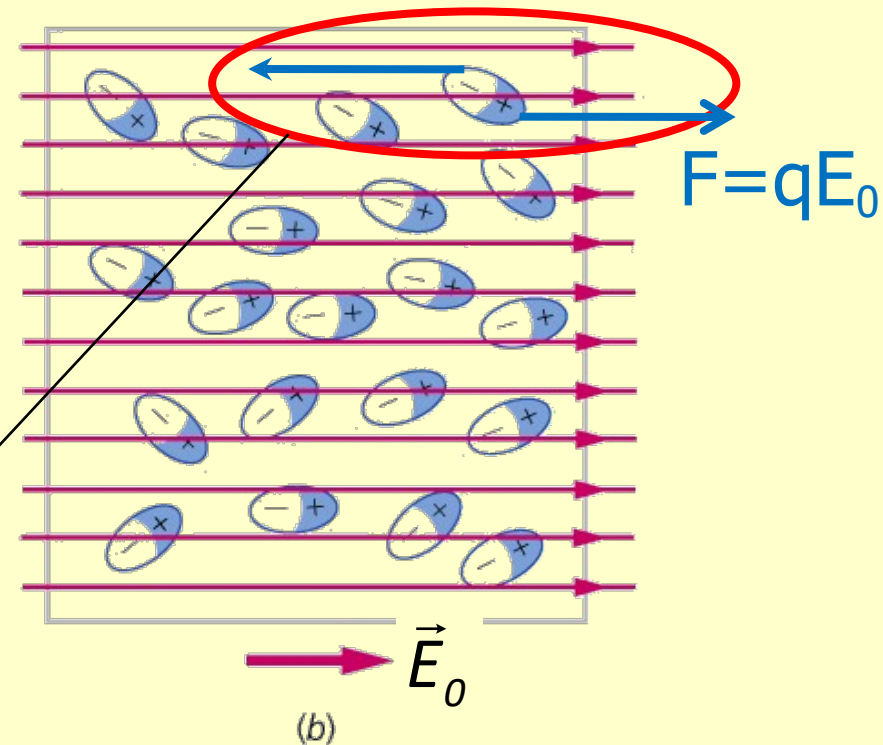
(b)  $\vec{E}_0$

# Dieléctricos. Polarización iónica.

- Ocurre en dieléctricos con **moléculas no polares**. Al actuar un campo eléctrico, las moléculas se convierten en polares, giran y el dieléctrico se polariza (polarización iónica).



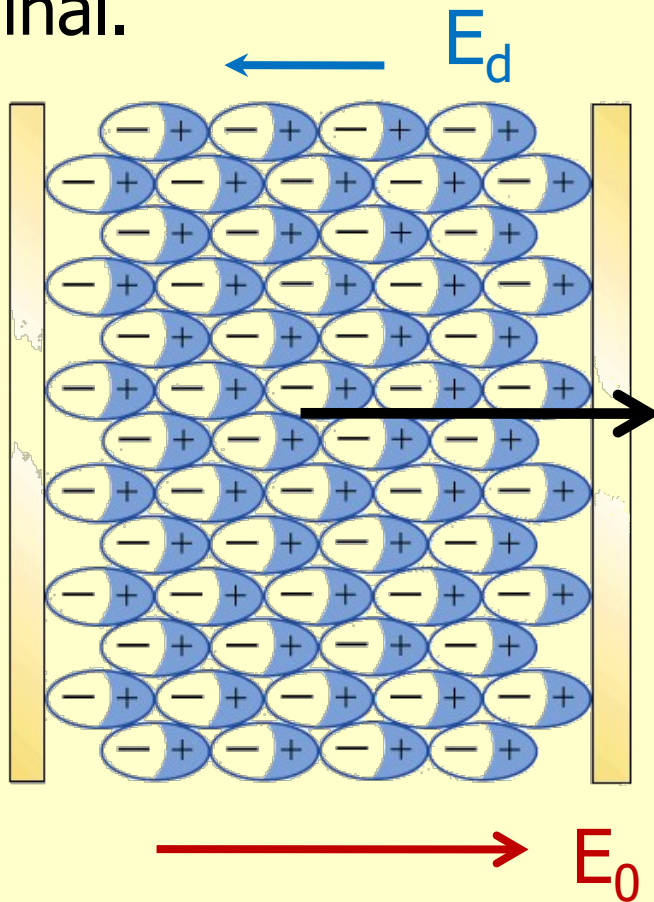
Al actuar un campo eléctrico externo, los centros de las cargas positiva y negativa se desplazan, formándose dipolos eléctricos.



- Los dipolos se orientan al actuar un campo eléctrico

# Dieléctricos. Respuesta a un campo eléctrico.

- Sea cual sea el tipo de polarización (dipolar o iónica), aparece **un campo eléctrico opuesto ( $E_d$ ) al campo original**. El campo resultante  $E$  es menor que el original.



$$E = E_0 - E_d = E_0 / \epsilon_r < E_0$$

$\epsilon_r$  (o  $k$ ) es característico de cada material, y se conoce como **permitividad dieléctrica relativa, o constante dieléctrica**.

$\epsilon_r \equiv k$  varía de 1 a  $\infty$

# Condensador con dieléctrico.

Sea un condensador aislado con carga  $Q$

**Condensador aislado sin dieléctrico**

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{S\epsilon_0}$$
$$V_0 = E_0 d = \frac{Qd}{S\epsilon_0}$$
$$C_0 = \frac{Q}{V_0} = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

**Condensador aislado con dieléctrico**

$$E = \frac{E_0}{\epsilon_r} = \frac{Q}{S\epsilon_0\epsilon_r}$$
$$V = Ed = \frac{Qd}{S\epsilon_0\epsilon_r} = \frac{V_0}{\epsilon_r}$$
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{S\epsilon_0\epsilon_r}{d} = \epsilon_r C_0 > C_0$$

El efecto de rellenar un condensador con un dieléctrico es el aumento de su capacidad. Se multiplica por la constante dieléctrica relativa:

$$C = \epsilon_r C_0 > C_0$$