

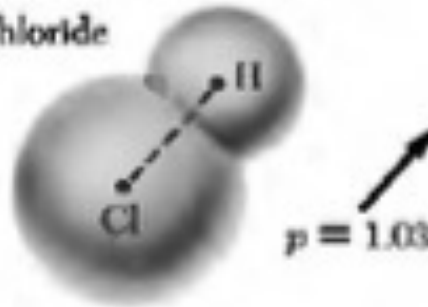
Dieléctricos o aislantes

Dipolos moleculares / atómicos

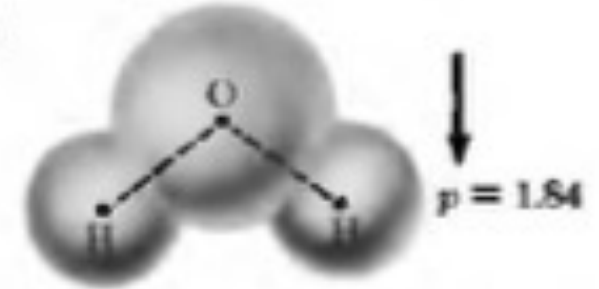
- Permanentes (moleculares): elementos de distintas electronegatividades.
- Inducidos: Deformaciones del átomo o molécula debido a un campo externo

Dipolos permanentes

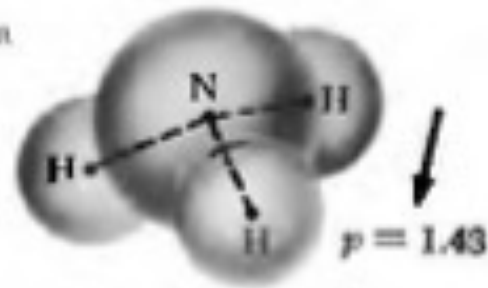
Hydrogen chloride



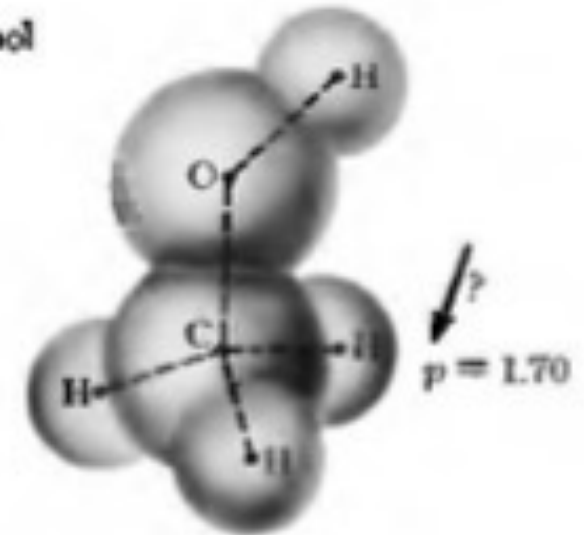
Water



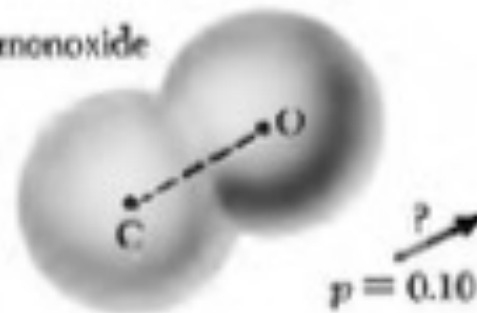
Ammonia



Methanol

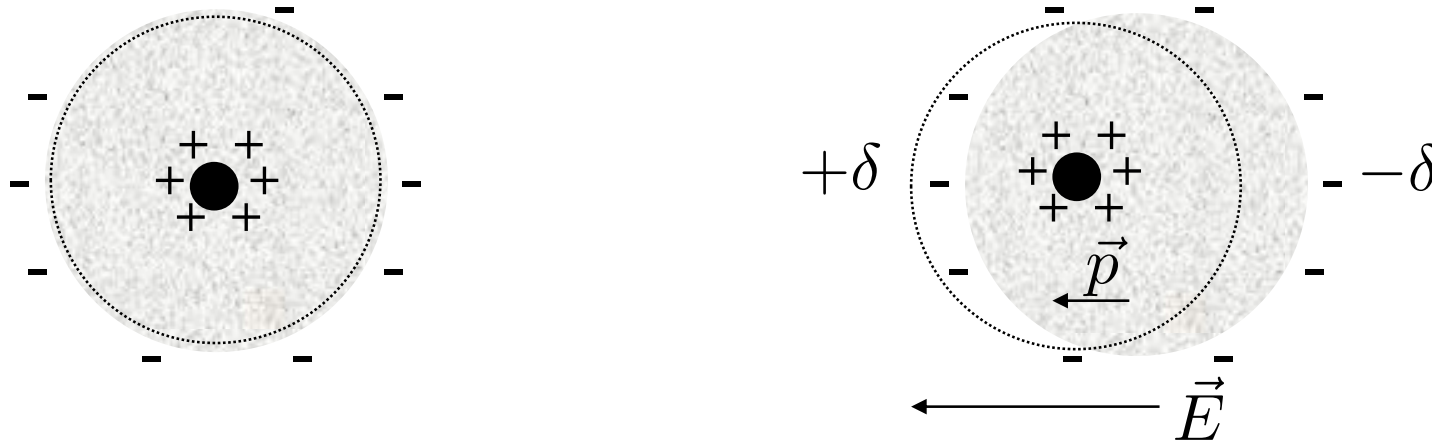


Carbon monoxide



Valores de p en Debyes (D)
 $1D = 3,33564 \times 10^{-30} \text{ C m}$

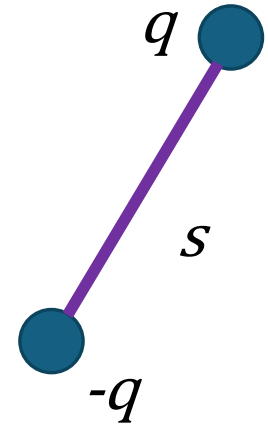
Dipolos inducidos



En ausencia de campo externo, el átomo/molécula no se distorsiona. En presencia de un campo externo las cargas atómicas /moleculares se desplazan creando una distribución dipolar δ

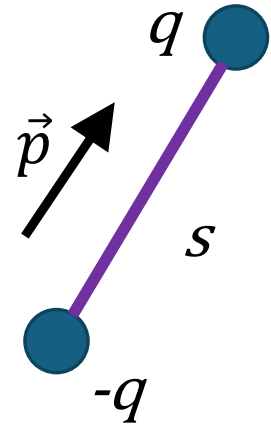
Torque sobre un dipolo en un campo externo

- Supongamos un dipolo de dos cargas opuestas de módulo q separadas por una varilla rígida no conductora de largo s .



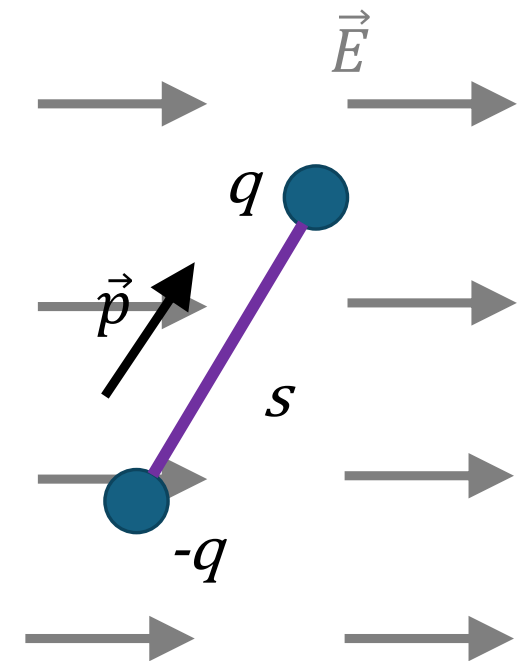
Torque sobre un dipolo en un campo externo

- Supongamos un dipolo de dos cargas opuestas de módulo q separadas por una varilla rígida no conductora de largo s .
- El momento dipolar es simplemente $\vec{p} = qs \hat{p}$.



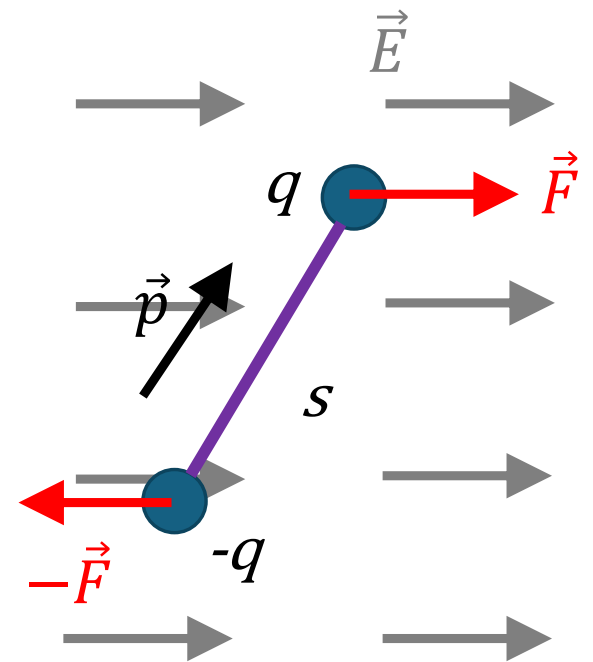
Torque sobre un dipolo en un campo externo

- Supongamos un dipolo de dos cargas opuestas de módulo q separadas por una varilla rígida no conductora de largo s .
- El momento dipolar es simplemente $\vec{p} = qs \hat{p}$.
- Nos interesa saber qué pasa cuando el dipolo se encuentra en un campo uniforme $\vec{E}$ (no nos interesa el campo del dipolo).



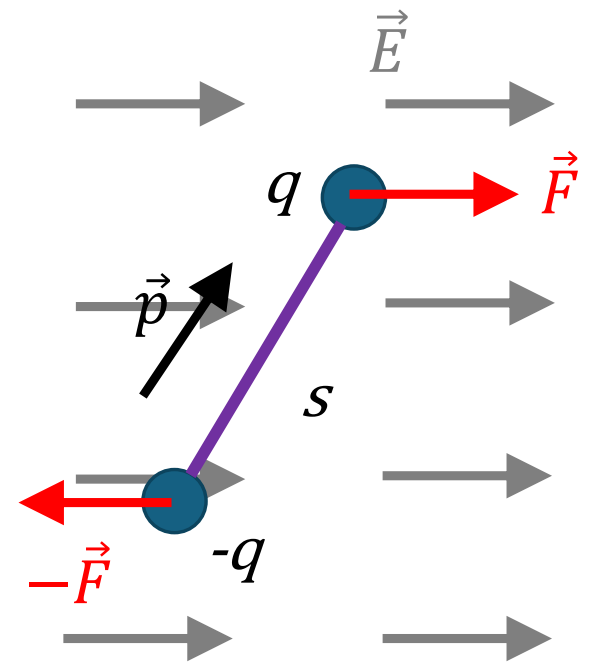
Torque sobre un dipolo en un campo externo

- Las cargas del dipolo sentirán fuerzas opuestas de módulo $F = qE$



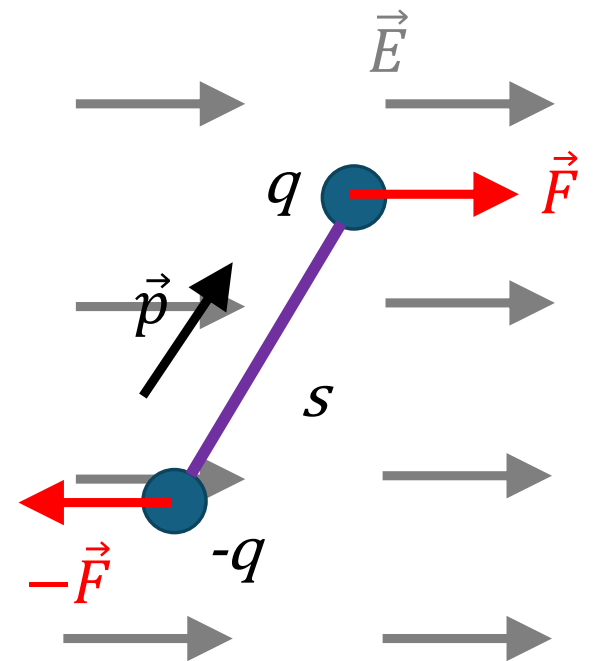
Torque sobre un dipolo en un campo externo

- Las cargas del dipolo sentirán fuerzas opuestas de módulo $F = qE$
- La fuerza resultante será nula, con lo cual el dipolo entero no se va a acelerar.



Torque sobre un dipolo en un campo externo

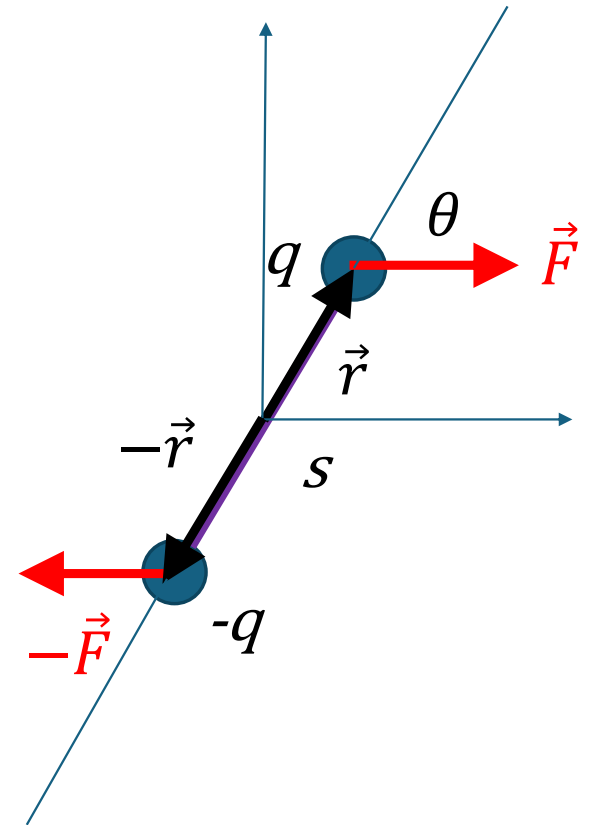
- Las cargas del dipolo sentirán fuerzas opuestas de módulo $F = qE$
- La fuerza resultante será nula, con lo cual el dipolo entero no se va a acelerar.
- Sin embargo, si el dipolo no está alineado con el campo habrá un torque



Torque sobre un dipolo en un campo externo

- El torque es

$$\vec{N} = \vec{r} \times \vec{F} + \left(-\vec{r} \times (-\vec{F}) \right) = 2 \vec{r} \times \vec{F}$$

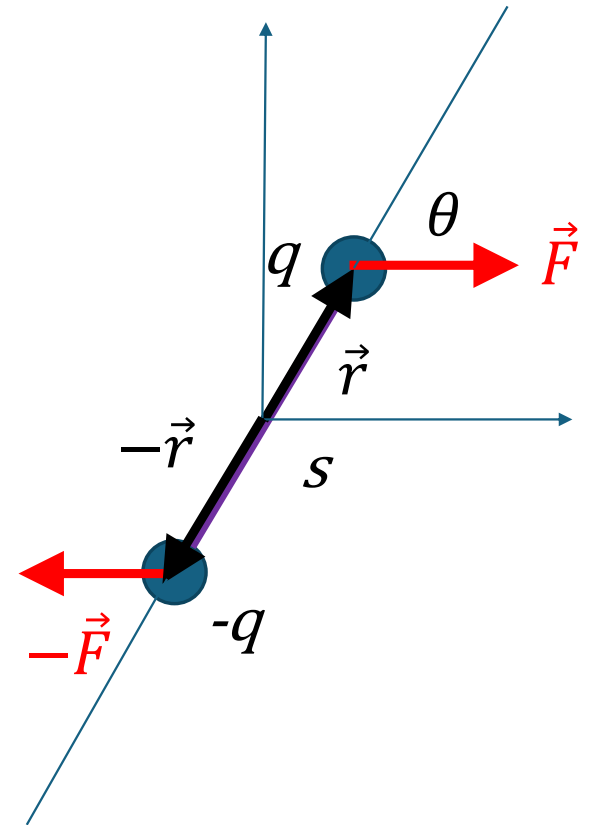


Torque sobre un dipolo en un campo externo

- El torque es

$$\vec{N} = \vec{r} \times \vec{F} + \left(-\vec{r} \times (-\vec{F}) \right) = 2 \vec{r} \times \vec{F}$$

- Como $|\vec{r}| = \frac{s}{2}$, $\vec{N}$ apunta hacia adentro de la pantalla y tiene módulo $|\vec{N}| = sqE |\sin \theta|$.



Torque sobre un dipolo en un campo externo

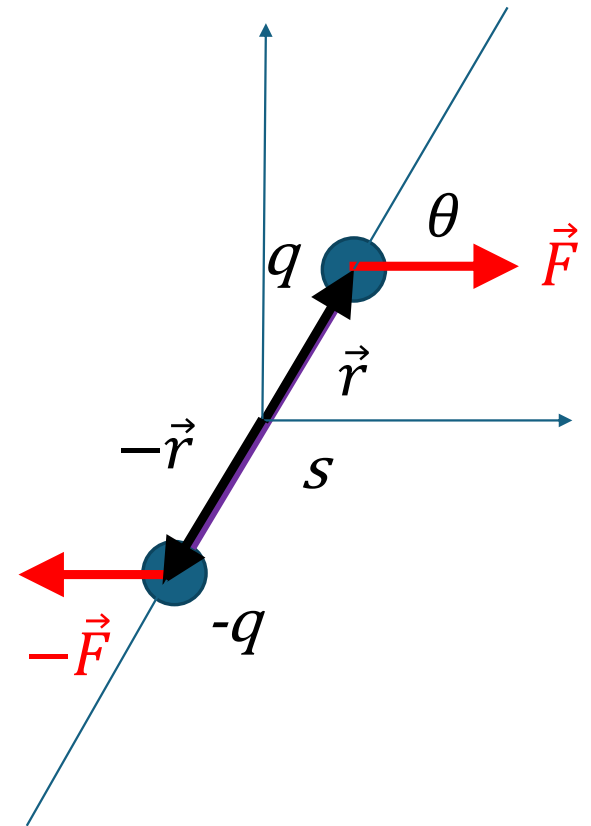
- El torque es

$$\vec{N} = \vec{r} \times \vec{F} + \left(-\vec{r} \times (-\vec{F}) \right) = 2 \vec{r} \times \vec{F}$$

- Como $|\vec{r}| = \frac{s}{2}$, $\vec{N}$ apunta hacia afuera de la pantalla y tiene módulo $|\vec{N}| = sqE |\sin \theta|$.

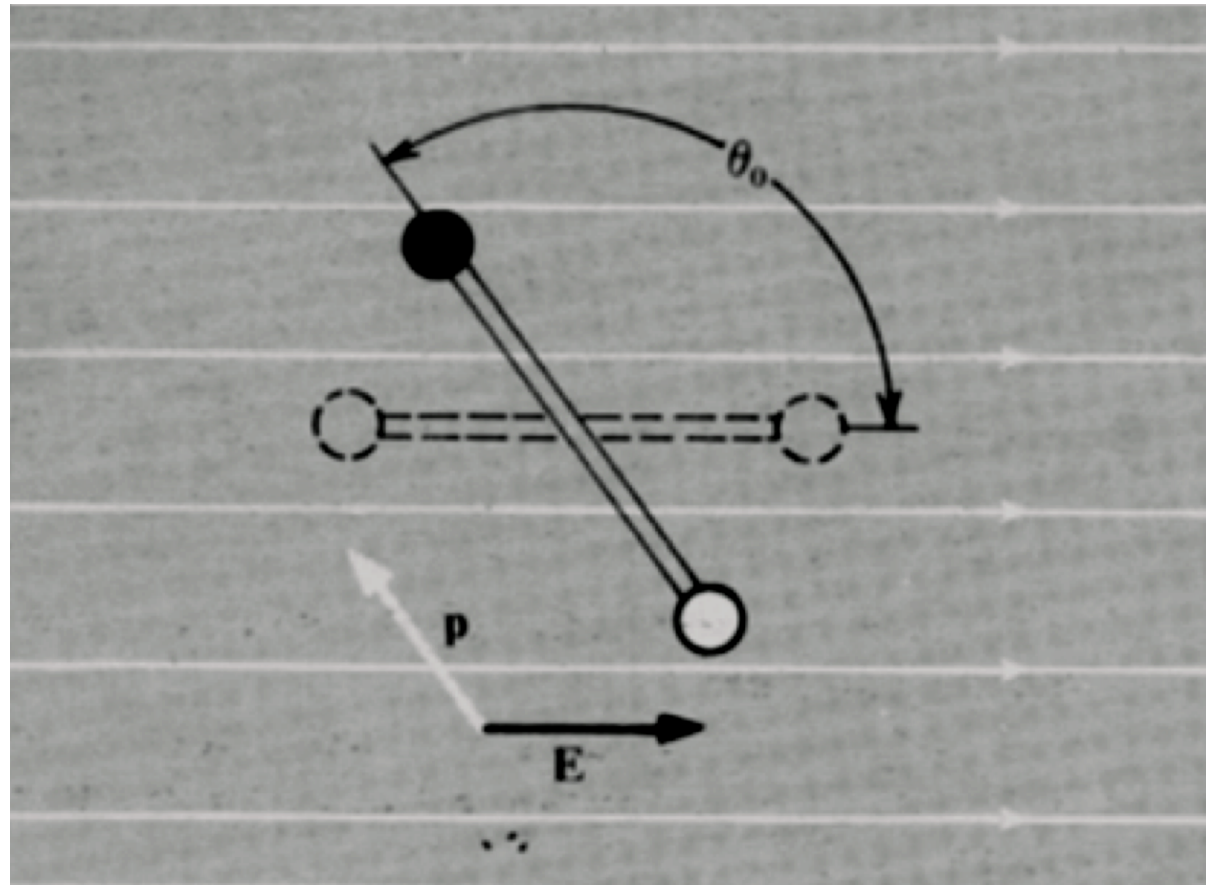
- Pero eso simplemente es

$$\vec{N} = \vec{p} \times \vec{E}$$

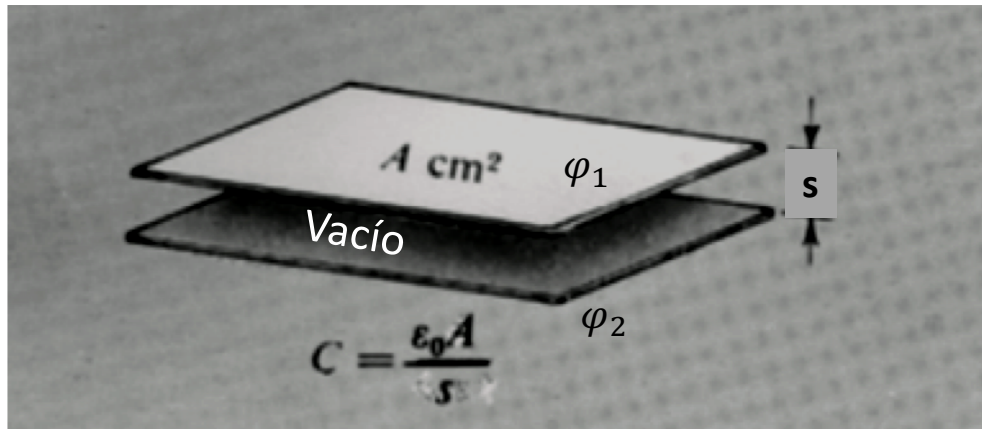


Torque sobre un dipolo en un campo externo

Esto quiere decir que un dipolo en medio de un campo eléctrico uniforme va a tender a alinearse con él a fin de adoptar la configuración de mínima energía



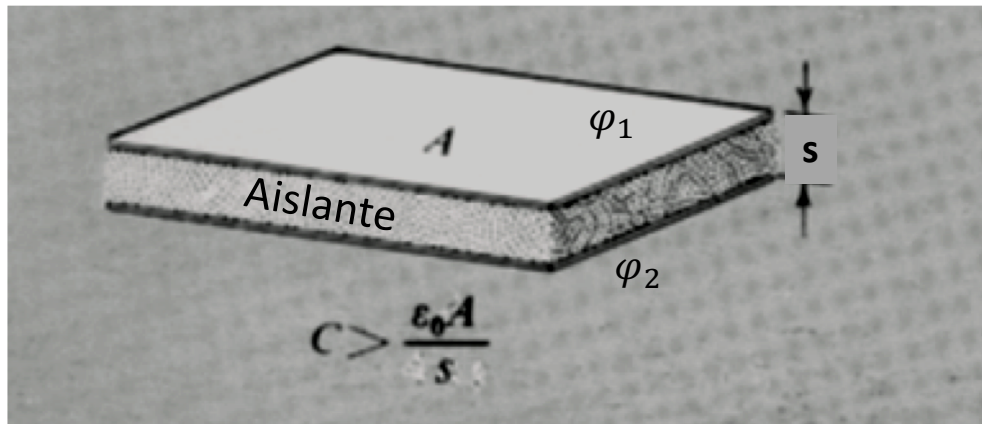
Experiencia con condensadores en vacío y con dieléctricos a potencial constante



- En el vacío: dos conductores aislados uno del otro. Para uno plano:

$$C = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\epsilon_0 A}{s}$$

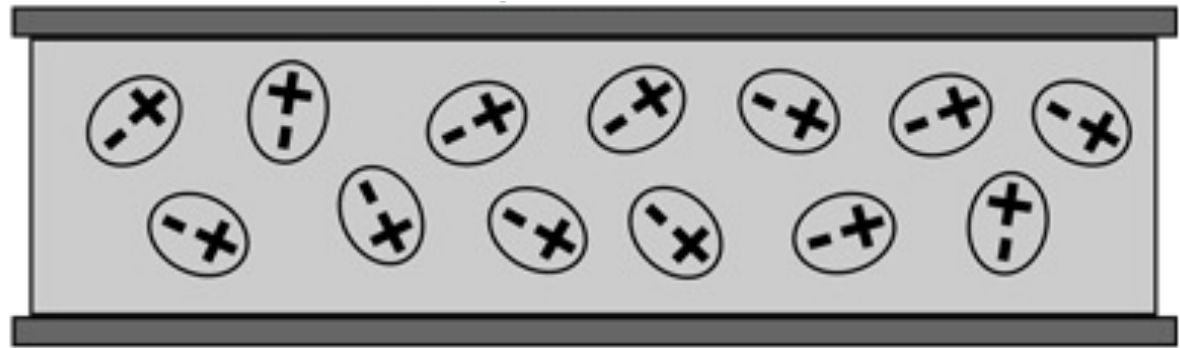
- Cuando metemos un material aislante entre las placas, manteniendo la diferencia de potencial, tenemos una capacidad mayor.



- **Esto se debe a una mayor cantidad de carga en las placas.**

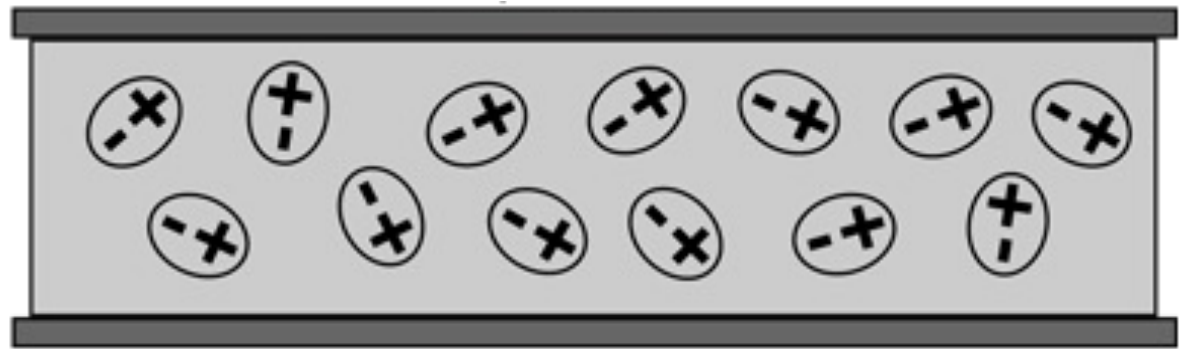
Origen de la respuesta dieléctrica

Moléculas
dipolares permanentes o
inducidas orientadas
desordenadamente



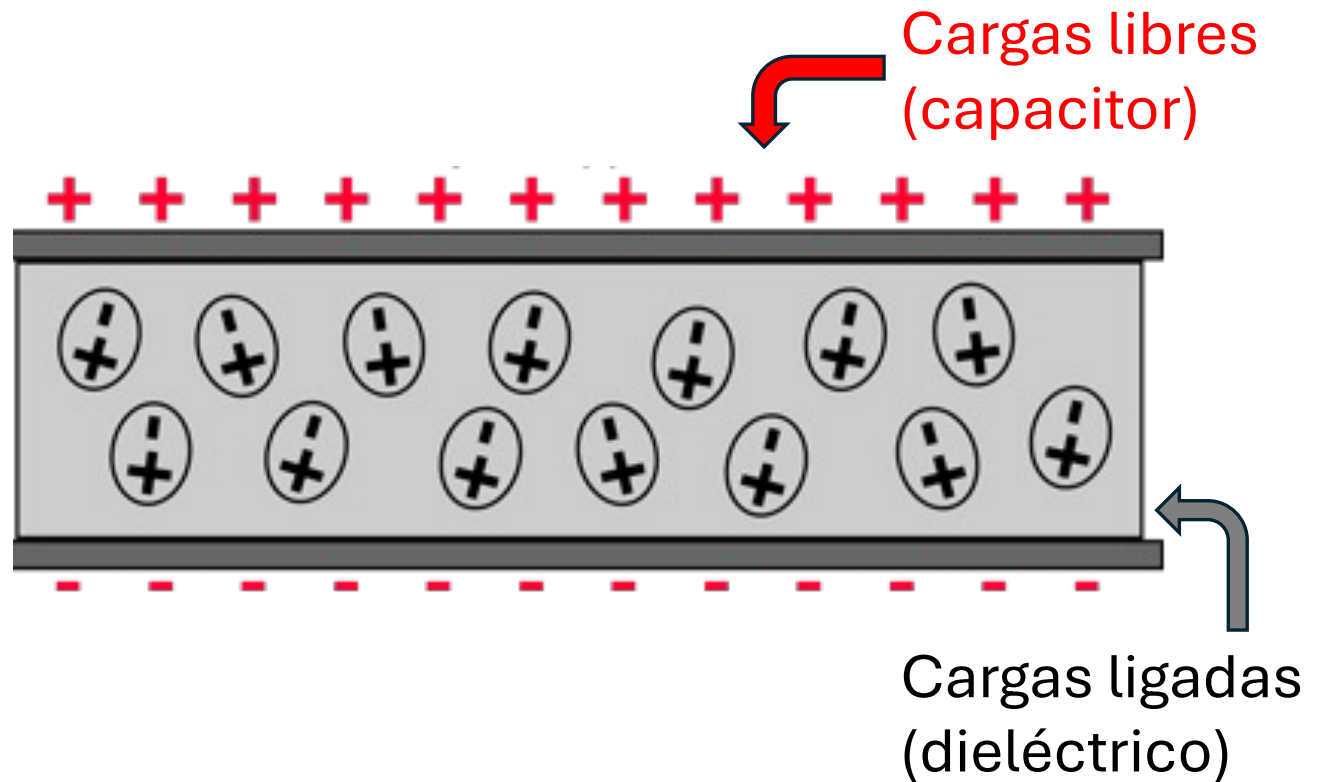
Origen de la respuesta dieléctrica

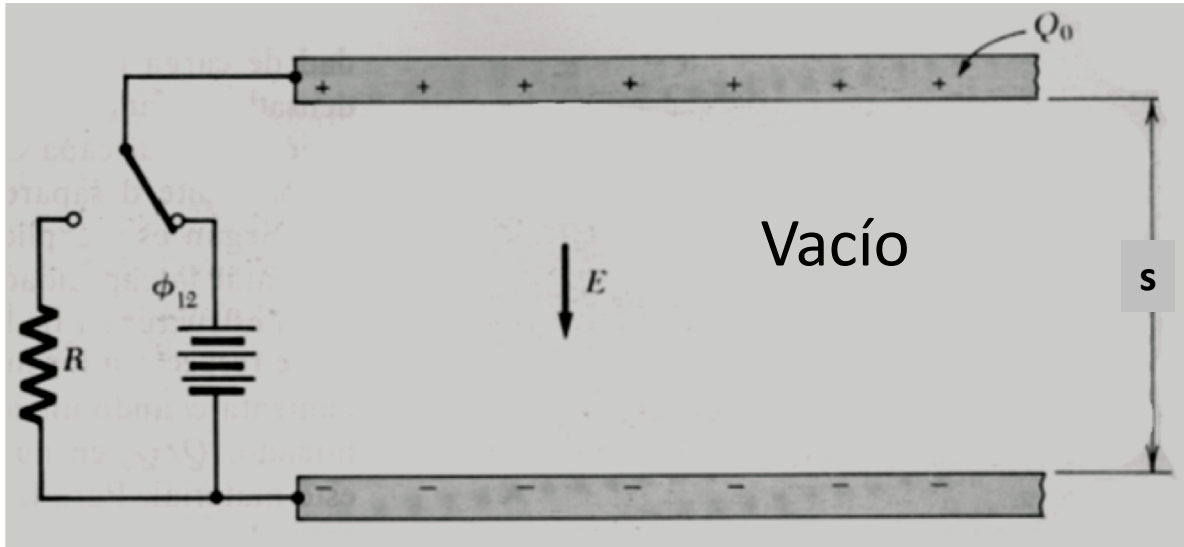
Moléculas
dipolares permanentes o
inducidas orientadas
desordenadamente



Origen de la respuesta dieléctrica

- La presencia de un campo externo orienta los dipolos
- Las cargas ‘ligadas’ descompensadas en los bordes del dieléctrico crean una distribución superficial de signo opuesto a la del conductor enfrente



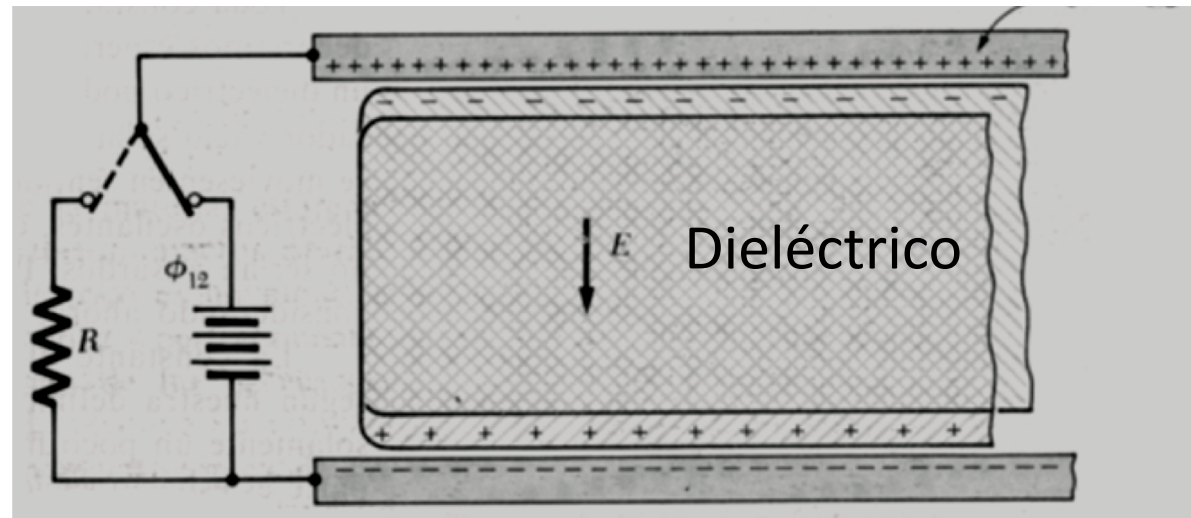


La batería mantiene la diferencia de potencial ϕ_{12} . Con una carga Q_0 , tenemos:

$$Q_0 = C_0 \phi_{12}$$

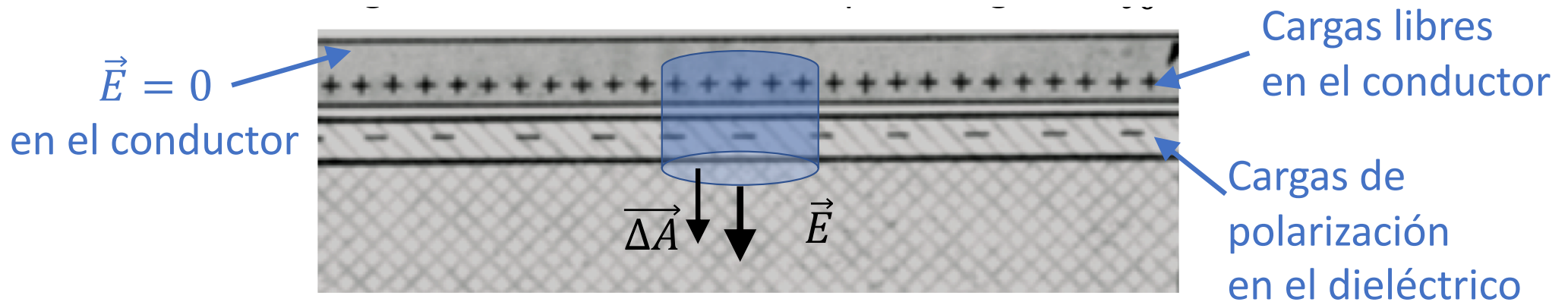
El campo eléctrico desplaza en el aislante las cargas positivas hacia abajo y las negativas hacia arriba. Capas no compensadas se ubican junto a las placas. En las placas hay ahora una carga mayor

$$Q = \kappa Q_0 \quad \kappa > 1$$



Cargas libres y ligadas

- En el vacío, el campo es $E = \frac{\varphi_{12}}{s}$
- Cuando metemos el dieléctrico, en todo el espacio, la diferencia de potencial es la misma (por acción de la batería) y la distancia es la misma con lo cual E no cambia.
- Esto quiere decir que la carga en el conductor Q , más la carga en el borde contiguo del dieléctrico tiene que ser igual a Q_0 .



Cargas libres y ligadas

- Entonces definiendo $\kappa > 1$ tal que $Q = \kappa Q_0$, la carga en el borde contíguo del dieléctrico es

$$Q' = -(\kappa Q_0 - Q_0) = (1 - \kappa)Q_0$$

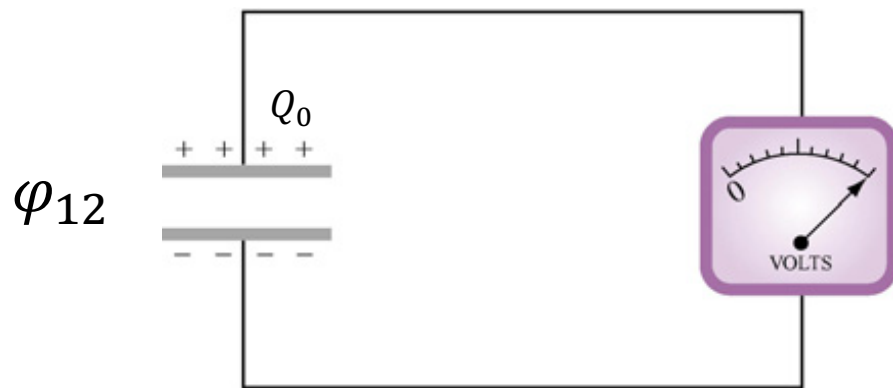
- κ es la **constante dieléctrica**

Tabla 10.1 Constantes dieléctricas de varias sustancias κ

<i>Substancia</i>	<i>Condiciones</i>	<i>Constante dieléctrica</i>
Aire	Gas, 0° C, 1 atm	1,00059
Metano	Gas, 0° C, 1 atm	1,00088
Ácido clorhídrico, HCl	Gas, 0° C, 1 atm	1,0046
Agua H ₂ O	Gas, 110° C, 1 atm	1,0126
	Líquido, 20° C	80
Benceno, C ₆ H ₆	Líquido, 20° C	2,28
Metanol CH ₃ OH	Líquido, 20° C	33,6
Amoníaco, NH ₃	Líquido, — 34° C	22
Aceite de transformador	Líquido, 20° C	2,24
Cloruro sódico, NaCl	Cristal, 20° C	6,12
Azufre, S	Sólido, 20° C	4,0
Silicio, Si	Sólido, 20° C	11,7
Polietileno	Sólido, 20° C	2,25-2,3
Porcelana	Sólido, 20° C	6,0-8,0
Cera de parafina	Sólido, 20° C	2,1-2,5
Vidrio pyrex 7070	Sólido, 20° C	4,00

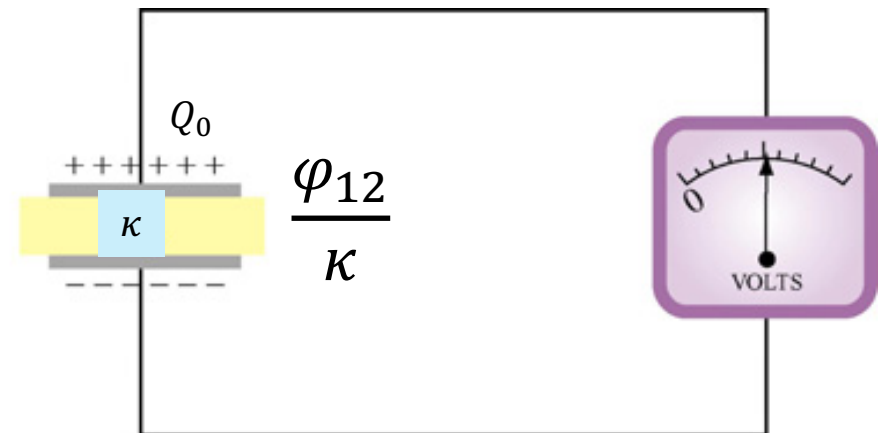
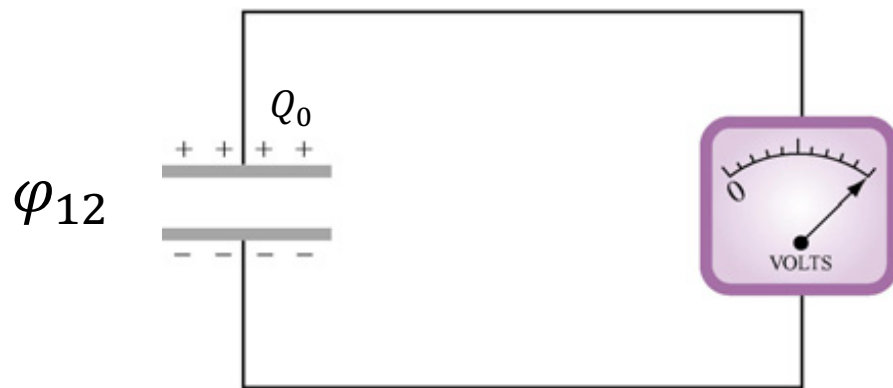
Dieléctricos en capacitor a carga constante

- Supongamos ahora que tenemos un capacitor plano de área A y distancia s entre placas cargado con carga Q_0 y a una diferencia de potencial φ_{12}
- Como vimos, el campo es $\frac{\varphi_{12}}{s}$ o $\frac{Q_0}{A\epsilon_0}$

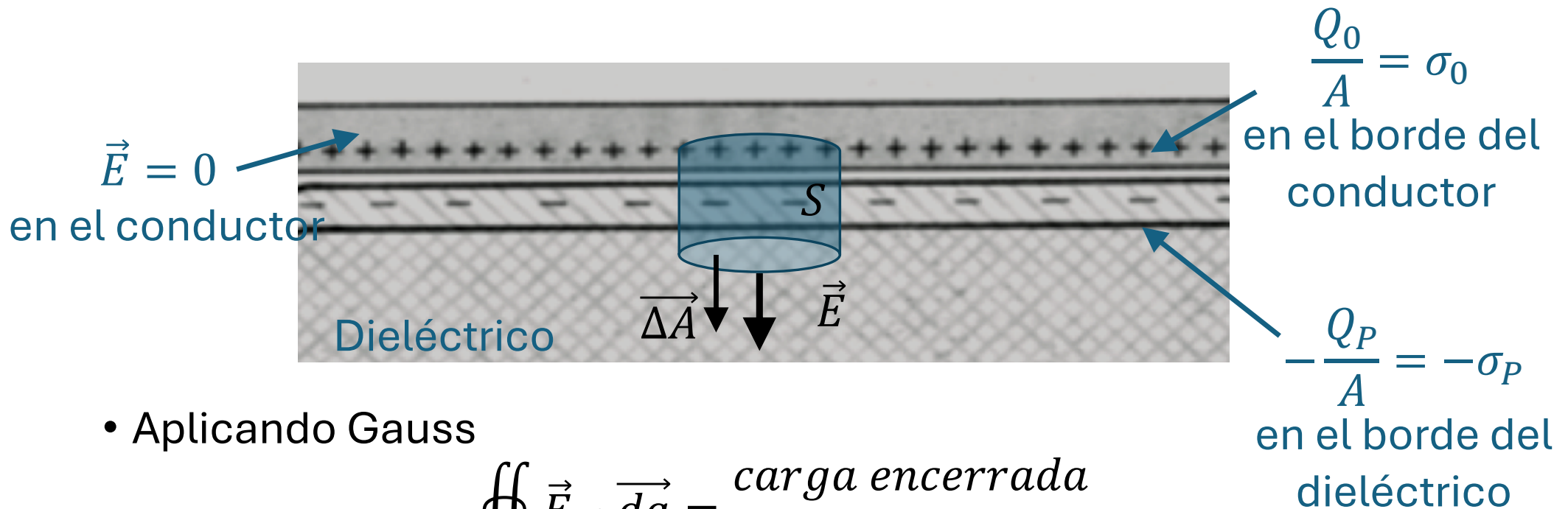


Dieléctricos en capacitor a carga constante

- Desconectada toda batería, se llena el espacio en el capacitor de un dieléctrico de constante κ manteniendo la carga Q_0 .
- Experimentalmente se ve que el potencial cae a $\frac{\varphi_{12}}{\kappa}$, con lo cual, el campo cae a $\frac{\varphi_{12}}{s\kappa}$ o $\frac{Q_0}{A\epsilon_0\kappa}$
- La capacidad aumenta a κC .



Dieléctricos en capacitor a carga constante (sin batería)



- Aplicando Gauss

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{\text{carga encerrada}}{\epsilon_0}$$

Dieléctricos en capacitor a carga constante (sin batería)

- Suponiendo carga de polarización $-Q_P$, y anulando el flujo de la tapa superior de S y el de las paredes laterales:

$$\vec{E} \cdot \overrightarrow{\Delta A} = E \Delta A = \frac{1}{\epsilon_0} \Delta A \left[\frac{Q_0}{A} - \frac{Q_P}{A} \right]$$

- Simplificando ΔA

$$E = \frac{1}{\epsilon_0} \left[\frac{Q_0}{A} - \frac{Q_P}{A} \right]$$

Dieléctricos en capacitor a carga constante (sin batería)

- E es el campo antes de introducir el dieléctrico dividido κ

$$E = \frac{Q_0}{\varepsilon_0 \kappa A}$$

- Entonces, volviendo a la ley de Gauss, tenemos:

$$\frac{Q_0}{\kappa \varepsilon_0 A} = \frac{Q_0 - Q_P}{\varepsilon_0 A} \Rightarrow \frac{Q_0}{\kappa} = Q_0 - Q_P$$

- con lo cual

$$Q_P = \left[1 - \frac{1}{\kappa}\right] Q_0, \text{ ó } \sigma_P = \left[1 - \frac{1}{\kappa}\right] \sigma_0$$

Energía en capacitores con dieléctricos

Energía almacenada en un capacitor con dielectrico

- La energía almacenada en un capacitor venía dada por:

$$U = \frac{1}{2} C \Delta\varphi^2$$

- Al colocar un dieléctrico, se espera que esta cantidad cambie:
 - A potencial constante
 - A carga constante

Energía almacenada en un capacitor con dielectrico (con batería)

- Supongamos un capacitor de capacidad inicial C_i que llenamos completamente con un dieléctrico de constante $\kappa > 1$, manteniendo el potencial constante.
- La energía pasa de un valor inicial (subíndice i)

$$U_i = \frac{1}{2} C_i \Delta\varphi_i^2$$

- A un valor final (subíndice f)

$$U_f = \frac{1}{2} C_f \Delta\varphi_f^2 = \frac{1}{2} \kappa C_i \Delta\varphi_i^2 > U_i \quad \Delta\varphi_f = \Delta\varphi_i$$

Pregunta

- ¿De dónde sale la energía que ingresa al sistema al colocar el dieléctrico a voltaje constante?

Energía almacenada en un capacitor con dielectrico (sin batería)

- Sea un capacitor de capacidad inicial C_i y diferencia de potencial $\Delta\varphi_i$ que llenamos completamente con un dieléctrico de constante $\kappa > 1$, manteniendo la carga constante.

- La energía pasa de un valor inicial

$$U_i = \frac{1}{2} C_i \Delta\varphi_i^2$$

- A un valor final donde $C_f = \kappa C_i$ y $\Delta\varphi_f = \frac{\Delta\varphi_i}{\kappa}$

$$U_f = \frac{1}{2} C_f \Delta\varphi_f^2 = \frac{1}{2} \kappa C_i \left[\frac{\Delta\varphi_i}{\kappa} \right]^2 = \frac{U_i}{\kappa} < U_i$$

Pregunta

- ¿A dónde va la energía que ya no está en el estado final?