Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**

EXPERIMENTO DE LOS MÓVILES Y EL PAPEL DE ALUMINIO

PREGUNTA A DEBATIR POR GRUPOS:
¿QUÉ HACE EL PAPEL DE ALUMINIO?

RECOPILACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE CADA GRUPO

ESTIMACIÓN: ¿CUÁNTOS ELECTRONES LIBRES HAY EN UN TROZO DE PAPEL DE ALUMINIO

10 g de Aluminio $\longrightarrow \sim 10^{23}$ electrones libres (1 por átomo)

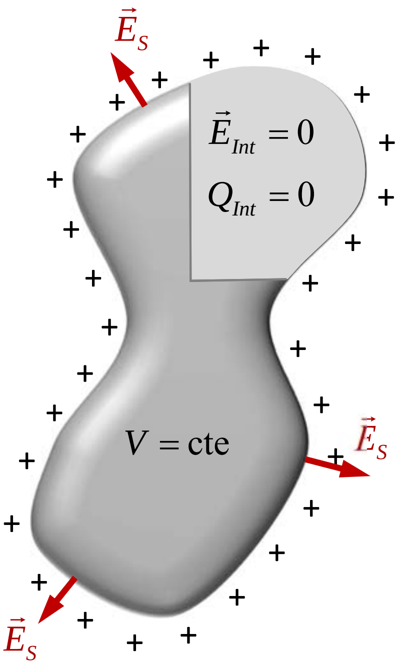
27 g = 1 mol de Aluminio (Nº Avogadro de átomos)

Propiedades de conductores en equilibrio electrostático

Imagen mental: Un conductor es un contenedor de infinidad de cargas que pueden moverse libremente

Las cargas no se mueven:

$$\sum_i \vec{F}_i = 0$$



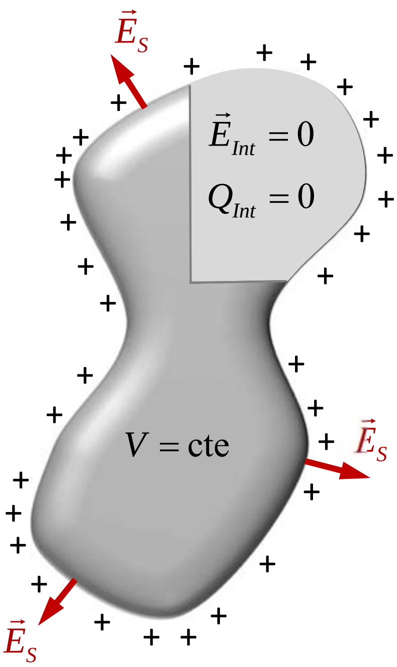
1. En el interior de un conductor
$$\vec{E}_{Int} = 0$$
2. Si hay carga neta, se distribuye únicamente en la superficie
$$Q_{Int} = 0$$
3. El campo eléctrico en la superficie es perpendicular a ella, y de valor
$$\vec{E}_S = E_S \hat{n} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{n}$$
4. Para todos los puntos del conductor, el potencial es constante
$$V = \text{cte}$$

Propiedades de conductores en equilibrio electrostático

Imagen mental: Un conductor es un contenedor de infinidad de cargas que pueden moverse libremente

Las cargas no se mueven:

$$\sum_i \vec{F}_i = 0$$



1. En el interior de un conductor
$$\vec{E}_{Int} = 0$$
2. Si hay carga neta, se distribuye únicamente en la superficie
$$Q_{Int} = 0$$
3. El campo eléctrico en la superficie es perpendicular a ella, y de valor
$$\vec{E}_S = E_S \hat{n} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{n}$$
4. Para todos los puntos del conductor, el potencial es constante
$$V = \text{cte}$$
5. La densidad de carga superficial σ es mayor en puntos con menor radio de curvatura

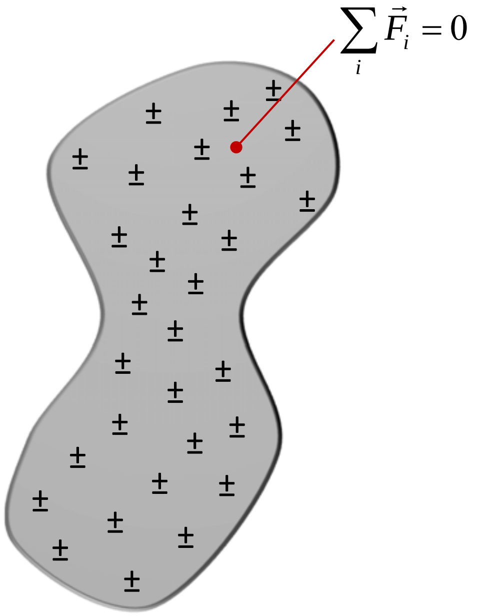
Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

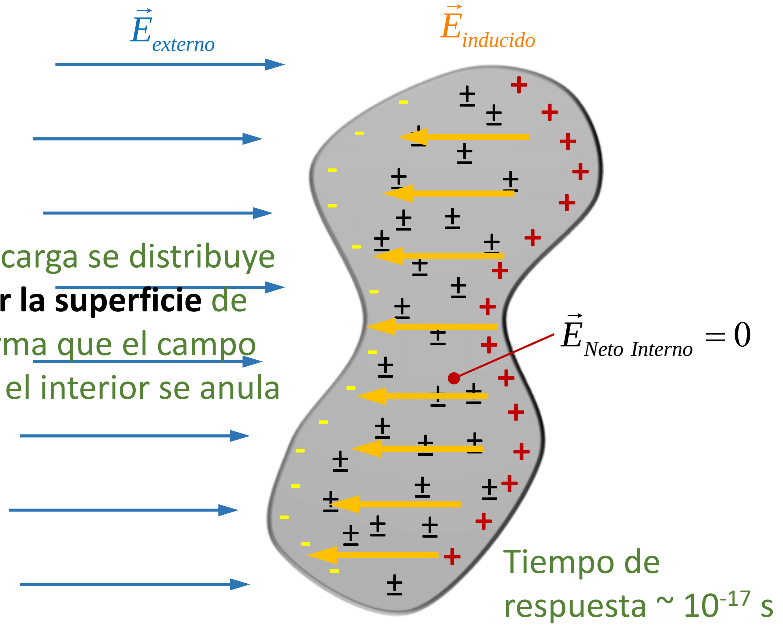
PREGUNTA: ¿Por qué no se mueven las cargas en el interior de un conductor en equilibrio?

1. **En el interior de un conductor el campo eléctrico es nulo** $\vec{E}_{Int} = 0$

   Demostración: Si no fuera nulo, las cargas libres que hay en el interior del conductor se moverían, y no existiría equilibrio electrostático

¿Y cómo lo hace el conductor? ¿Qué pasa en su interior para que se anule el campo?





La carga se distribuye **por la superficie** de forma que el campo en el interior se anula

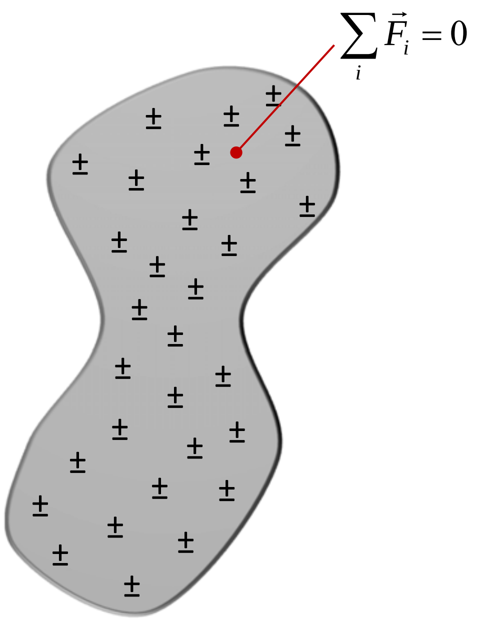
Tiempo de respuesta ~ 10^{-17} s

Sin campo externo	Con campo externo

Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

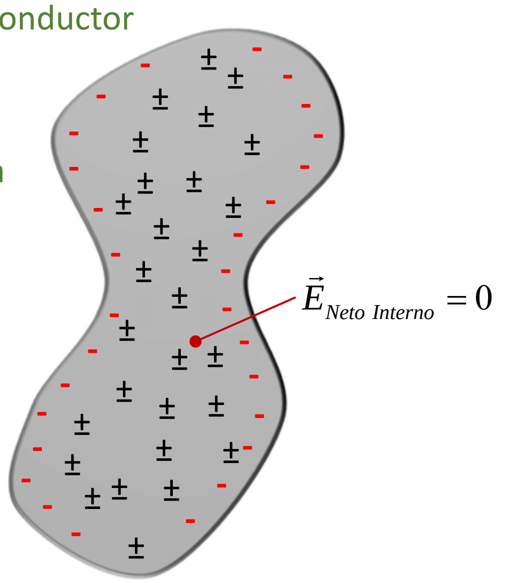
1. **En el interior de un conductor el campo eléctrico es nulo** $\vec{E}_{Int} = 0$

Sin carga neta	Con carga neta



TEATRO: Alumnos son electrones y clase es conductor

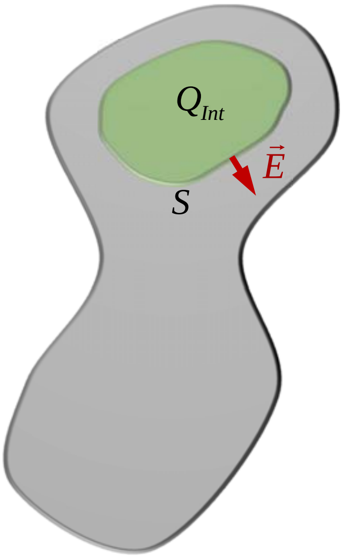
Al añadir carga, ésta se distribuye **por la superficie** de forma que el campo en el interior se anula



Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

2. Si hay carga neta, se distribuye únicamente en la superficie $\boxed{Q_{Int} = 0}$

Demostración: Usaremos el Teorema de Gauss y la Propiedad 1 ($\vec{E}_{Int} = 0$)



Recordamos el Teorema de Gauss

$$\boxed{\phi = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_{Interior}}{\varepsilon_0}}$$

INTENTAD DEMOSTRARLO! (problema de examen) **FICHA 8**

Tomamos una superficie cerrada cualquiera S que esté dentro del conductor.

Como el campo $\vec{E}$ en esa superficie es cero (por la Propiedad 1), el flujo neto será cero.

Aplicando el Teorema de Gauss, la carga neta en el interior de S debe ser cero.

Como S puede ser cualquiera del interior del conductor, la carga neta no puede estar en el interior, por lo que debe distribuirse por la superficie.

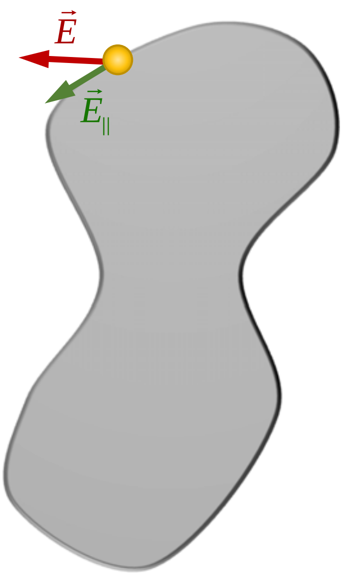
Pensad que carga neta significa exceso de carga del mismo signo $\longrightarrow$ Se repelen

Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

PREGUNTA: ¿Cuánto vale el campo en el exterior de un conductor cargado? ¿Y en su superficie?

TEATRO: Un alumno es carga libre y otro es el campo en la superficie

3. El campo eléctrico en la superficie es perpendicular a ella



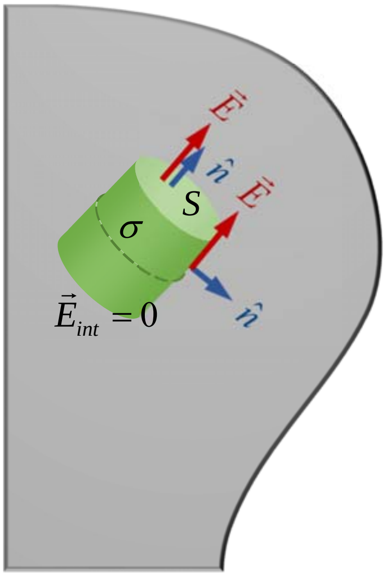
Demostración: Reducción al absurdo:

Si el campo no fuera perpendicular a la superficie, las cargas libres de la superficie sufrirían una fuerza neta diferente de cero $\longrightarrow$ Se moverían $\longrightarrow$ Ya no sería electrostática

Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

3. El campo eléctrico en la superficie es perpendicular a ella, y de valor $\boxed{\vec{E}_S = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{n}}$

(Ejercicio 2.1)



El **valor del campo** se calcula igual que el caso de una superficie cargada (Apartado 1.6, Ejemplo Gauss 2):

Aplicamos el Teorema de Gauss sobre un cilindro que atraviese la superficie del conductor: "Pastillero de Gauss"

$$\left.\begin{aligned} \phi_{neto} &= \phi_S + 0 + 0 = \int_S \vec{E}\cdot d\vec{A} = \int_S E\, dA = ES \\ \phi_{neto} &= \frac{Q_{Interior}}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma S}{\varepsilon_0} \end{aligned}\right\} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

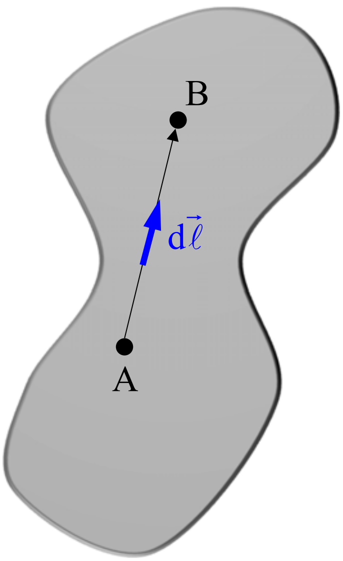
Pensad que esto se cumple aunque el conductor esté expuesto a campos externos, porque se deduce por estar en estado estático

Y ahora... **FICHA 9**

Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

4. Para todos los puntos del conductor, el potencial es constante $\boxed{V = \text{cte}}$

Demostración: <u>Cualitativa</u>:



Si el potencial no fuera constante, habría puntos con diferente potencial dentro del conductor

→ Las cargas se moverían por la diferencia de potencial

<u>Cuantitativa</u> (podemos calcularlo):

Entre dos puntos del interior:

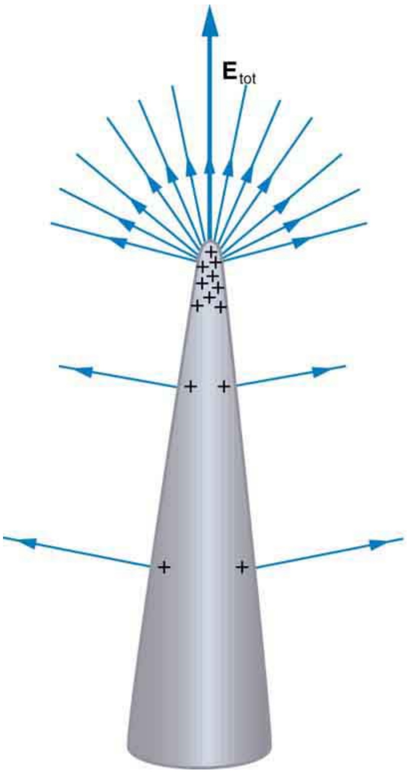
$$\Delta V = V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E}_{Int}\cdot d\vec{\ell} = 0$$

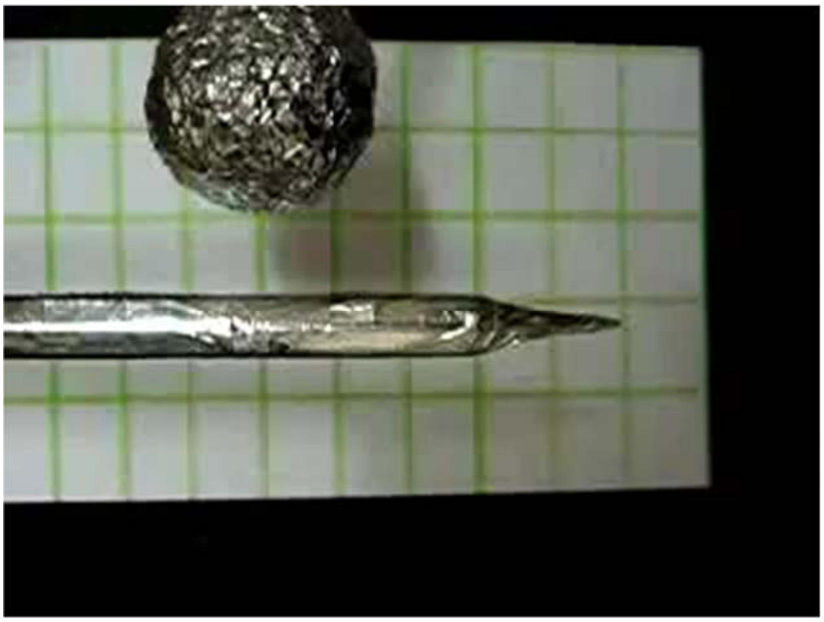
$$\vec{E}_{Int} = 0$$

Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

5. La densidad de carga superficial σ es mayor en puntos con menor radio de curvatura

Consecuencia: **Efecto punta**





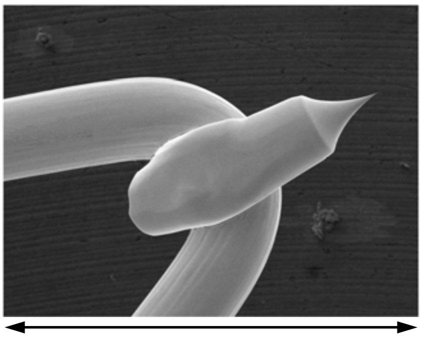
Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

5. La densidad de carga superficial σ es mayor en puntos con menor radio de curvatura

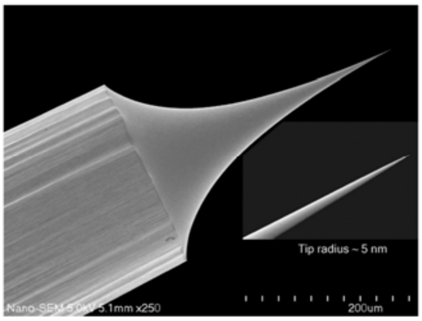
Consecuencia: **Efecto punta**

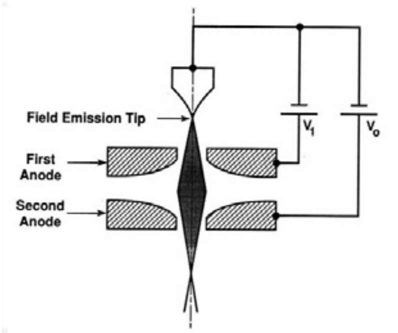
Aplicación:

Cañón de electrones (microscopía electrónica)



1 mm





¿Cómo funciona un microscopio electrónico?

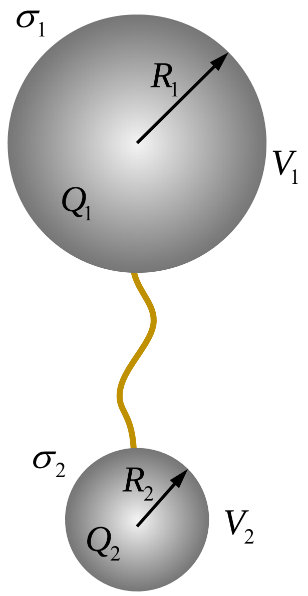
Demostración de las propiedades de conductores en equilibrio electrostático

5. La densidad de carga superficial σ es mayor en puntos con menor radio de curvatura

Conductor esférico $\xrightarrow{\boxed{\text{simetría}}}$ σ constante

Forma general $\longrightarrow$ σ **NO** constante

EJEMPLO



Tomamos 2 esferas cargadas (las consideramos suficientemente separadas como para que sus campos no se afecten entre sí)

Potencial en la superficie de una esfera cargada: $V = \dfrac{kQ}{R}$
(vimos que salía como el de una carga puntual)

Las unimos con un hilo conductor $\longrightarrow$ Se igualan los potenciales

$$V_1 = V_2 \rightarrow \frac{kQ_1}{R_1} = \frac{kQ_2}{R_2} \rightarrow Q_1 = Q_2 \frac{R_1}{R_2} \rightarrow \boxed{Q_1 > Q_2}$$

$$\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi R_1^2} = \frac{Q_2}{4\pi R_1^2}\frac{R_1}{R_2} = \frac{Q_2}{4\pi R_1 R_2} = \frac{Q_2}{4\pi R_2^2}\frac{R_2}{R_1} = \sigma_2 \frac{R_2}{R_1} \rightarrow \boxed{\sigma_2 > \sigma_1}$$

A menor radio, menos carga, pero más **densidad de carga**!

Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**

Tema 1. Electrostática en el vacío

1.1. Carga eléctrica
1.2. Ley de Coulomb
1.3. Campo eléctrico
1.4. Energía electrostática y potencial eléctrico
1.5. Campo y potencial creado por una distribución de carga
1.6. Flujo eléctrico. Teorema de Gauss

Tema 2. Electrostática en la materia

2.1. Conductores en equilibrio electrostático.
2.2. Cavidades en conductores en equilibrio. Condensadores.
2.3. Dieléctricos. Polarización. Teorema de Gauss generalizado

Tema 3. Corriente eléctrica

3.1. Intensidad de corriente
3.2. Ley de Ohm. Resistencia eléctrica
3.3. Potencia. Ley de Joule
3.4. Fuerza electromotriz
3.5. Asociación de resistencias
3.6. Leyes de Kirchhoff
3.7. Circuitos RC. Transitorios

PREGUNTA: Si hay una tormenta eléctrica,
¿dónde se está más seguro, dentro o fuera de un coche?

Cavidades en conductores (sin carga en el interior)

Jaula de Faraday ("escudo frente al campo eléctrico")

Cavidades en conductores (sin carga en el interior)

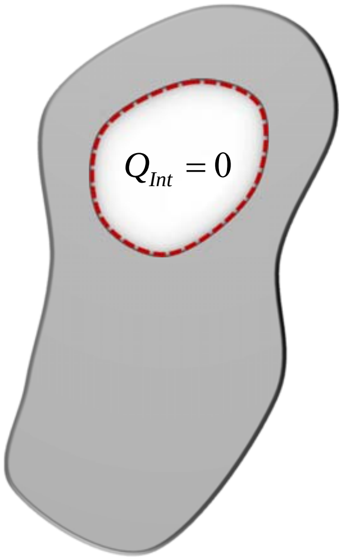
Jaula de Faraday ("escudo frente al campo eléctrico")

Cavidades en conductores (sin carga en el interior)

¿Qué pasa en la cavidad? ¿Cuánto vale el campo dentro?

¿Hay carga en la superficie interior?

El campo eléctrico dentro de la cavidad va a ser **nulo**,
siempre que no haya carga adicional dentro de la cavidad



$$\boxed{\phi = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_{Interior}}{\varepsilon_0}}$$

$$\downarrow$$

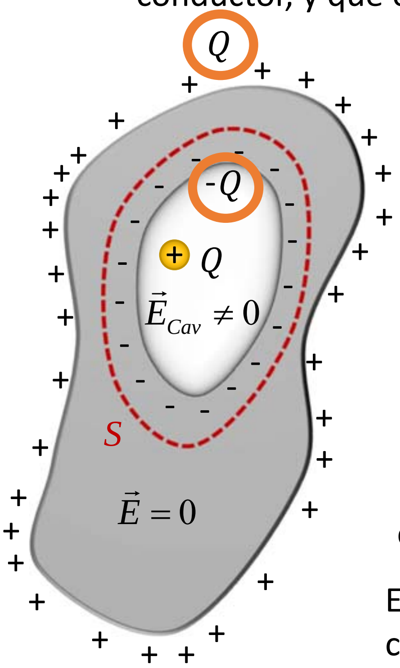
$$\boxed{\vec{E}_{Int} = 0}$$

Esto es cierto independientemente de que haya campos externos!! → Jaula de Faraday

Cavidades en conductores, con carga en el interior

Una carga en una cavidad de un conductor **induce una carga** equivalente y de signo contrario en la superficie interior de dicha cavidad

Demostración: Aplicamos el **Teorema de Gauss** en una superficie S interna al conductor, y que encierre a la cavidad:



$$\boxed{\phi = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_{Interior}}{\varepsilon_0}}$$

$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = 0 \longrightarrow Q_{Int} = 0$$

$$\vec{E} = 0$$

Debe existir una carga $-Q$ distribuida por la superficie interior, inducida por la carga interior a la cavidad, que haga que la carga neta en el interior de la superficie S sea cero

Por conservación de la carga, en el conductor aparece una carga positiva Q (la carga neta del conductor es cero)

Esa carga Q se distribuye por la superficie exterior del conductor, como si tuviera una carga neta Q

PENSAR: ¿Hay campo dentro de la cavidad?

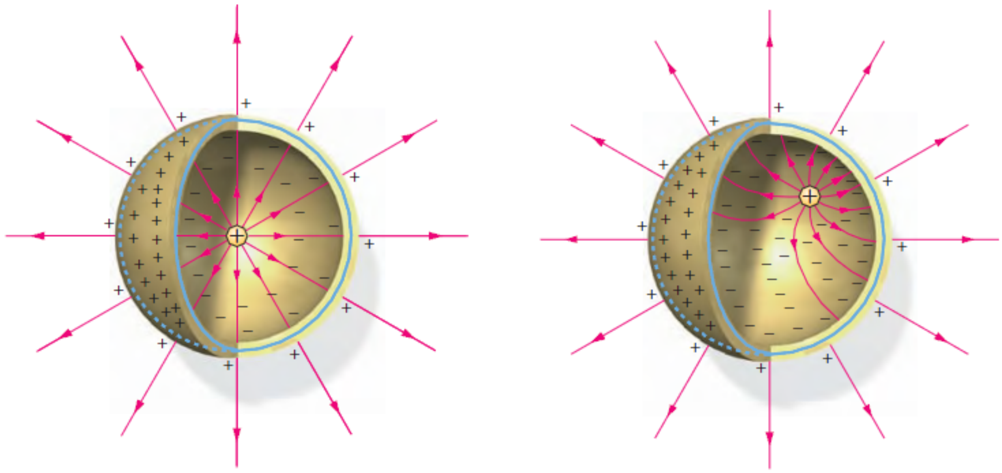
PENSAR: ¿Y si pongo o quito carga del conductor?

Cavidades en conductores, con carga en el interior

Una carga en una cavidad de un conductor induce una carga equivalente y de signo contrario en la superficie interior de dicha cavidad

Comentarios:

- La posición de la carga interior no afecta a la distribución de carga exterior (sólo a la distribución interior)



- Una jaula de Faraday no impide que salga el campo de una carga en su interior (para eso hay que ponerla a tierra)

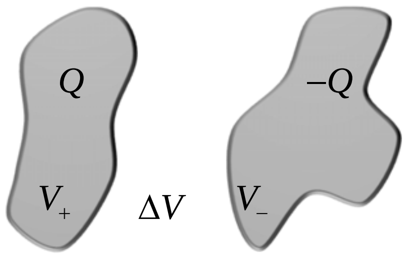
Y ahora... **FICHA 10**

Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**

PREGUNTA: ¿cómo funciona una pantalla táctil?

Condensador

Dos conductores, llamados electrodos, uno con carga Q y otro $-Q$, con una diferencia de potencial entre ellos de V



Sirven para:

- Acumular carga
- Acumular energía

Ejemplo: Presa en un río

Ejemplos:

- Sensores
- Lámparas de flash

Ejemplo: Pantalla táctil

Capacidad de un condensador

Propiedad intrínseca a un condensador, que relaciona la **carga** que adquiere con el **potencial** que se aplica a sus electrodos:

Es constante para una geometría y materiales dados

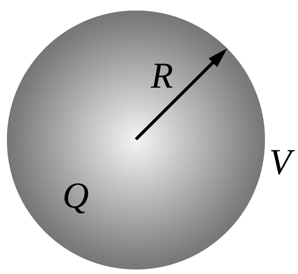
$$C \equiv \frac{Q}{V}$$

Unidad en el S.I.: Faradio (F)(Culombio/Voltio)

En la práctica, 1 F es demasiado grande, y se usan divisores ($10^{-6} - 10^{-12}$ F)

NOTA: En elementos de circuitos (condensadores, resistencias,…) llamaremos potencial V al valor absoluto de la diferencia de potencial entre sus extremos $|\Delta V|$

Capacidad de un conductor esférico



Podemos considerar una esfera cargada como un condensador, donde la esfera es uno de los electrodos y el otro está en el infinito, con V=0

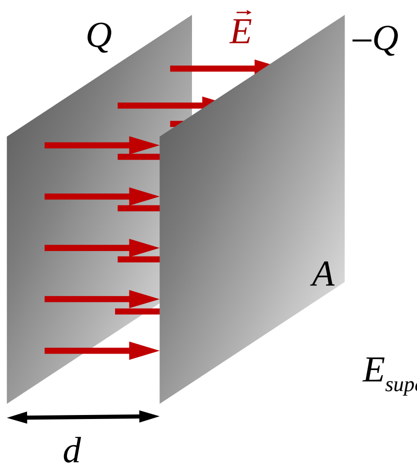
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{kQ/R} = \frac{R}{k} = 4\pi\varepsilon_0 R$$

$$V = k\frac{Q}{R}$$

$$\boxed{C = 4\pi\varepsilon_0 R}$$

Capacidad de un condensador planoparalelo

Ejercicio 2.2



$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Qd/\varepsilon_0 A} = \varepsilon_0\frac{A}{d}$$

$$\boxed{C = \varepsilon_0\frac{A}{d}}$$

$$V = \int \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = Ed = \frac{Qd}{\varepsilon_0 A}$$

$$E = 2E_{superficie} = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$$

$$E_{superficie} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{Q}{2\varepsilon_0 A}$$

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

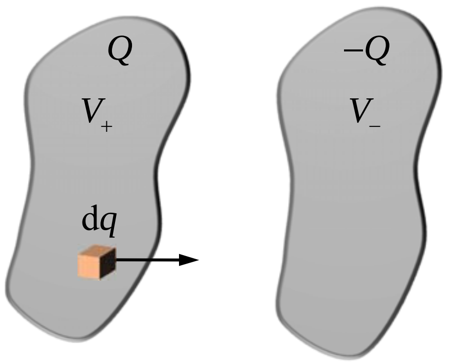
PENSAR:
¿Qué pasa si mantengo Q y acerco los electrodos?

¿Y si mantengo V en lugar de Q?

Energía de un condensador

Los condensadores acumulan energía, ya que tienen carga a diferente potencial. Al unir los electrodos de un condensador, las cargas pasan de uno a otro hasta que no hay diferencia de potencial, produciendo una corriente.

La energía que acumula un condensador es la misma que se ha necesitado para cargarlo (para llevar la carga Q de un electrodo a otro)



$$\mathrm{d}W = V(q)\mathrm{d}q = \frac{q}{C}\mathrm{d}q$$

$$U = W = \int_0^Q V(q)\mathrm{d}q = \int_0^Q \frac{q}{C}\mathrm{d}q = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

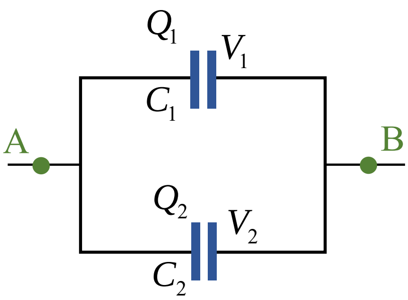
Utilizando la definición de capacidad $C = \dfrac{Q}{V}$

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

Ejercicio 2.3. Y además... **FICHA 11**

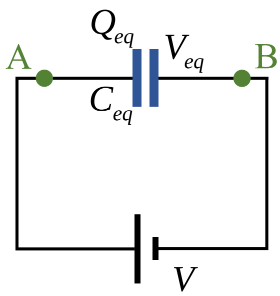
Asociación de condensadores: En Paralelo

¿Será la capacidad mayor o menor?



$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1} \qquad C_2 = \frac{Q_2}{V_2}$$

$$C_{eq} = \frac{Q_{eq}}{V_{eq}}$$



Equivalente: Al ponerlo al mismo potencial, acumula la misma carga y la misma energía

Potencial: $V = V_B - V_A = \boxed{V_1 = V_2 = V_{eq} = V}$

Energía: $\boxed{U_1 + U_2} = \frac{1}{2}V_1Q_1 + \frac{1}{2}V_2Q_2 = \frac{1}{2}V\left(Q_1 + Q_2\right)$

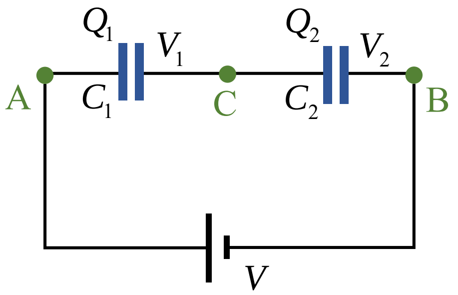
$\boxed{U_{eq}} = \frac{1}{2}V_{eq}Q_{eq} = \frac{1}{2}VQ_{eq}$

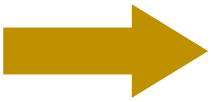
Carga: $\boxed{Q_{eq} = Q_1 + Q_2}$

$$\boxed{C_{eq} = \frac{Q_{eq}}{V_{eq}} = \frac{Q_1 + Q_2}{V} = \frac{Q_1}{V} + \frac{Q_2}{V} = C_1 + C_2}$$

Asociación de condensadores: En Serie

¿Será la capacidad mayor o menor?

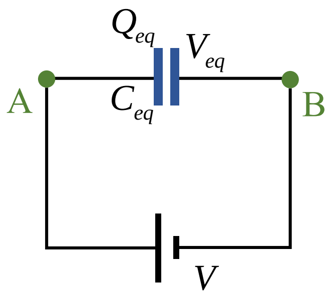




$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1}$$

$$C_2 = \frac{Q_2}{V_2}$$

$$C_{eq} = \frac{Q_{eq}}{V_{eq}}$$



Equivalente: Al ponerlo al mismo potencial, acumula la misma carga y la misma energía

Potencial: $V = V_A - V_B = V_A - V_C + V_C - V_B = \boxed{V_1 + V_2 = V_{eq} = V}$

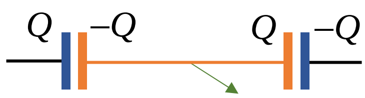
Energía: $\boxed{U_1 + U_2} = \frac{1}{2}V_1Q_1 + \frac{1}{2}V_2Q_2 = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)Q = \frac{1}{2}VQ$

$\shortparallel$

$\boxed{U_{eq}} = \frac{1}{2}V_{eq}Q_{eq} = \frac{1}{2}VQ_{eq}$

Carga: $\boxed{Q_1 = Q_2 = Q = Q_{eq}}$

$$V_{eq} = V_1 + V_2$$



Trozo aislado. Carga neta debe ser cero

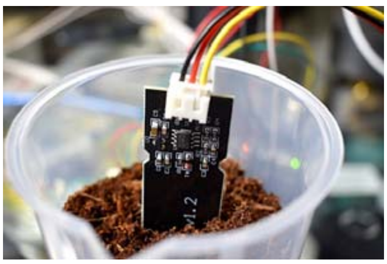
$$\frac{Q_{eq}}{C_{eq}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} \rightarrow \frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \rightarrow \boxed{\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} \quad \boxed{C_{eq} = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}}$$

Ejercicio 2.4

Aplicaciones de los condensadores

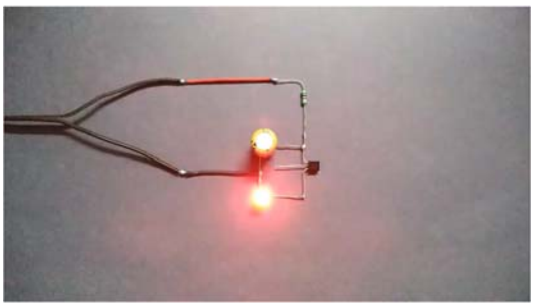
Acumular energía

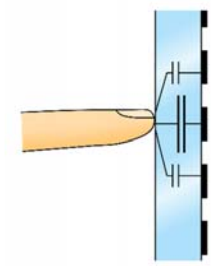
Sensores



Pantallas

Temporizadores



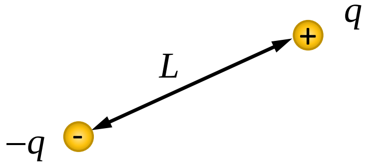


Bloque I: Electricidad | **Bloque II: Magnetismo** | **Bloque III: Ondas y Óptica**

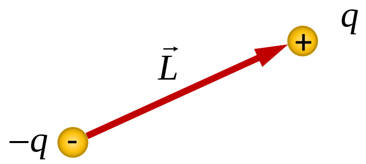
PREGUNTA: ¿Por qué un globo, tras frotarlo, atrae papelitos?

Dipolos eléctricos

Definición: **Dipolo eléctrico**: Sistema de dos cargas puntuales iguales y opuestas (q, -q) separadas una distancia L.

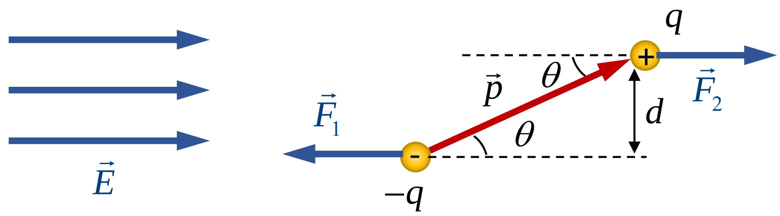


Definición: **Momento dipolar eléctrico**: Vector $\vec{p} = q\vec{L}$, con $\vec{L}$ un vector que va desde la carga negativa a la positiva.



$$\boxed{\vec{p} = q\vec{L}}$$

Definición: **Momento de un dipolo sometido a un campo**: Momento del par de fuerzas que aparecen al someter un dipolo a un campo.



$$\vec{\tau} = \vec{L}\times\vec{F} = \vec{L}\times q\vec{E} = q\vec{L}\times\vec{E} = \vec{p}\times\vec{E}$$

$$\tau = Fd = FL\sin\theta$$

$$\tau = pE\sin\theta$$

Momento hace que $\vec{p}$ gire hasta que esté en la misma dirección que $\vec{E}$

Polarización de un dieléctrico

Definición: **Polarización:** Al aplicar un campo eléctrico sobre un dieléctrico, **aparece en su interior un campo eléctrico de sentido contrario**.

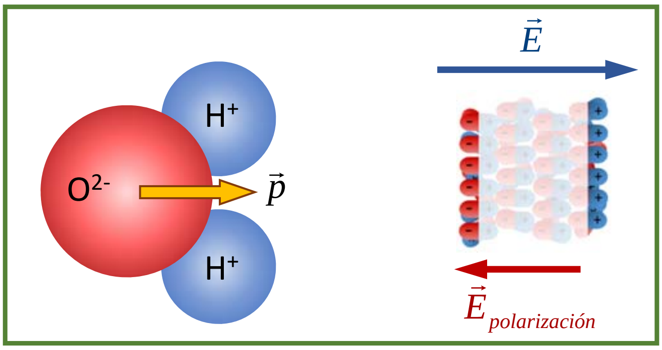
Explicación:

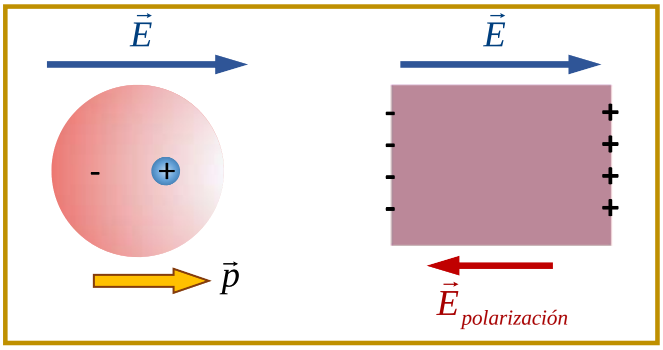
Átomos y moléculas son neutros

Pero las posiciones de las cargas positivas y negativas no tienen por qué coincidir

Si no coinciden → **Polares** → Hay un momento dipolar

Si coinciden → **No polares**



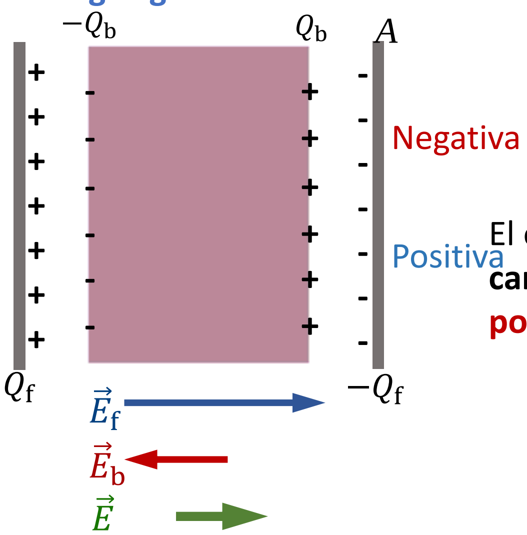


Así, al aplicar un $\vec{E}$ externo a un dieléctrico

Polares → $\vec{E}$ orienta los dipolos en su misma dirección → **Polarización**

No polares → $\vec{E}$ induce momentos dipolares → **Polarización**

Carga ligada



Carga **libre:** Q_f → **Densidad** de carga **libre:** σ_f

La f de σ_f viene del inglés "free", libre

$$\boxed{\sigma_f = \frac{Q_f}{A}}$$

El efecto neto de la polarización es la aparición de una **carga superficial,** que llamamos **carga ligada** (Q_b) o de **polarización**

Carga **ligada:** Q_b → **Densidad** de carga **ligada:** σ_b

La b de σ_b viene del inglés "bonded", ligada

$$\boxed{\sigma_b = \frac{Q_b}{A}}$$

Aproximación: Polarización es lineal e isótropa: El campo $\vec{E}_b$ creado por la polarización es proporcional al campo aplicado $\vec{E}_f$, y tiene su misma dirección (y sentido opuesto)

$$E_b = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}\right) E_f \qquad \text{Así:} \qquad E_{total} = E_f - E_b = E_f - \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}\right) E_f = \frac{E_f}{\varepsilon_r} \rightarrow \boxed{E_{total} = \frac{E_f}{\varepsilon_r}}$$

Campo total (o campo a secas) en el interior de un dieléctrico

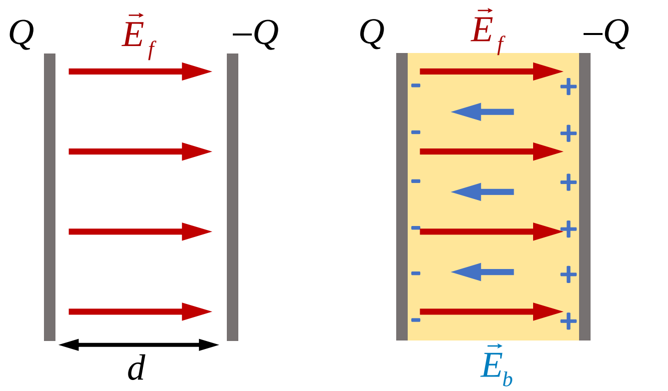
Campo aplicado (o campo producido por las cargas libres) (o campo externo)

Campo de polarización (o campo producido por las cargas ligadas)

Constante dieléctrica

Faraday (1887) introduce un dieléctrico entre los electrodos de un condensador, y la capacidad de éste aumenta un factor $\varepsilon_r > 1$

Explicación (manteniendo la carga constante):



$$C_0 = \frac{Q}{V_0} \qquad C = \frac{Q}{V}$$

$$V_0 = E_f d \qquad V = Ed = (E_f - E_b)d$$

Sabemos que **la capacidad aumenta**:

$$C = \varepsilon_r C_0$$

¿Cómo varía el potencial? **Disminuye**

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{\varepsilon_r C_0} = \frac{V_0}{\varepsilon_r}$$

¿Cómo varía el campo?

Sin dieléctrico: $E_0 = \dfrac{V_0}{d} = E_f$

Con dieléctrico: $E = \dfrac{V}{d} = \dfrac{V_0}{d\varepsilon_r} = \dfrac{E_f}{\varepsilon_r}$

Disminuye, tal como nos dice la teoría

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d} = \varepsilon \frac{A}{d} \rightarrow \boxed{\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0} \qquad \boxed{\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}}$$

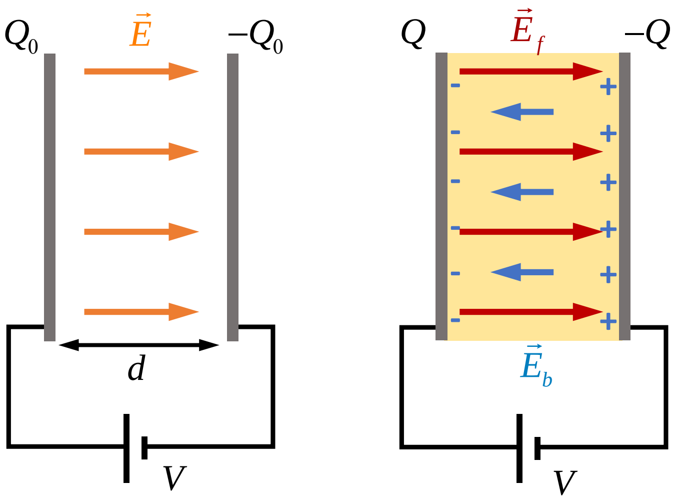
Constante dieléctrica relativa

Constante dieléctrica

Constante dieléctrica

Faraday (1887) introduce un dieléctrico entre los electrodos de un condensador, y la capacidad de éste aumenta un factor $\varepsilon_r > 1$

Explicación (manteniendo el potencial constante):



$$V = Ed \qquad V = Ed = (E_f - E_b)d$$

$$C_0 = \frac{Q_0}{V} \qquad C = \frac{Q}{V}$$

Sabemos que **la capacidad aumenta**:

$$C = \varepsilon_r C_0$$

¿Cómo varía la carga? **Aumenta**

$$Q = CV = \varepsilon_r C_0 V = \varepsilon_r Q$$

¿Cómo varía el campo?

Sin dieléctrico: $E = \dfrac{V}{d} = E_{f,0}$

Con dieléctrico: $E = \dfrac{V}{d} = \dfrac{E_f}{\varepsilon_r}$

Campo total es **constante** (como V)

$$E_f = \varepsilon_r E_{f,0}$$

Campo de carga libre **aumenta** (porque Q aumenta)

Ejercicio 2.6 es la **FICHA 12**

Ruptura dieléctrica

Cuando el campo es tan intenso que arranca electrones de un dieléctrico

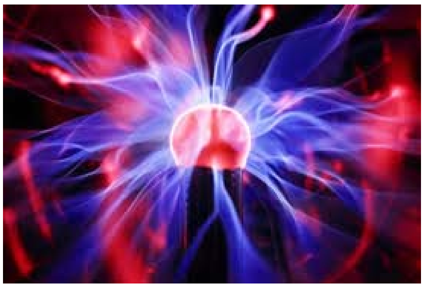
↓

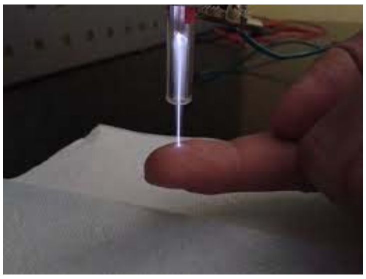
Cascada electrónica → Puede fundir o quemar el dieléctrico, creando camino conductor permanente

↓

Se inutiliza el dieléctrico

En gases **PLASMA**





Ruptura dieléctrica

Definición: **Rigidez dieléctrica**: Campo máximo que puede soportar un dieléctrico sin que haya ruptura dieléctrica (K) (Voltios/metro) (V/m)

K_{aire} = 3 kV/mm

$K_{poliestireno}$ = 24 kV/mm

Casi un orden de magnitud de diferencia!

Los dieléctricos aumentan la capacidad de los condensadores por dos razones:

- Directamente, como hemos visto:

$$C = \varepsilon_r C_0 = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

- Indirectamente, permitiendo que los electrodos se junten más sin que haya ruptura dieléctrica:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

A menor d, mayor capacidad

Ejercicios 2.9 a 2.11

Ejercicio 2.10 es la **FICHA 13**

Teorema de Gauss en dieléctricos

¿Cómo afectan los dieléctricos al **Teorema de Gauss**?

Si aplico el Teorema de Gauss a las cargas libres Q_f, obtendré el campo producido por las cargas libres E_f (o campo aplicado):

$$\phi_\mathrm{f} = \oint_S \vec{E}_\mathrm{f}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_\mathrm{Int,f}}{\varepsilon_0}$$

Sólo considero la carga libre

Una vez que tengo el campo aplicado E_f puedo calcular el campo total usando que

$$\boxed{E_\mathrm{total} = \frac{E_\mathrm{f}}{\varepsilon_\mathrm{r}}}$$

Permitividad relativa del dieléctrico

Potencial en dieléctricos

Se calcula como siempre, usando el **campo total**

$$\Delta V = V_\mathrm{B} - V_\mathrm{A} = -\int_A^B \vec{E}_\mathrm{Total}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell}$$

Cálculo de la carga ligada

Puede demostrarse de la relación entre el campo de las cargas libres y las ligadas que

$$E_\mathrm{b} = \left(1-\frac{1}{\varepsilon_\mathrm{r}}\right)E_\mathrm{f} \longrightarrow Q_\mathrm{b} = \left(1-\frac{1}{\varepsilon_\mathrm{r}}\right)Q_\mathrm{f}$$

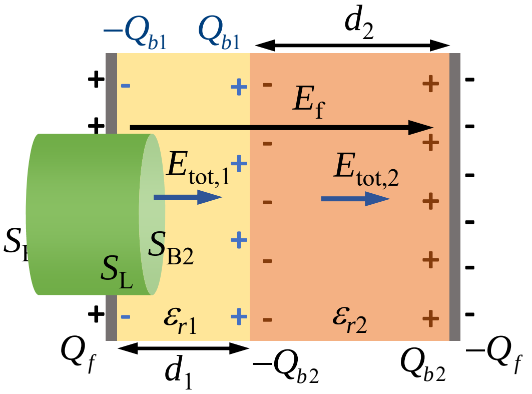
¡Cuidado con los signos!
Con esta expresión calculamos la carga ligada **del mismo signo** que la libre

NOTA 1: como $\varepsilon_\mathrm{r} \geq 1$, se cumple que $Q_\mathrm{f} > Q_\mathrm{b}$

NOTA 2: Para el vacío (o el aire) $\varepsilon_\mathrm{r} = 1$, así que $Q_\mathrm{b} = 0$

Ejercicio 2.13 es la **FICHA 14**

Ejemplo 1 Condensador planoparalelo con dieléctricos **en serie**



¿Qué está pasando aquí?

E_f Como si no hubiera dieléctricos
Cte en todo el interior

$E_\mathrm{total} = \dfrac{E_\mathrm{f}}{\varepsilon_\mathrm{r}}$ Dependiendo del dieléctrico valdrá una cosa u otra

Aplicamos el teorema de Gauss para calcular E_f

$$\boxed{\oint_S \vec{E}_\mathrm{f}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_\mathrm{Int,f}}{\varepsilon_0}}$$

$$\oint_S \vec{E}_\mathrm{f}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = \int_{S_\mathrm{B2}} \vec{E}_\mathrm{f}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = E_\mathrm{f}S_\mathrm{B2} = \frac{Q_\mathrm{Int,f}}{\varepsilon_0} \longrightarrow \boxed{E_\mathrm{f} = \frac{Q_\mathrm{Int,f}}{S_\mathrm{B2}\varepsilon_0} = \frac{\sigma_\mathrm{f}}{\varepsilon_0}}$$

Teorema de Gauss

Dieléctrico 1

$$E_{\mathrm{tot},1} = \frac{E_\mathrm{f}}{\varepsilon_\mathrm{r1}} = \frac{\sigma_\mathrm{f}}{\varepsilon_0\varepsilon_\mathrm{r1}} = \frac{\sigma_\mathrm{f}}{\varepsilon_1} \qquad Q_\mathrm{b1} = \left(1-\frac{1}{\varepsilon_\mathrm{r1}}\right)Q_\mathrm{f} \longrightarrow \sigma_\mathrm{b1} = \left(1-\frac{1}{\varepsilon_\mathrm{r1}}\right)\sigma_\mathrm{f}$$

$$\frac{1}{Area}$$

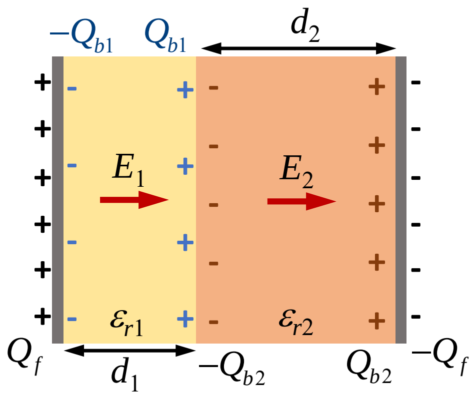
Dieléctrico 2

$$E_{\mathrm{tot},2} = \frac{E_\mathrm{f}}{\varepsilon_\mathrm{r2}} = \frac{\sigma_\mathrm{f}}{\varepsilon_0\varepsilon_\mathrm{r2}} = \frac{\sigma_\mathrm{f}}{\varepsilon_2} \qquad Q_\mathrm{b2} = \left(1-\frac{1}{\varepsilon_\mathrm{r2}}\right)Q_\mathrm{f} \longrightarrow \sigma_\mathrm{b2} = \left(1-\frac{1}{\varepsilon_\mathrm{r2}}\right)\sigma_\mathrm{f}$$

PENSAR: ¿Potencial entre las placas?

$$V = |\Delta V| = \int E_\mathrm{Total}\,\mathrm{d}x = E_{\mathrm{tot},1}d_1 + E_{\mathrm{tot},2}d_2$$

Ejemplo 1 Condensador planoparalelo con dieléctricos **en serie**



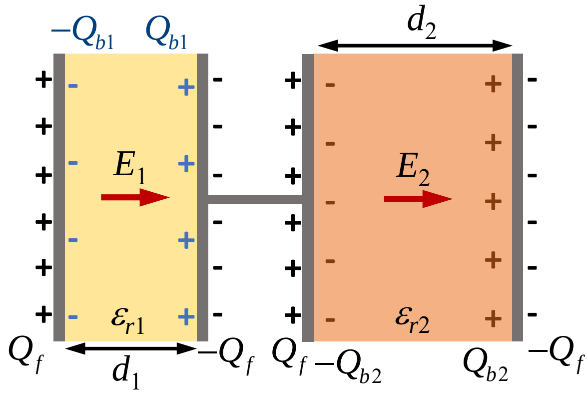
¿Y la capacidad?

$$C = \frac{Q_\mathrm{f}}{V}$$

$$V = E_1 d_1 + E_2 d_2$$

$$E_1 = \frac{\sigma_\mathrm{f}}{\varepsilon_1} = \frac{Q_\mathrm{f}}{\varepsilon_1 A} \qquad E_2 = \frac{\sigma_\mathrm{f}}{\varepsilon_2} = \frac{Q_\mathrm{f}}{\varepsilon_2 A}$$

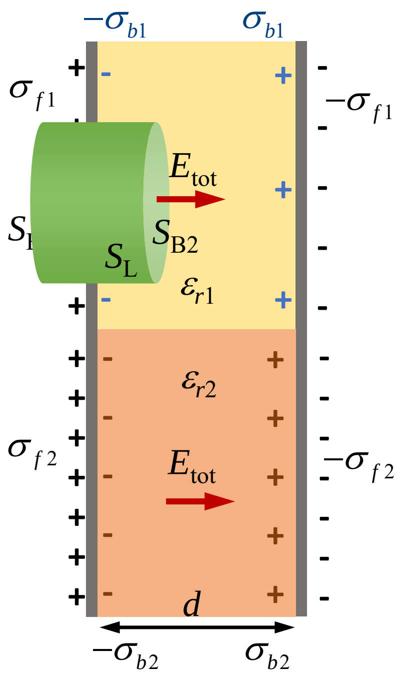
$$\frac{Q_\mathrm{f}}{C} = \frac{Q_\mathrm{f}}{\underbrace{\frac{\varepsilon_1 A}{d_1}}_{C_1}} + \frac{Q_\mathrm{f}}{\underbrace{\frac{\varepsilon_2 A}{d_2}}_{C_2}} = \frac{Q_f}{C_1} + \frac{Q_f}{C_2}$$



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Equivale a dos condensadores **en serie**

Ejemplo 2 Condensador planoparalelo con dieléctricos **en paralelo**



¿Qué está pasando aquí?

$$\left.\begin{aligned} V &= E_{\mathrm{tot},1} d \\ V &= E_{\mathrm{tot},2} d \end{aligned}\right\} \rightarrow E_{\mathrm{tot},1} = E_{\mathrm{tot},2} = E_\mathrm{tot}$$

El mismo en todo el interior

$$E_\mathrm{f} = \varepsilon_\mathrm{r} E_\mathrm{tot}$$

Dependiendo del dieléctrico valdrá una cosa u otra

Campo Aplicamos el teorema de Gauss para calcular E_f

$$\boxed{\oint_S \vec{E}_\mathrm{f} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q_{\mathrm{Int,f}}}{\varepsilon_0}}$$

$$\left.\begin{aligned} E_{\mathrm{f}1} &= \frac{Q_{\mathrm{Int,f}1}}{S_{\mathrm{B}2}\varepsilon_0} = \frac{\sigma_{\mathrm{f}1}}{\varepsilon_0} \rightarrow E_\mathrm{tot} = \frac{E_{\mathrm{f}1}}{\varepsilon_{\mathrm{r}1}} = \frac{\sigma_{\mathrm{f}1}}{\varepsilon_1} \\ E_{\mathrm{f}2} &= \frac{Q_{\mathrm{Int,f}2}}{S_{\mathrm{B}2}\varepsilon_0} = \frac{\sigma_{\mathrm{f}2}}{\varepsilon_0} \rightarrow E_\mathrm{tot} = \frac{E_{\mathrm{f}2}}{\varepsilon_{\mathrm{r}2}} = \frac{\sigma_{\mathrm{f}2}}{\varepsilon_2} \end{aligned}\right\} \sigma_{\mathrm{f}2} = \frac{\varepsilon_{\mathrm{r}2}}{\varepsilon_{\mathrm{r}1}} \sigma_{\mathrm{f}1}$$

Carga ligada

$$Q_{\mathrm{b}1} = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{r}1}}\right) Q_{\mathrm{f}1} \xrightarrow{\frac{1}{Area}} \sigma_{\mathrm{b}1} = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{r}1}}\right)\sigma_{\mathrm{f}1}$$

$$Q_{\mathrm{b}2} = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{r}2}}\right) Q_{\mathrm{f}2} \xrightarrow{\frac{1}{Area}} \sigma_{\mathrm{b}2} = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{r}2}}\right)\sigma_{\mathrm{f}2}$$

Capacidad Equivale a dos condensadores en paralelo

$$C = \frac{Q_\mathrm{f}}{V} = \frac{Q_{\mathrm{f}1} + Q_{\mathrm{f}2}}{V} = \frac{Q_{\mathrm{f}1}}{V} + \frac{Q_{\mathrm{f}2}}{V} \rightarrow C = C_1 + C_2 \qquad C_1 = \varepsilon_1 \frac{A_1}{d} \qquad C_2 = \varepsilon_2 \frac{A_2}{d}$$