Física 2 para ciencias químicas a distancia

FCEN – UBA - 1 Cuatrimestre 2020

Tipos de materiales eléctricos

- Conductores: Alta movilidad de portadores de carga (electrones y protones). Las cargas sobre ellos se pueden mover libremente.

- Aislantes: baja movilidad de portadores de carga. Las cargas no se mueven a través de ellos

Conductores

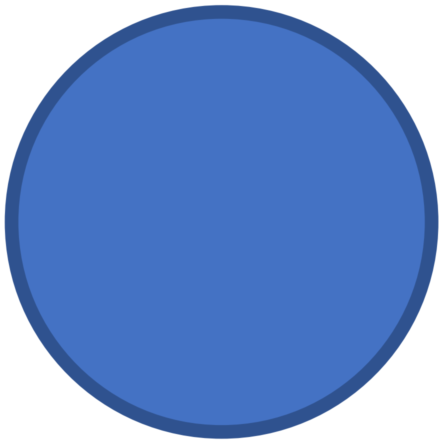
Conductores en electrostática

- Las cargas pueden reacomodarse libremente en un conductor.

- Este reacomodamiento se realiza de acuerdo a ciertas reglas.

- En electrostática, vamos a considerar las propiedades de los conductores una vez que se haya alcanzado el estado estacionario (es decir, cuando las cargas ya se hayan acomodado).

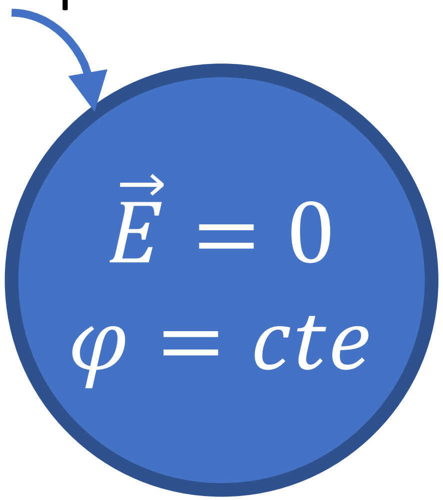
Propiedades de los conductores



- ¿Cuando la carga en un conductor haya llegado a una distribución estacionaria, cómo será el campo eléctrico dentro de un conductor?

Propiedades de los conductores

Cargas en la superficie



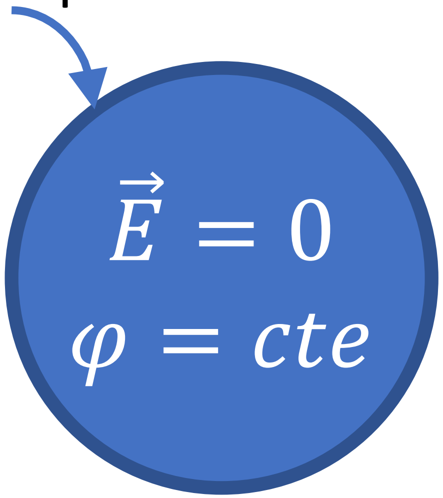
$$\vec{E} = 0$$

$$\varphi = cte$$

- La idea de que todas las cargas van hacia la superficie y que en el interior el campo es nulo es la correcta si se tiene en cuenta que no existe otro tipo fuerza que mueva las cargas.
- Las cargas se mueven hasta llegar al borde del conductor del que no pueden salir

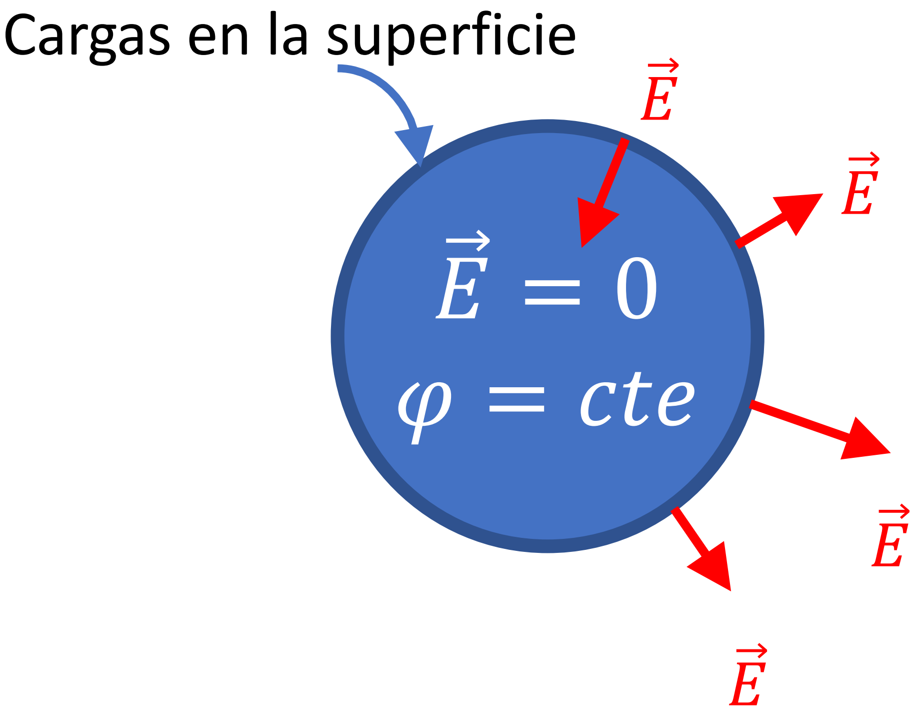
Propiedades de los conductores

Cargas en la superficie



- Si el campo eléctrico es nulo en el interior del conductor, el potencial ahí es constante al igual que en su superficie.

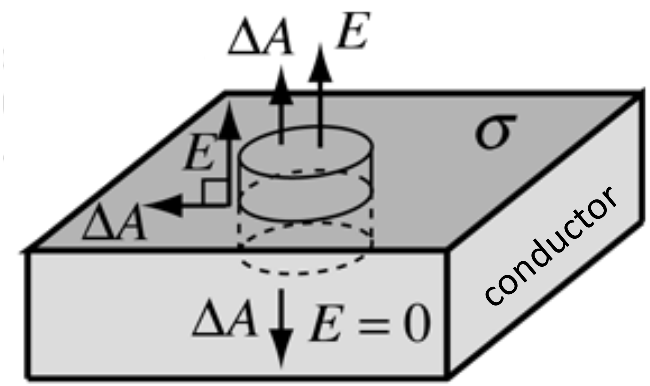
Propiedades de los conductores



- Si el campo eléctrico es nulo en el interior del conductor, el potencial ahí es constante al igual que en su superficie.

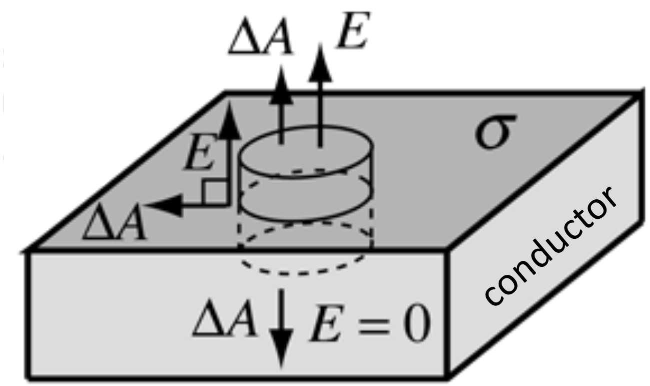
- Como la superficie es equipotencial, el campo en esa superficie sólo puede ser normal a ella.

Discontinuidad de $\vec{E}$ en la superficie



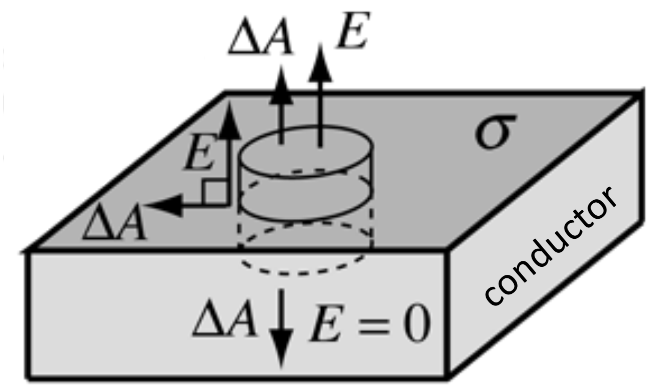
- El salto de un campo eléctrico nulo en el interior de un conductor a uno no nulo en su superficie se debe a la presencia de la carga acumulada ahí.

Discontinuidad de $\vec{E}$ en la superficie



- El salto de un campo eléctrico nulo en el interior de un conductor a uno no nulo en su superficie se debe a la presencia de la carga acumulada ahí.
- Apliquemos la Ley de Gauss en un cilindro alineado con la normal a la superficie de un conductor donde hay una carga superficial de densidad σ (C/m^2)

Discontinuidad de $\vec{E}$ en la superficie



- El único flujo que sobrevive es el que se da a través de la tapa externa de área ΔA

$$\int_{\text{cilindro}} \vec{E} \cdot \overrightarrow{ds} = \frac{carga\ encerrada}{\epsilon_0}$$

$$E\ \Delta A = \frac{\sigma \Delta A}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Campo eléctrico en conductores

- Cero en su interior
- En la superficie, es normal a ella.
- La intensidad depende de la densidad superficial de carga local

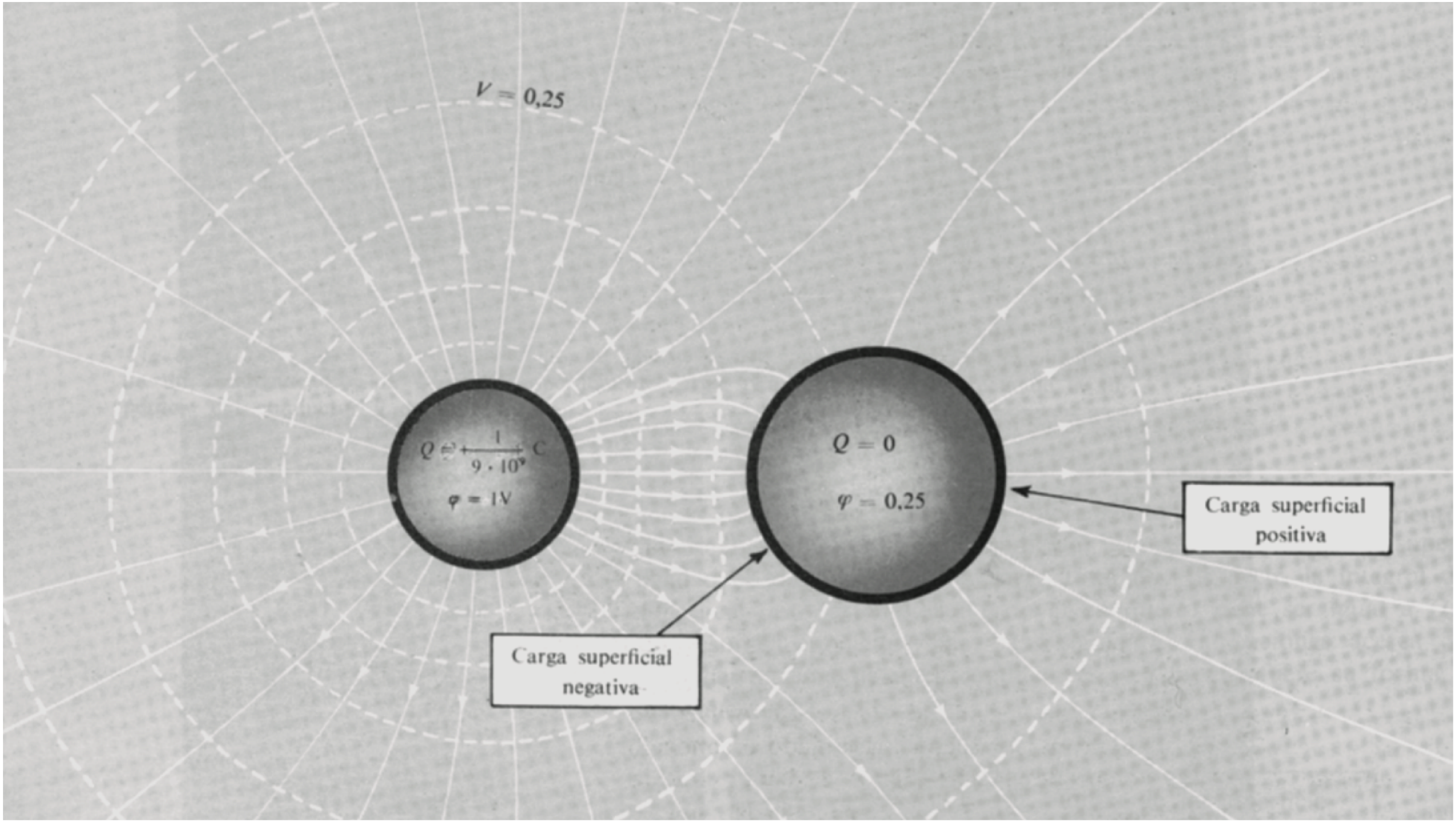
Campo eléctrico en conductores

- De los puntos anteriores se deduce que la carga total Q sobre la superficie de un conductor S se puede escribir como:

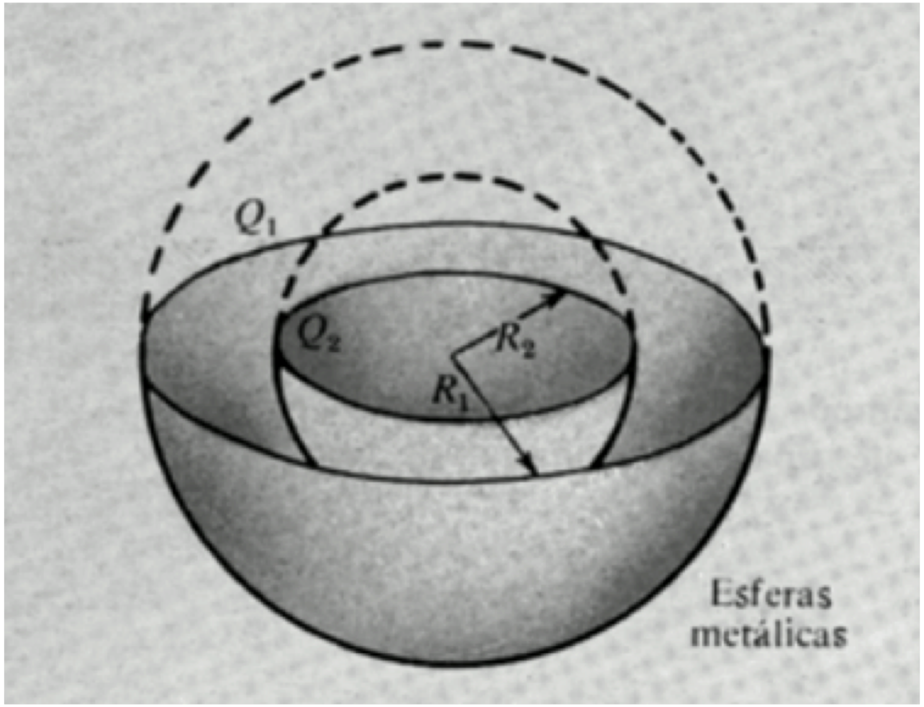
$$Q = \int \sigma \, da = \epsilon_0 \int \vec{E} \cdot \overrightarrow{da}$$

¡ Importante !

$\vec{E}$ es el campo debido a todas las cargas,
las de la superficie, más las lejanas. Es σ la que se acomoda para que la relación de arriba se cumpla

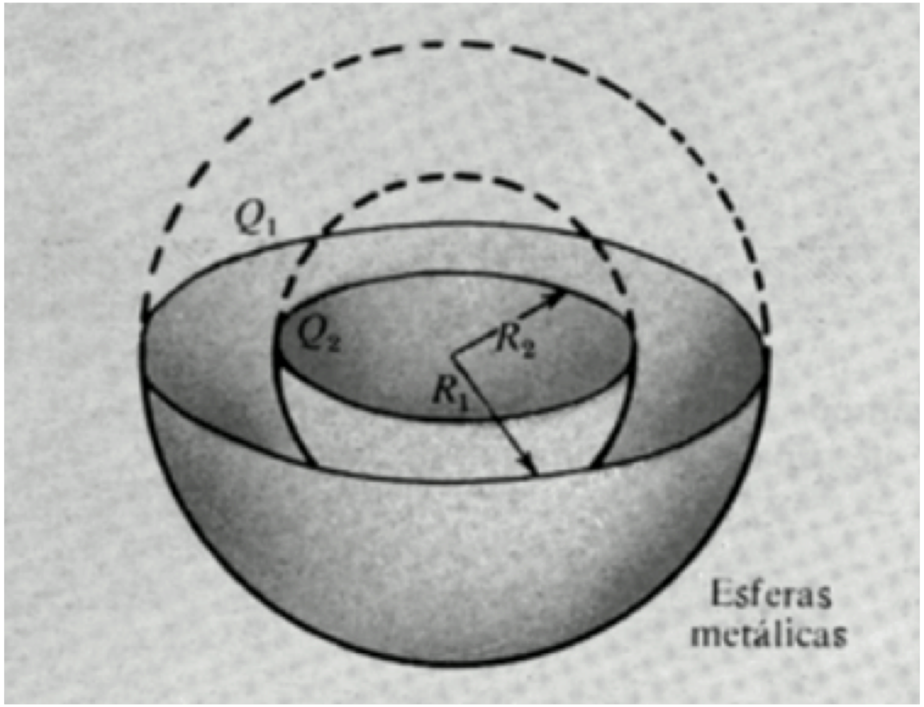

V = 0,25
Q = + 1/(9 · 10⁹) C
φ = 1V
Q = 0
φ = 0,25
Carga superficial positiva
Carga superficial negativa

Ejemplo: dos esferas concéntricas cargadas



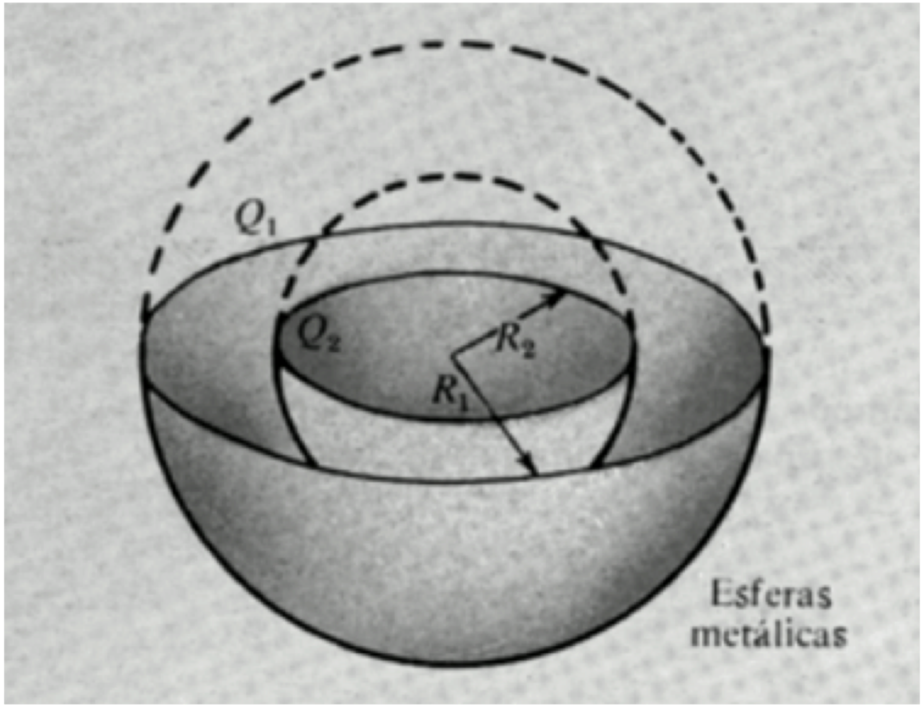
- Por simetría es evidente que la carga en cada esfera debe estar distribuida uniformemente.

Ejemplo: dos esferas concéntricas cargadas



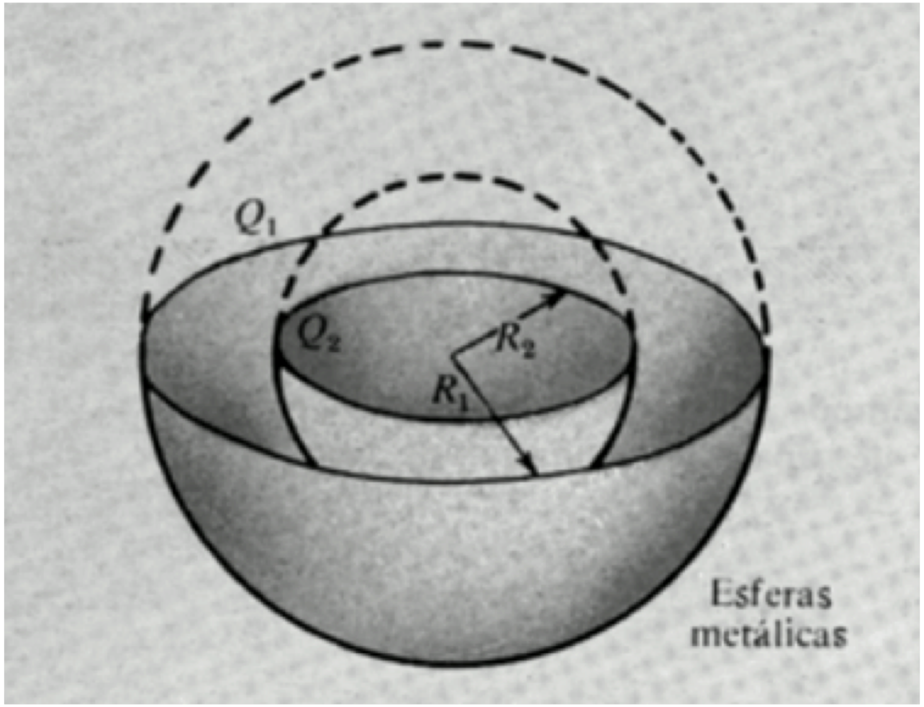
- Por simetría es evidente que la carga en cada esfera debe estar distribuida uniformemente.
- En este sentido parece un aislante.

Ejemplo: dos esferas concéntricas cargadas



- Por simetría es evidente que la carga en cada esfera debe estar distribuida uniformemente.
- En este sentido parece un aislante.
- Fuera de la esfera exterior el potencial es como el de una carga puntual $Q_1 + Q_2$

Ejemplo: dos esferas concéntricas cargadas



- El potencial de la esfera exterior

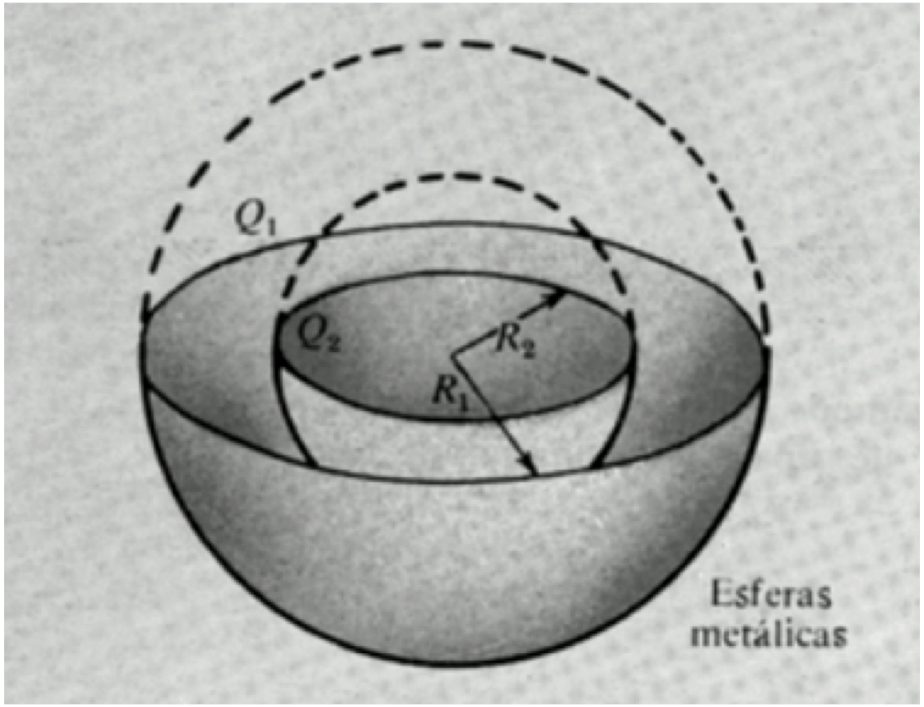
$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1 + Q_2}{R_1}$$

(potencial cero en infinito)

- El potencial de la esfera interior

$$\underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1+Q_2}{R_1}}_{\text{Potencial en esfera exterior}} + \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{R_1}^{R_2} -\frac{Q_2}{r^2}\,dr}_{\text{Variación de potencial entre esfera Exterior e interior}}$$

Ejemplo: dos esferas concéntricas cargadas



- El potencial de la esfera interior

$$\varphi_2 = \varphi_1 + (\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1+Q_2}{R_1} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{R_1}^{R_2} -\frac{Q_2}{r^2}\,dr =$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1+Q_2}{R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right] =$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1}{R_1} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_2}{R_2}$$

Pregunta

- En el problema anterior: ¿Cuánto vale el potencial dentro de la esfera interior?

Capacidad y condensadores

Capacidad de un conductor aislado

- En un conductor aislado que tiene una carga Q y está a un potencial φ_0 cuando el cero de potencial está en el infinito, la capacidad C se define como:

$$Q = C\,\varphi_0$$

Capacidad de un conductor aislado

- En un conductor aislado que tiene una carga Q y está a un potencial φ_0 cuando el cero de potencial está en el infinito, la capacidad C se define como:

$$Q = C\ \varphi_0$$

- Para una esfera de radio R_0 con carga Q, el potencial es, como vimos $\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{R_0}$ por lo que:

$$C = 4\pi\epsilon_0 R_0.$$

Capacidad de un conductor aislado

- En un conductor aislado que tiene una carga Q y está a un potencial φ_0 cuando el cero de potencial está en el infinito, la capacidad C se define como:

$$Q = C\ \varphi_0$$

- Para una esfera de radio R_0 con carga Q, el potencial es, como vimos $\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{R_0}$ por lo que:

$$C = 4\pi\epsilon_0 R_0.$$

- C se mide en Faradios (Farad=C/V) y sólo depende del **tamaño y la forma del conductor**

Pregunta

- ¿Cómo varía la capacidad de una esfera cuando cambiamos su radio?

Capacidad en más de un conductor: condensadores

- La capacidad se define también para conjuntos dos conductores.

Capacidad en más de un conductor: condensadores

- La capacidad se define también para conjuntos dos conductores.

- **En el caso de dos conductores con cargas opuestas Q y –Q la capacidad se define como la relación entre la carga Q y la diferencia de potencial entre los dos conductores $\boldsymbol{\varphi_{12}}$.**

$$Q = C\,\varphi_{12}$$

Capacidad en más de un conductor: condensadores

- La capacidad se define también para conjuntos dos conductores.

- **En el caso de dos conductores con cargas opuestas Q y –Q la capacidad se define como la relación entre la carga Q y la diferencia de potencial entre los dos conductores φ_{12}.**

$$Q = C\ \varphi_{12}$$

- El conjunto de conductores, material aislante entre ambos y terminales se denomina **condensador o capacitor**.

Condensador plano

- Sean dos conductores planos de área A dispuestos como en la figura a una distancia s.

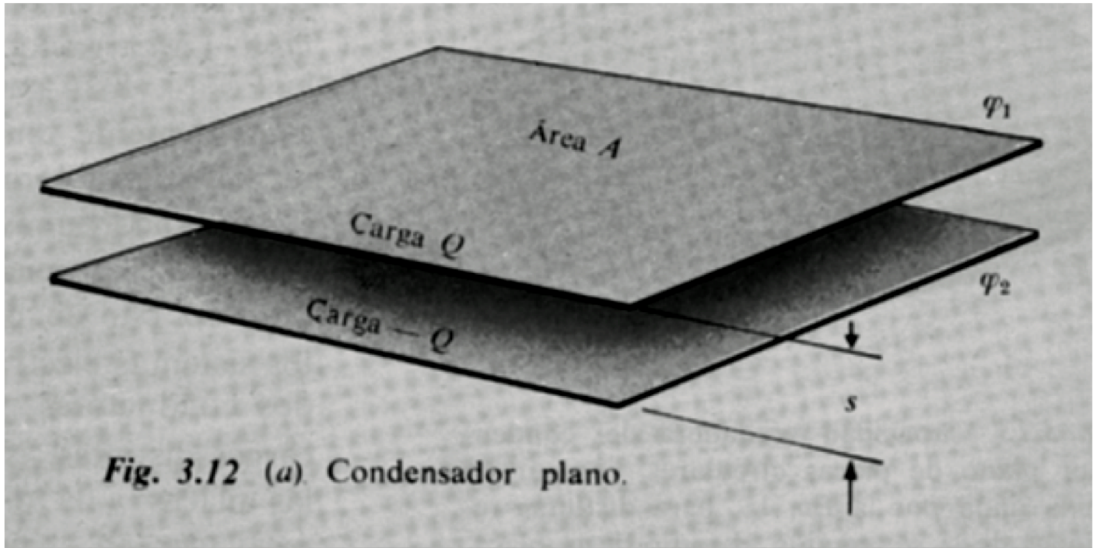


Fig. 3.12 (*a*) Condensador plano.

Condensador plano

- Sean dos conductores planos de área A dispuestos como en la figura a una distancia s.

- La placa de arriba tiene una carga Q y está a un potencial φ_1.

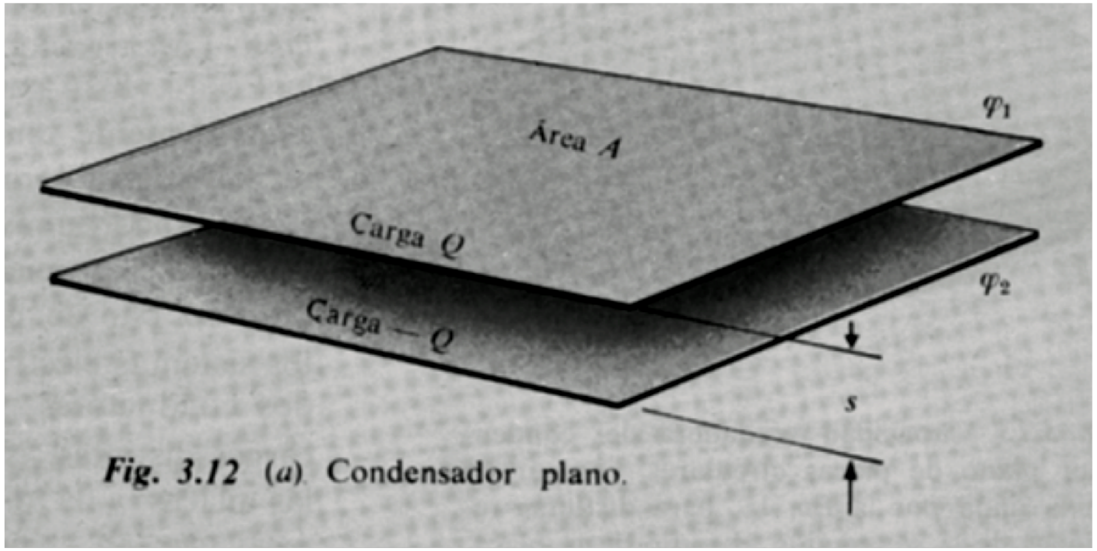


Fig. 3.12 (*a*) Condensador plano.

Condensador plano

- Sean dos conductores planos de área A dispuestos como en la figura a una distancia s.

- La placa de arriba tiene una carga Q y está a un potencial φ_1.

- La placa de abajo tiene una carga $-Q$ y está a un potencial φ_2

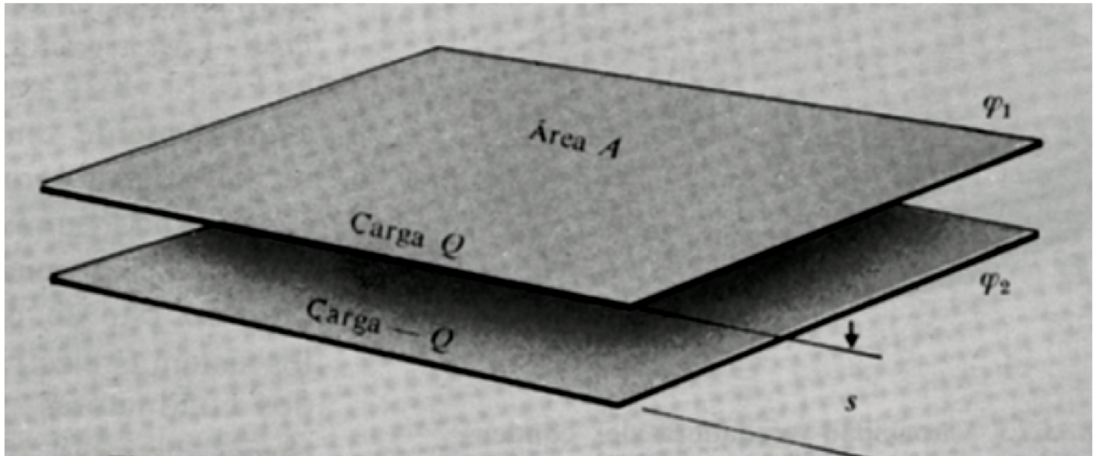
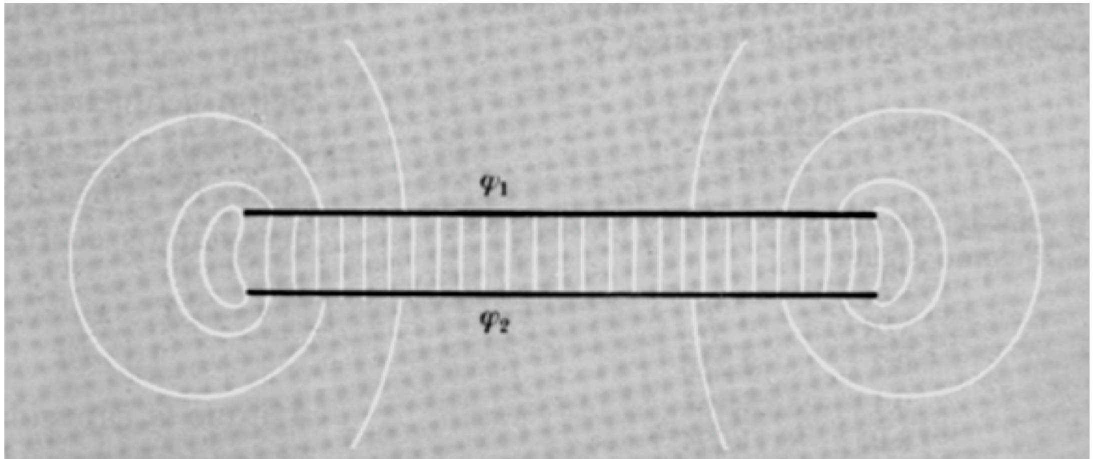


Fig. 3.12 (a) Condensador plano.

Condensador plano

- La densidad superficial de carga en la cara interna de un conductor es:

$$\sigma = \epsilon_0 E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{s}$$



(*b*) Sección recta de (*a*) mostrando las líneas de fuerza.

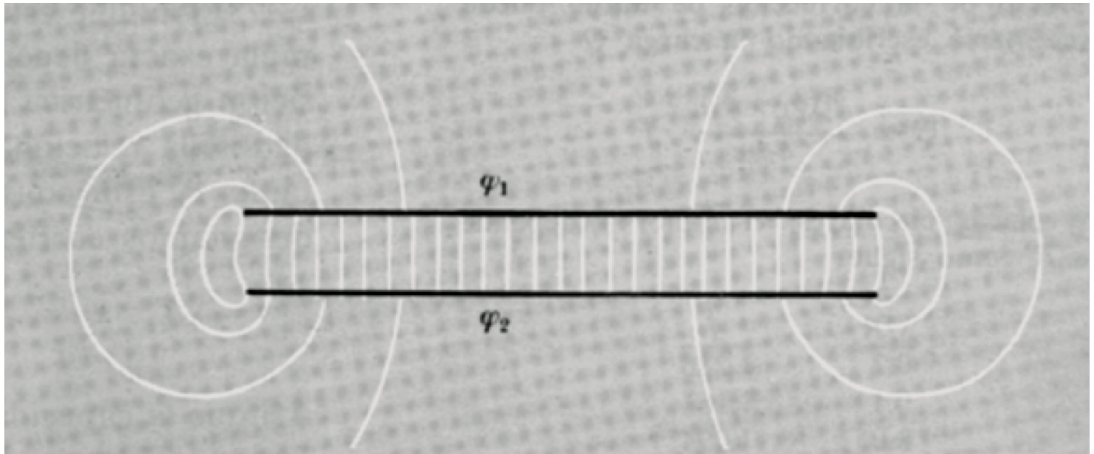
Condensador plano

- La densidad superficial de carga en la cara interna de un conductor es:

$$\sigma = \epsilon_0 E = \epsilon_0 \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{s}$$

- Si despreciamos el efecto de los bordes, σ es constante y

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



(*b*) Sección recta de (*a*) mostrando las líneas de fuerza.

Condensador plano

- Por lo tanto la capacidad el condensador plano es

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

- $\epsilon_0 = 8.854\ 10^{-12}\ Farad/m$!

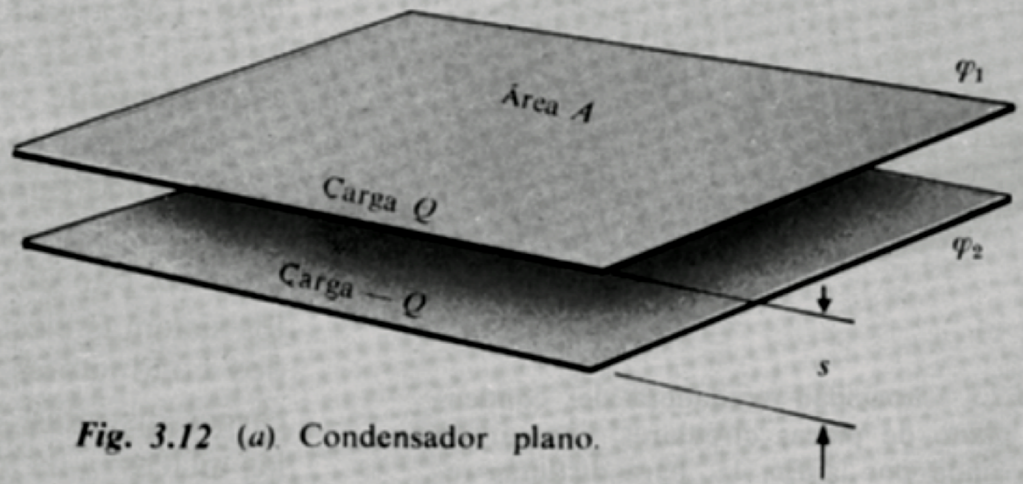
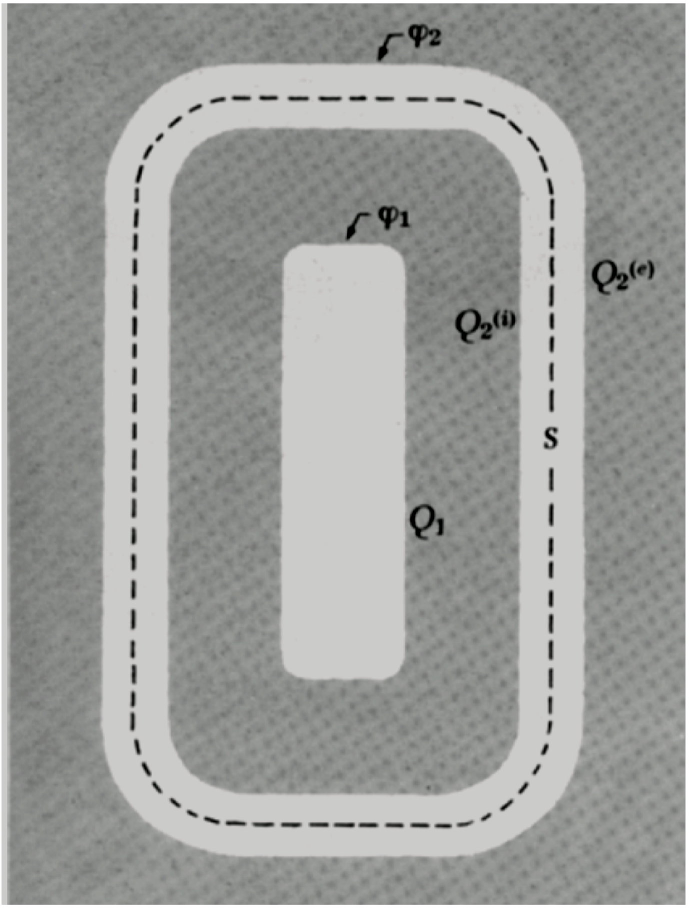


Fig. 3.12 (*a*) Condensador plano.

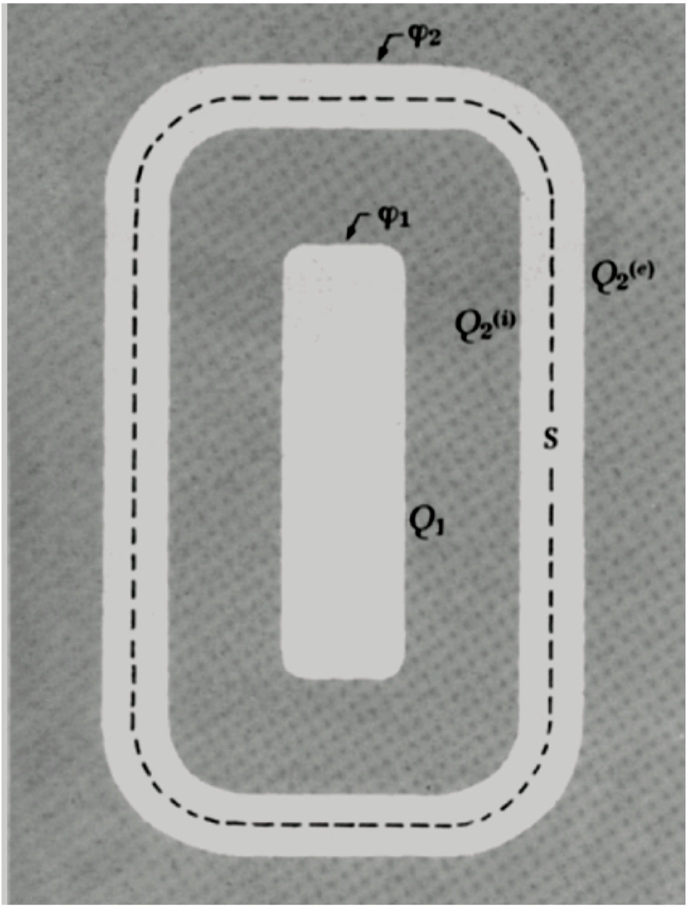
deci	[d]	10^{-1}	= 0.1
centi	[c]	10^{-2}	= 0.01
milli	[m]	10^{-3}	= 0.001
micro	[μ]	10^{-6}	= 0.000 001
nano	[n]	10^{-9}	= 0.000 000 001
pico	[p]	10^{-12}	= 0.000 000 000 001
femto	[f]	10^{-15}	= 0.000 000 000 000 001
atto	[a]	10^{-18}	= 0.000 000 000 000 000 001
zepto	[z]	10^{-21}	= 0.000 000 000 000 000 000 001
yocto	[y]	10^{-24}	= 0.000 000 000 000 000 000 000 001

Capacidad en más de un conductor: otros condensadores



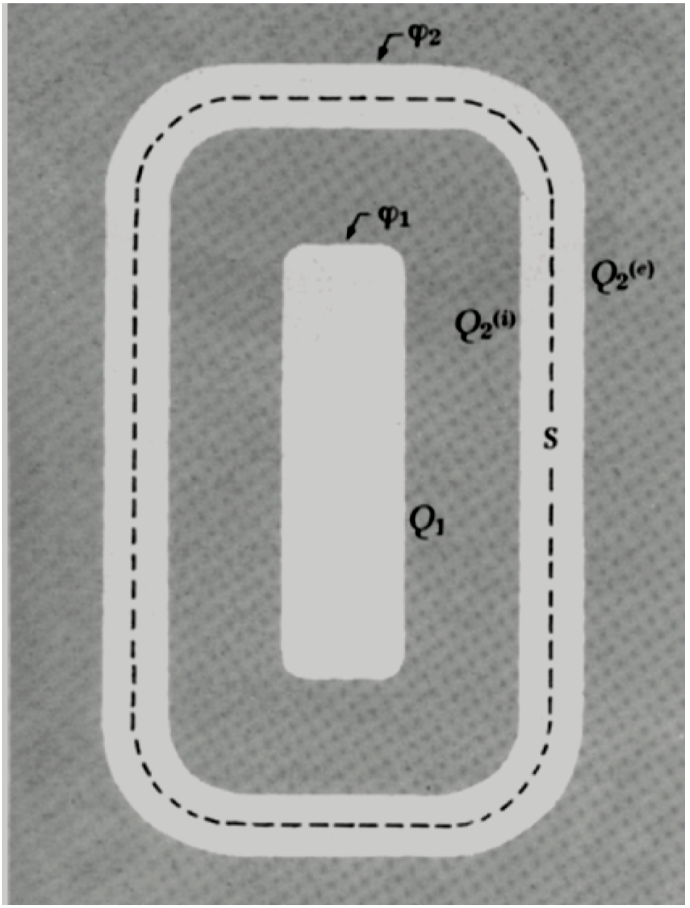
- Ahora supongamos un conductor dentro de otro.
- También puede considerarse un condensador.

Capacidad en más de un conductor: otros condensadores



- Hay tres grupos de cargas:
  - La carga total Q_1 en el conductor interior,
  - La carga Q_2(i) en la superficie interior del conductor externo
  - La carga Q_2(e) en la superficie exterior del conductor externo

Capacidad en más de un conductor: otros condensadores



- Como el campo sobre la superficie s debe ser nulo, por ley de Gauss, la carga total encerrada debe ser cero y por lo tanto:

$$Q_2^i = -Q_1$$

- El condensador será entonces entre el conductor interior y la capa interna del exterior. Su capacidad es

$$C = \frac{Q_1}{(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Energía almacenada en un capacitor

- Supongamos un condensador de capacidad C con una diferencia de potencialφ_{12}.

- En un conductor hay una carga Q mientras que en el otro, $-Q$.

- Quitemos una carga dQ del conductor con carga $-Q$ y llevémosla al conductor que tiene carga Q a lo largo de la diferencia de potencial φ_{12}.

Energía almacenada en un capacitor

- El diferencial de trabajo dW que realizamos viene dado por:

$$dW = \varphi_{12} dQ = \mathrm{Q}\,\frac{dQ}{C}$$

- Entonces, para cargar un conductor descargado inicialmente hasta alcanzar una carga final Q_f el trabajo será:

$$W = \int_0^{Q_f} \varphi_{12}\, dQ = \frac{1}{C}\int_0^{Q_f} Q\, dQ = \frac{Q_f^2}{2C}$$

- Esta es la energía almacenada en el capacitor U

Energía almacenada en un capacitor

- La energía almacenada también se puede escribir como :

$$U = \frac{1}{2} C\varphi_{12}^2$$

- Para un **condensador plano** $C = \epsilon_0 \frac{A}{s}$ y $Es = \varphi_{12}$. Entonces:

$$U = \frac{1}{2}\epsilon_0 \frac{A}{s}(Es)^2 = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}(As)$$

- Es decir: $\frac{\epsilon_0 E^2}{2}$ es la energía almacenada en el capacitor por unidad de volumen