REPASO CLASES PASADAS

CARGA ELÉCTRICA: dos clases ***positiva*** y ***negativa***.

Unidad S.I: **coulomb (C)**.

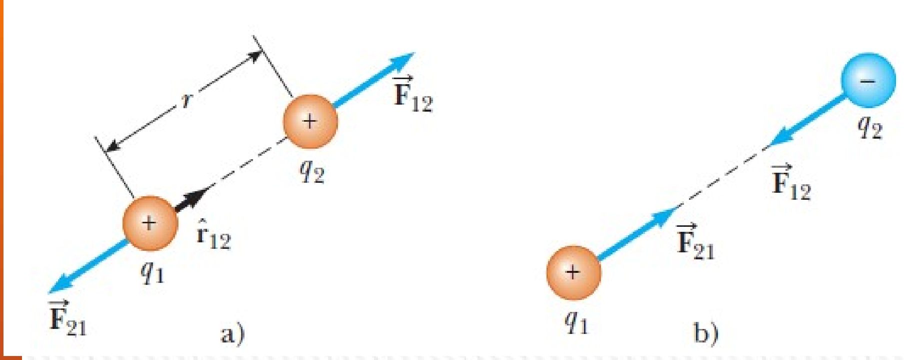
Cuantización: Se presenta por múltiplos enteros de la **unidad fundamental de carga eléctrica *e***. (electrón – *e*, y protón +*e*).

e =1,602176487×10^{-19} C ($e \approx 1{,}6\times10^{-19}$ C) ($6{,}24\times10^{18}\ e$ = 1C)

Principio de conservación de la carga eléctrica: la carga se conserva, ni se crea ni se destruye.

LEY DE COULOMB: fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales estacionarias:

$$F_{12} = k_E\frac{q_1 q_2}{r^2}$$



$$\vec{F}_{12} = k_E\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}$$

k_E – constante de Coulomb

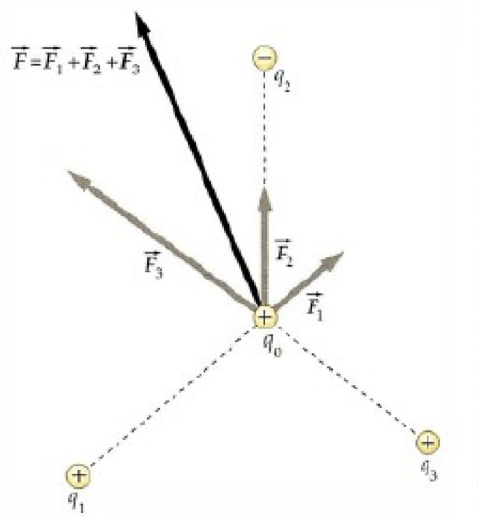
$$k_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}987551787\times10^{9}\ \mathrm{N.m^2/C^2}$$

$$k_E \approx 9{,}0\times10^{9}\ \mathrm{N.m^2/C^2}$$

$\varepsilon_0 = 8{,}854187817\times 10^{-12}\ \mathrm{C^2/(N\cdot m^2)}$ (permitividad del vacío)

REPASO CLASES PASADAS

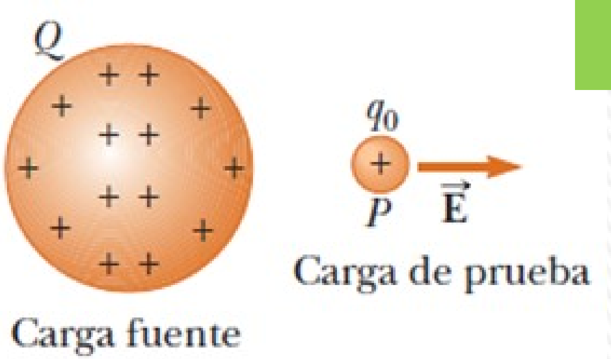
- Es una **fuerza central** y depende del **inverso del cuadrado de la distancia.**
- Se aplica a cargas puntuales y en el vacío; si el medio no es el vacío, la intensidad de la fuerza disminuye (en denominador aparece factor κ >1, constante dieléctrica).
- Es una fuerza **conservativa.**
- Cumple con el **Principio de Acción y Reacción** y el **Principio de Superposición.**



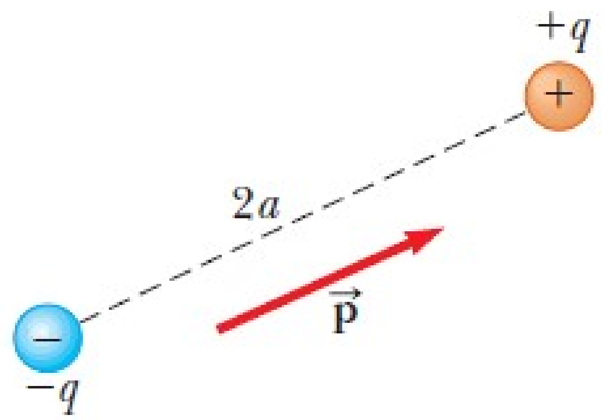
$$\overline{F}_1 = \overline{F}_{2,1} + \overline{F}_{3,1} + \cdots + \overline{F}_{N,1}$$

Campo eléctrico (E) en un punto en el espacio es la fuerza eléctrica **F_E**, *que actúa sobre una carga de prueba positiva q_0 colocada en ese punto, dividida entre* la carga de prueba.

$$\overline{E} = \frac{\overline{F}_E}{q_0}$$



REPASO CLASES PASADAS



Un **dipolo eléctrico** está formado por dos cargas de magnitudes iguales (q) y signos opuestos separados por una distancia 2*a*. *El momento del* dipolo eléctrico **p** está orientado desde -*q hacia* +*q*. $p = 2aq = ql$

El dipolo eléctrico es un buen modelo de muchas moléculas.

Los átomos y moléculas neutros se comportan como dipolos cuando se colocan en un campo eléctrico externo.

Campo eléctrico de un dipolo: proporcional a *p* y varía como $1/r^3$.

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{\mathbf{n}}$$

Campo creado por un plano infinito: perpendicular al mismo y constante en módulo

Campo creado por dos planos cargados con cargas opuestas iguales: nulo fuera de las placas y constante entre las mismas;

$$\overline{E} = 4\pi k_E \frac{Q}{A}\hat{x} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{x}$$

El campo eléctrico de una esfera cargada para r > R, es el mismo que el de una carga puntual q ubicada en su centro

REPASO CLASE PASADA

Energía potencial eléctrica: Dado un campo electrostático ***E*** (coulombiano) y una carga *q*, definimos a la misma como:

$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} q\bar{E}.d\bar{l} = -\Delta U = -(U_b - U_a) = U_a - U_b$$

El trabajo que realiza el campo eléctrico sobre la carga q cuando la misma se traslada desde el punto ***a*** al punto b, es igual al opuesto de la variación de la energía potencial eléctrica (-ΔU)

Sea *q* positiva o negativa, se aplica la siguiente regla general: ***U aumenta si la carga de prueba q se mueve en el sentido opuesto a la fuerza eléctrica F=qE****;*
U disminuye si q se mueve en el mismo sentido que F=qE.

Energía potencial eléctrica de dos cargas puntuales

$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} \bar{F}.\overline{dl}$$

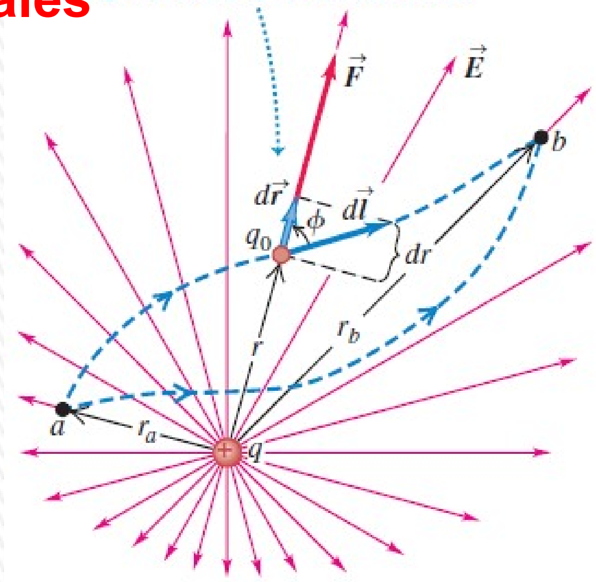
$$W_{a\to b} = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$$

$$U = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

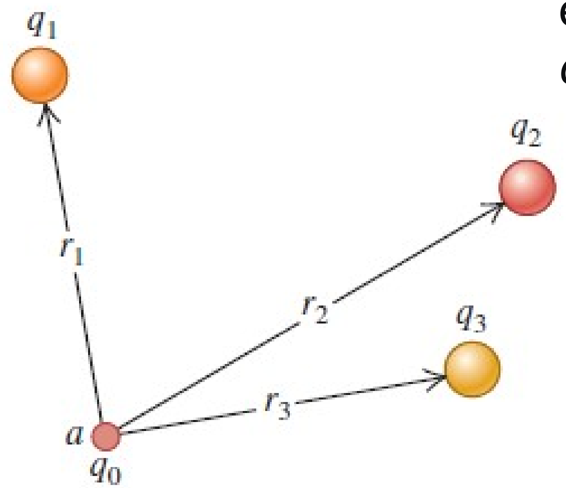
energía potencial eléctrica de dos cargas puntuales *q y* q_0

Independiente de los signos de *q y* q_0*. La energía* potencial es positiva si las cargas *q y* q_0 *tienen el mismo signo, y negativa* si tienen signos opuestos, y cero si *están infinitamente* alejadas (*r* = ∞)

La carga de prueba q_0 se desplaza de *a* a *b* a lo largo de una trayectoria arbitraria.



REPASO CLASE PASADA



energía potencial asociada con la carga q_0 en el punto *a* *debido a una distribución de cargas* $q_1, q_2, q_3, \ldots$ vale:

$$U = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \cdots\right) = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

INTERPRETACIÓN DE LA ENERGÍA POTENCIAL: *la diferencia de energía potencial U_a - U_b es igual al trabajo que efectúa la fuerza eléctrica cuando la partícula se desplaza de a a b.*

Punto de vista alternativo (equivalente) *U_a - U_b se puede ver como el trabajo que debe efectuar una fuerza externa para desplazar lentamente la partícula desde b hasta a en contra de la fuerza eléctrica.*

POTENCIAL ELÉCTRICO (V): *se define,* en cualquier punto del campo eléctrico, como **la energía potencial electrostática *U por unidad de carga*** *asociada con una carga de prueba q_0 en ese punto:*

$$V = \frac{U}{q_0}$$

Unidad del potencial eléctrico en S.I.: **volt (V)**

El trabajo realizado por unidad de carga por la fuerza eléctrica cuando un cuerpo con carga se desplaza de ***a*** a ***b*** *es igual al potencial* en *a* *(V_a) menos el potencial en b (V_b).*

$$\frac{W_{a\to b}}{q_0} = -\frac{\Delta U}{q_0} = -\left(\frac{U_b}{q_0} - \frac{U_a}{q_0}\right) = -(V_b - V_a) = V_a - V_b$$

REPASO CLASE PASADA

Potencial eléctrico de una carga puntual:

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Potencial debido a un conjunto de cargas puntuales

Diferencia de potencial eléctrico V_B-V_A: trabajo necesario realizado por un agente externo para mover en equilibrio (a velocidad constante) una carga de prueba q_0 desde el punto A al B, divido el valor de la carga:

$$V_B - V_A = \frac{W_{A-B}^{EXT}}{q_0}$$

Interpretación física del potencial eléctrico: potencial eléctrico en un punto del espacio originado por una distribución de carga finita es igual al trabajo necesario que realiza un agente externo para mover una carga unitaria desde el infinito al punto considerado a velocidad constante.

Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales- trabajo que realiza un agente externo para formar el sistema de cargas, trayéndolas desde el infinito, a velocidad constante.

$$U = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i V_i$$

V_i potencial en la posición de la carga *i* por todas las demás cargas. La energía total de una configuración de cargas, es la suma de las energías de cada partícula.

Da el mismo resultado que la expresión:

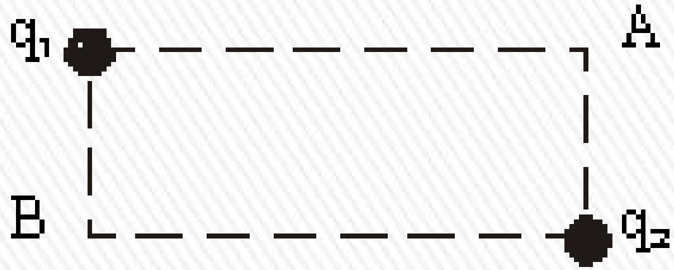
$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i<j} \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.1

En el rectángulo mostrado en la figura, los lados tienen una longitud de *a* = 5,0 cm y *l* = 15 cm, q_1 = - 5,0 μC y q_2 = +2,0 μC.

a) ¿Cuánto trabajo externo se requiere para mover a una tercera carga q_3 = +3,0 μC desde B hasta A a lo largo de una diagonal del rectángulo?

b) En este proceso, ¿se convierte el trabajo externo en energía potencial electrostática o viceversa?



El trabajo que debe realizar un agente externo es igual y opuesto al que realiza el campo eléctrico:

$$W_{A\to B}^{campo\ E} = -W_{A\to B}^{Ext.} = W_{B\to A}^{Ext.}$$

Por lo tanto:

$$W_{B\to A}^{Ext.} = U_A - U_B = q_3(V_A - V_B)$$

$$V_A = k_E\frac{q_1}{l} + k_E\frac{q_2}{a} = k_E\left(\frac{q_1}{l} + \frac{q_2}{a}\right)$$

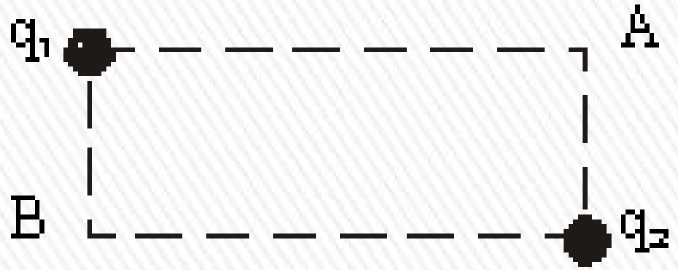
$$V_A = (8{,}988\times 10^9)\left(\frac{-5{,}00\times 10^{-6}}{0{,}150} + \frac{2{,}00\times 10^{-6}}{0{,}0500}\right) = \textbf{59.920 V}$$

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.1

En el rectángulo mostrado en la figura, los lados tienen una longitud de *a* = 5,0 cm y *l* = 15 cm, q_1 = - 5,0 μC y q_2 = +2,0 μC.

a) ¿Cuánto trabajo externo se requiere para mover a una tercera carga q_3 = +3,0 μC desde B hasta A a lo largo de una diagonal del rectángulo?

b) En este proceso, ¿se convierte el trabajo externo en energía potencial electrostática o viceversa?



$$V_B = k_E\frac{q_1}{a} + k_E\frac{q_2}{l} = k_E\left(\frac{q_1}{a}+\frac{q_2}{l}\right)$$

$$V_B = (8,988\times 10^9)\left(\frac{-5,00\times 10^{-6}}{0,0500}+\frac{2,00\times 10^{-6}}{0,150}\right)$$ -778.960 V

$$W_{B\to A}^{Ext.} = q_3(V_A - V_B) = (3,00\times 10^{-6})(59920-(-778960) = 2,5166\,J$$

$$W_{B\to A}^{Ext.} = 2,52\,J$$

b) El agente externo realiza trabajo positivo, llevando una carga positiva q_3 desde un punto de menor potencial a otro de mayor potencial, por tanto se convierte trabajo en energía potencial

Cálculo del potencial eléctrico a partir del campo eléctrico

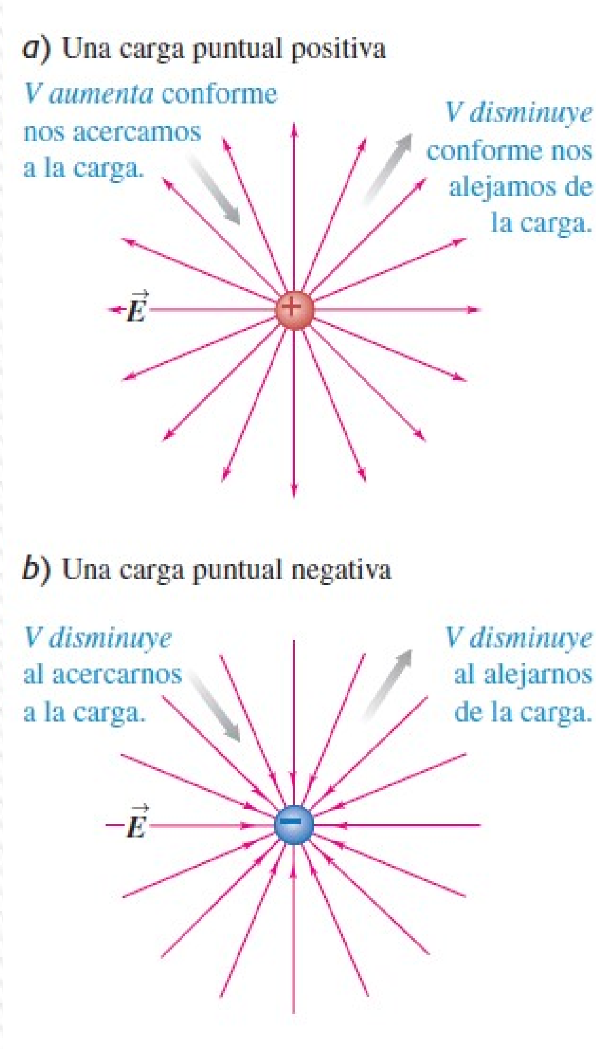
Si conocemos el campo eléctrico se puede calcular el potencial eléctrico:

$$W_{a\to b} = \int_a^b \overline{\boldsymbol{F}} \cdot d\overline{\boldsymbol{l}} = \int_a^b q_0 \overline{\mathbf{E}} \cdot d\overline{\boldsymbol{l}}$$

dividiendo entre q_0 *se obtiene:*

$$V_a \quad V_b = \int_a^b \overline{\boldsymbol{E}} \cdot d\overline{\boldsymbol{l}} = \int_a^b E \cos\phi \, dl$$

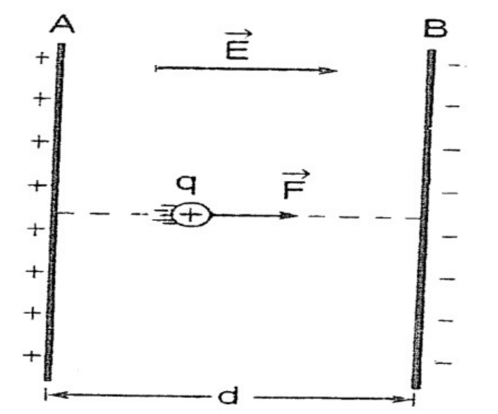
El valor de V_a - V_b *es independiente de la trayectoria seguida de a a b, del mismo* modo que el valor de $W_{a\to b}$ *es independiente de la trayectoria.*



Una carga de prueba positiva q_0 *experimenta una fuerza eléctrica en el sentido* de dirigirse hacia valores menores de *V.*
Una carga de prueba negativa experimenta una fuerza en el sentido de dirigirse hacia valores mayores de *V.*
Es decir que una carga positiva tiende a “caer” de una región de potencial elevado a otra de menor potencial. Lo contrario se cumple para una carga negativa.

Cálculo del potencial eléctrico a partir del campo eléctrico

Como podemos escribir que: $V_B - V_A = -\int_A^B \overline{\boldsymbol{E}}.d\overline{\boldsymbol{s}}$



entonces si el campo eléctrico **E** es uniforme:

$$V_B - V_A = -\overline{\boldsymbol{E}}.\Delta\overline{\boldsymbol{s}}$$

$$|\Delta V| = E.d$$

POTENCIAL DE UNA ESFERA: Se puede probar que el potencial eléctrico de una esfera uniformemente cargada, para puntos exteriores a la misma, es el mismo que crea una carga puntual, de igual carga, colocada en su centro.

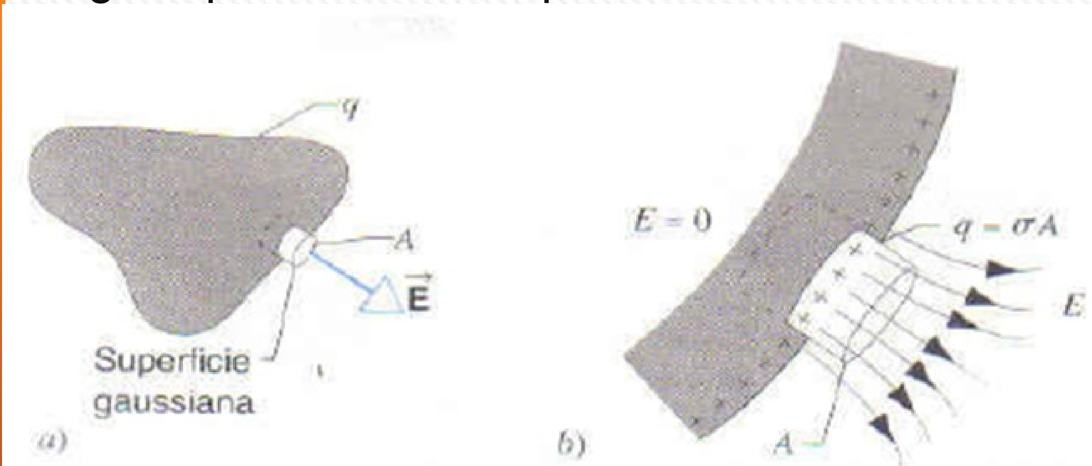
El **electrón-volt (eV):** es una unidad de energía dada por el producto de la carga e por el potencial V. **1 eV= $1{,}602\times10^{-19}$ J**

Cuando una partícula con carga *e se mueve a través de una diferencia de potencial de* 1 volt, el cambio en la *energía potencial es 1 eV.*

CONDUCTOR EN CONDICIONES ELECTROSTÁTICAS

1. En el interior del conductor el campo eléctrico es cero, ya sea el conductor sólido o hueco.
2. Si un conductor aislado (no conectado a tierra) tiene carga, ésta reside en su superficie.

3. El campo eléctrico justo fuera de un conductor con carga es perpendicular a la superficie del conductor y tiene una magnitud $\boldsymbol{\sigma/\varepsilon_0}$, donde σ es la densidad de carga superficial en ese punto.



$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\,\hat{\mathbf{n}}$$

4.-El volumen completo de un conductor sólido tiene el mismo potencial (es decir es un equipotencial).
5. En un conductor de forma irregular, la densidad de carga superficial es máxima en aquellos puntos donde el radio de curvatura de la superficie es el menor.

PREGUNTA RÁPIDA N° 3

Una esfera de cobre tiene una carga de Q= $2,00\times10^{-6}$ C y un potencial eléctrico de 500V (se consideran condiciones electrostáticas y que el potencial en el infinito vale 0). Entonces el potencial eléctrico en el centro de la esfera vale:

A) 0,00 V

B) -500 V

C) 500 V

D) Falta información para poder determinarlo (el radio de la esfera)

E) Ninguna de las opciones indicadas.

PREGUNTA RÁPIDA N° 4

Dos esferas conductoras están muy separadas entre sí en relación a sus tamaños.
La esfera A, tiene un radio R y una carga Q, mientras que la esfera B tiene un radio 2R y está descargada.
Si se conectan mediante un cable largo, entonces…

A) ambas esferas tienen el mismo potencial eléctrico.

B) la esfera B tiene el doble de potencial eléctrico que la A.

C) la esfera B tiene la mitad de potencial eléctrico que la A.

D) ambas esferas quedan con la misma carga.

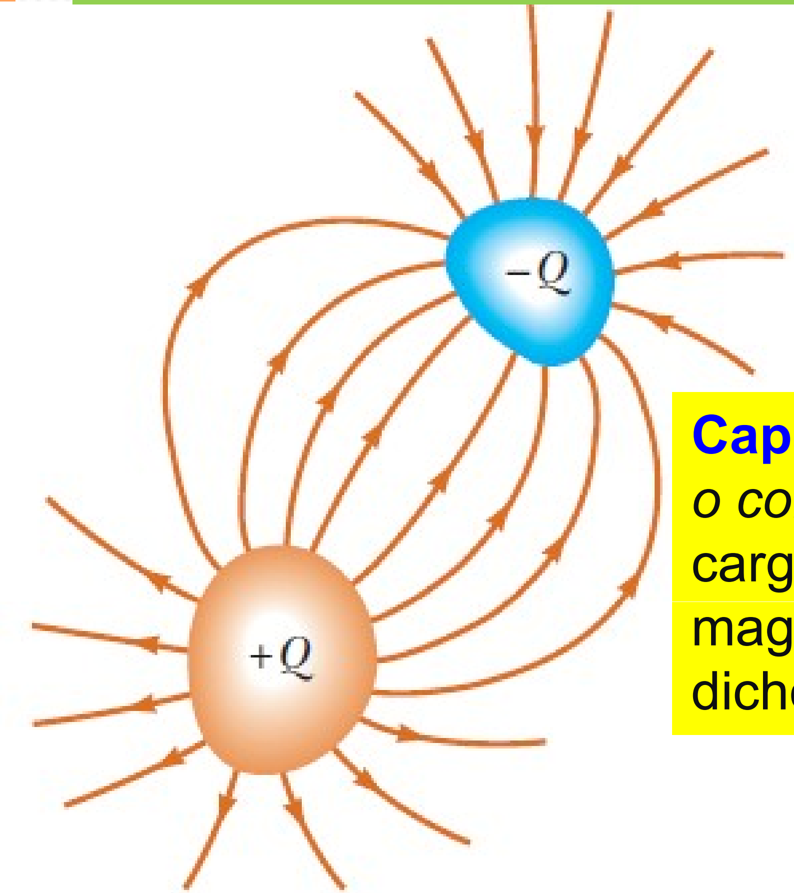
E) toda la carga se disipa.

1.4-CAPACITANCIA Y DIELÉCTRICOS

Cuando un paciente recibe una descarga eléctrica desde un desfibrilador, La energía liberada incialmente proviene de un capacitor

Pieter van Musschenbroek
(1692-1761)
Inventor de la "Botella de Leyden" primer capacitor

CAPACITORES Y CAPACITANCIA



Dos conductores (placas) separados por un aislante (o vacío) constituyen un **capacitor**. *Los conductores llevan* carga de igual magnitud y signo opuesto y existe una diferencia de potencial ΔV *entre ellos.*

Capacitancia o capacidad *C* *de un capacitor o condensador: relación de la magnitud de* la carga en cualquiera de los conductores a la magnitud de la diferencia de potencial entre dichos conductores:

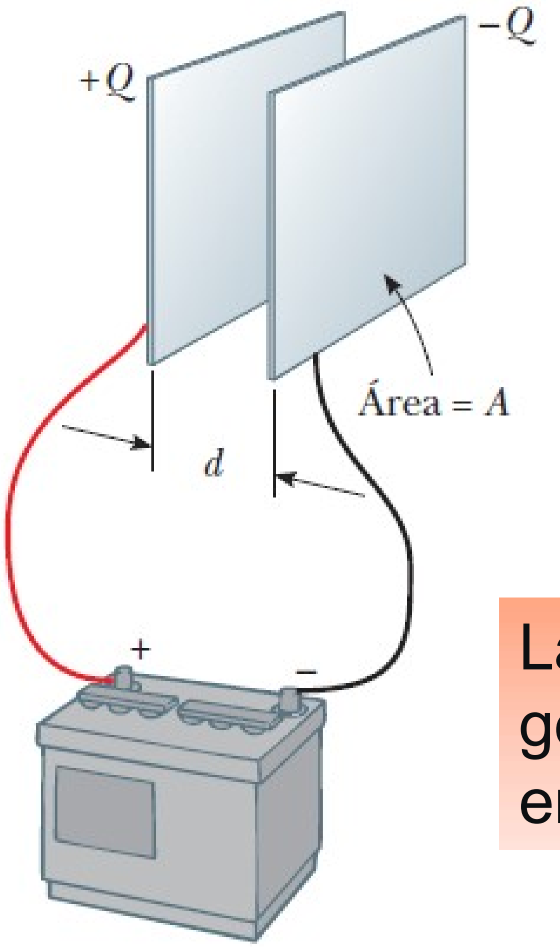
$$C \equiv \frac{Q}{V}$$

Aunque la carga total en el capacitor sea cero (debido a que existe tanta carga positiva en exceso en un conductor como existe carga negativa en exceso en el otro), es común referirse a la magnitud de la carga de cualquiera de los conductores como "**carga del capacitor**".

La *capacitancia siempre es una cantidad positiva.* *La carga Q y la* diferencia de potencial *V siempre se expresan como cantidades* positivas.

CAPACITORES Y CAPACITANCIA

Unidades del SI: se expresa en coulombs por cada volt, **farad (F)**, nombre puesto en honor de Michael Faraday: 1F = 1 C/V



Capacitor de placas paralelas: dos placas conductoras paralelas, cada una con una superficie *A*, separadas una distancia *d.*

Cuando se carga el capacitor al conectar las placas a las terminales de una batería, las placas adquieren cargas de igual magnitud. Una de las placas tiene carga positiva y la otra carga negativa.

La capacitancia depende sólo de la geometría del capacitor y del material entre las placas.

CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA

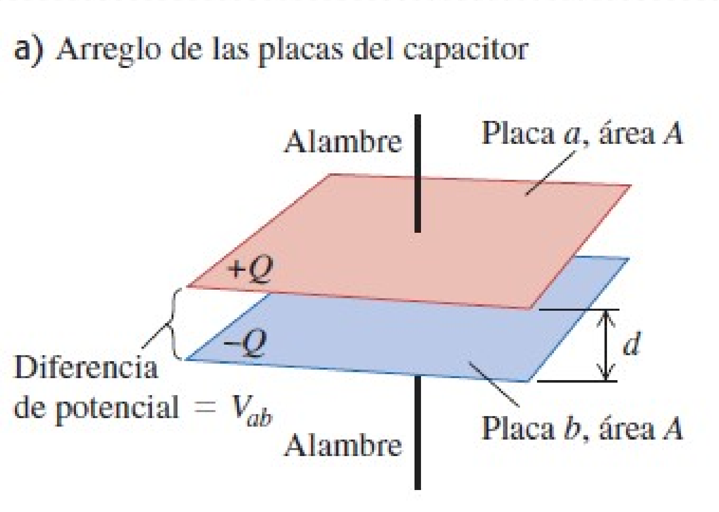
CAPACITOR DE PLACAS PLANAS PARALELAS

Dos placas metálicas paralelas de igual área *A están separadas por una distancia d.*

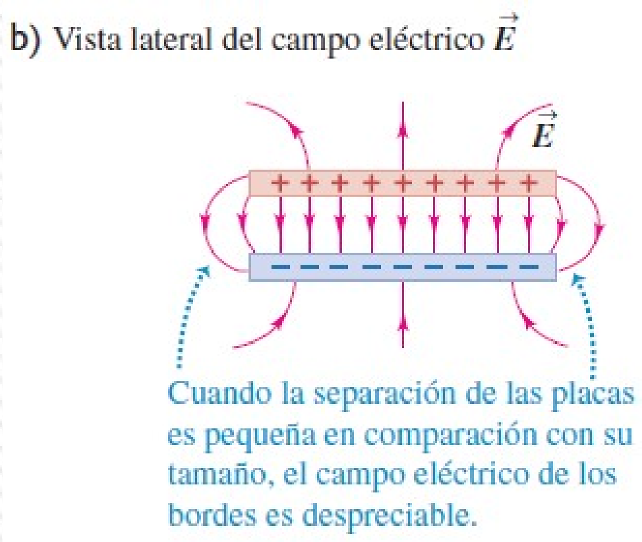
Una placa tiene una carga +*Q y la otra tiene una carga –Q.*

La densidad de carga superficial en cada placa es σ = *Q/A.*

Si las placas están muy juntas (en comparación con su longitud y ancho), se puede suponer que el campo eléctrico es uniforme entre las placas y cero en cualquier otra parte.



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



La capacitancia de un capacitor de placas paralelas es proporcional al área de sus placas e inversamente proporcional a la separación de las placas.

Cálculo de la capacitancia: Capacitores con vacío

Suponemos que los conductores que constituyen el capacitor están separados por un espacio vacío.

La separación *d* entre las placas planas conductoras paralelas (de área *A), están es pequeña en comparación con sus* dimensiones. *Cuando las placas tienen carga, el campo eléctrico está* localizado casi por completo en la región entre las placas.

Modelamos el campo entre las placas como esencialmente *uniforme,* y las cargas en las placas se distribuyen de manera uniforme en las superficies opuestas

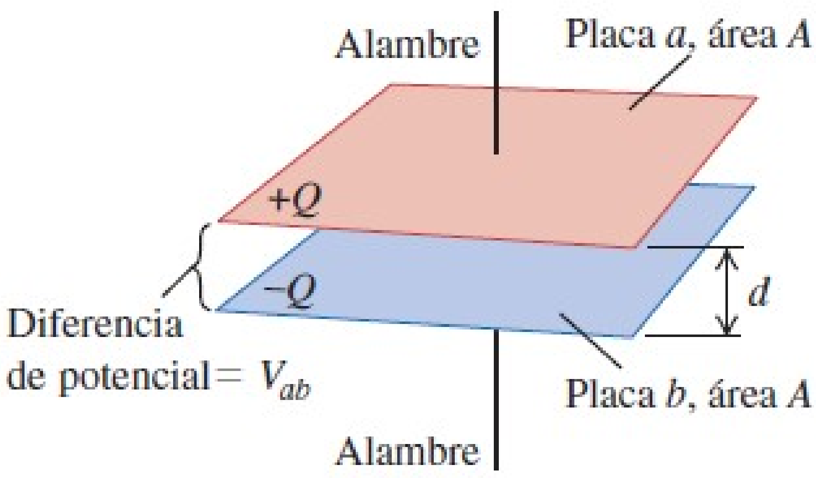
Campo entre las placas: $$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{A\varepsilon_0}$$

Campo uniforme, entonces *diferencia de* potencial (o voltaje) entre las dos placas es:

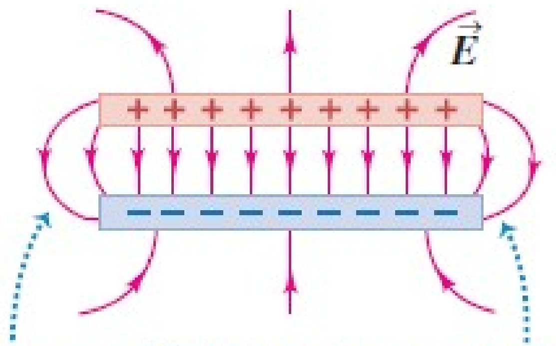
$$V_{ab} = Ed = \frac{Qd}{A\varepsilon_0}$$

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

a) Arreglo de las placas del capacitor



b) Vista lateral del campo eléctrico $\vec{E}$



Cuando la separación de las placas es pequeña en comparación con su tamaño, el campo eléctrico de los bordes es despreciable.

Cálculo de la capacitancia: Capacitores con vacío

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

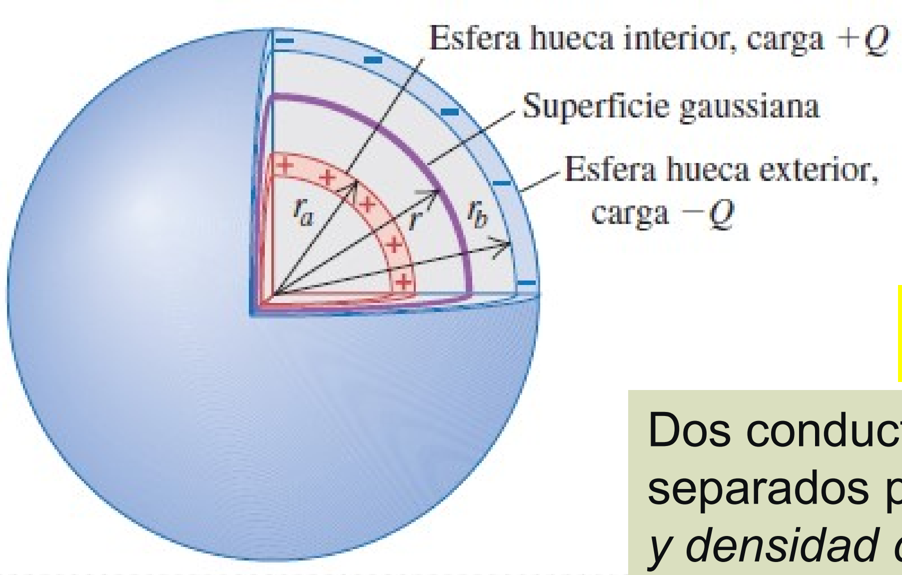
$\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ F/m $= 8{,}85 \times 10^{-12}$ $C^2/(N.m^2)$

La capacitancia depende solo de la geometría del capacitor; es directamente proporcional al área *A de cada placa e inversamente proporcional a su separación d.*

Cuando hay materia entre las placas, sus propiedades afectan la capacitancia.
Si el espacio entre las placas contiene aire a presión atmosférica en lugar de vacío, la capacitancia difiere de lo que predice la ecuación en menos del 0,06%.

Capacitor esférico

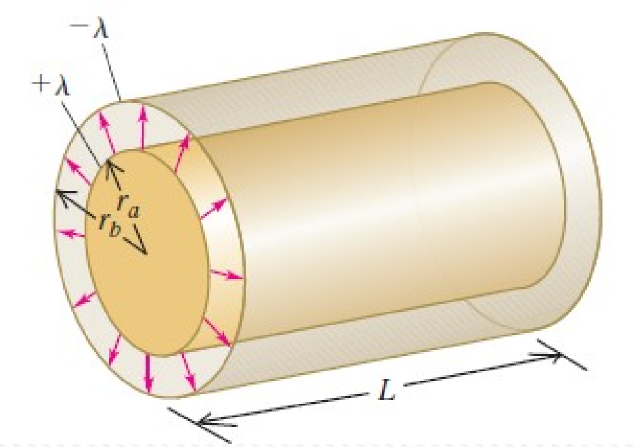
Dos esferas huecas conductoras y concéntricas separadas por vacío. La esfera hueca interior tiene una carga total +Q *y* radio exterior r_a, *y la esfera hueca exterior tiene carga -Q y radio interior* r_b.



$$C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{r_a r_b}{r_b - r_a}$$

Capacitor cilíndrico

Dos conductores cilíndricos coaxiales y largos separados por vacío. El cilindro interior tiene un radio r_a *y densidad de* carga lineal +λ. El cilindro exterior tiene un radio interior r_b *y densidad* de carga lineal - λ.



$$\frac{C}{L} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)}$$

1) PREGUNTA RÁPIDA (QUICK QUIZ)

Un capacitor almacena una carga Q *con una diferencia de potencial* V. ¿Qué pasa si el voltaje que suministra una batería al capacitor se duplica a $2V$?

a) La capacitancia disminuye hasta la mitad de su valor inicial y la carga se mantiene igual.

b) Tanto la capacitancia como la carga disminuyen hasta la mitad de sus valores iniciales.

c) Tanto la capacitancia como la carga se duplican.

d) La capacitancia permanece igual pero la carga se duplica.

Respuesta: d) La capacitancia permanece igual pero la carga se duplica.

La capacitancia es una propiedad del sistema físico y no se modifica con el voltaje aplicado. Según la ecuación $C=Q/V$, si se duplica el voltaje, se duplica la carga.

EJEMPLO- Ejercicio 1.2.5

Un condensador de placas paralelas separadas 1,80 mm, está sometido a una diferencia de potencial de 20,0 V. Calcular:

a) El campo eléctrico entre las placas.

b) La densidad superficial de carga.

c) La capacidad del condensador, si cada una de las placas tiene 400 cm^2 de superficie.

<u>Nota:</u> A efectos del cálculo puede hacerse la aproximación usual de placas infinitas

Desprecio los efectos de borde, por lo que el campo E es uniforme

$$\Delta V = \frac{W}{q} = \int_0^d \overline{\boldsymbol{E}}.\overline{\boldsymbol{dl}} = \int_0^d E dl = E\int_0^d dl = Ed$$

$$\Delta V = Ed \quad \rightarrow E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{20}{1{,}8 \times 10^{-3}} = 1{,}1 \times 10^4 \; V/m$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \qquad \sigma - \varepsilon_0 E - (8{,}85 \times 10^{-12})(1{,}1 \times 10^4) - 9{,}8 \times 10^{-8} \; C/m^2$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\sigma A}{\Delta V} = \frac{9{,}833 \times 10^{-8}(4{,}00 \times 10^{-2})}{20{,}0} = 1{,}967 \times 10^{-10} F$$

C=2,0 ×10^{-10} F