



ce
pre
UNI

Física

CICLO
PREUNIVERSITARIO
2023-1





ce
pre
UNI

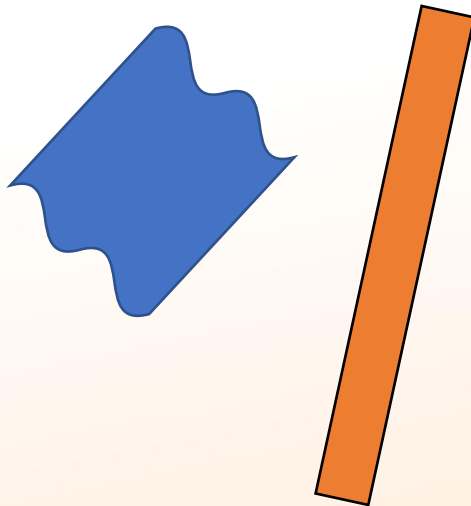
Física

ELECTROSTÁTICA

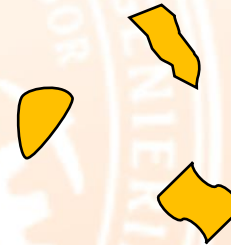
ce
pre
UNI

CARGA ELÉCTRICA

En el año 600 ac, Thales de Mileto observó una propiedad que adquiriría una barra de ámbar luego de ser frotada con un paño.

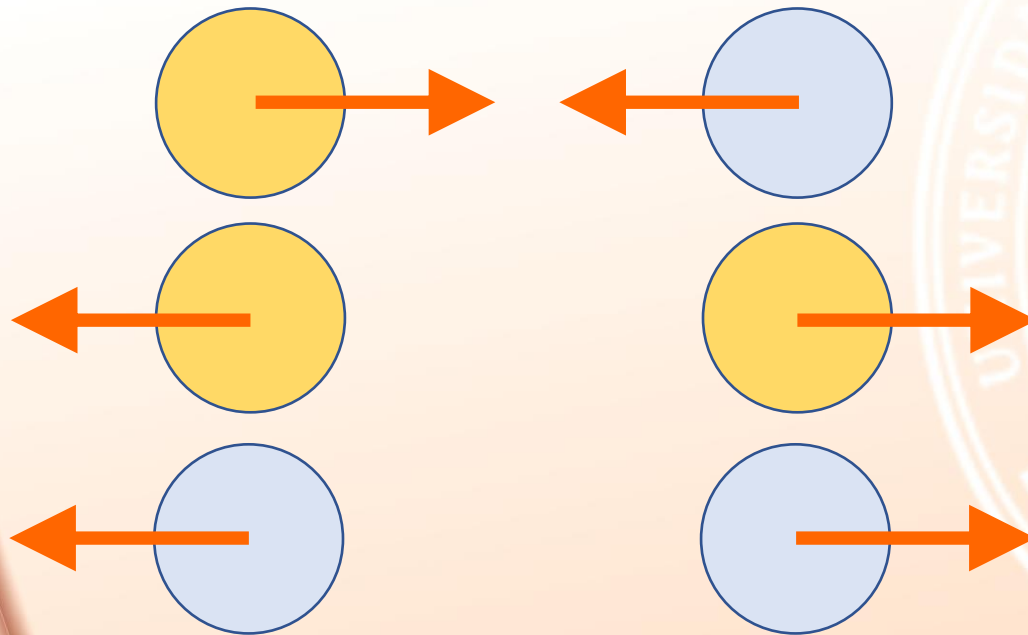
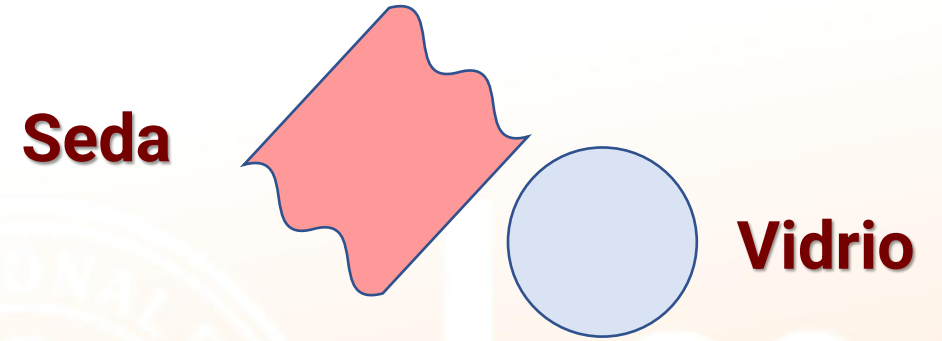
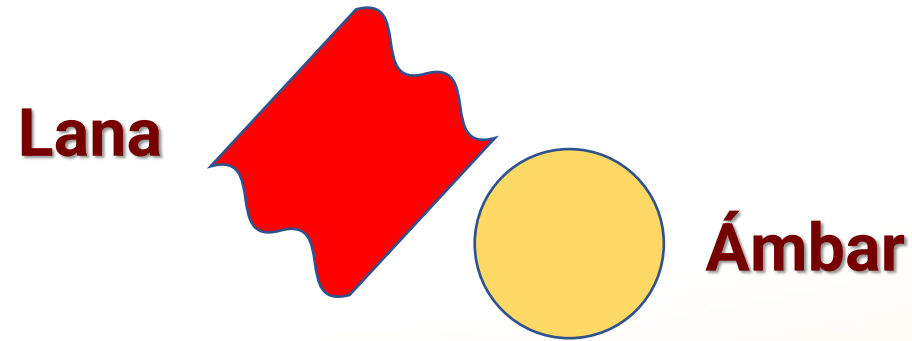


La barra atraía ciertos objetos.



ce
pre
UNI

En 1733, Charles F. Du Fay realizó experimentos observando como interactúan cuerpos cargados.



Vemos que los cuerpos de un mismo material cargados de la misma manera se repelen. Esto indica que los cuerpos cargados no sólo se atraen.

De esto se concluye que por lo menos existen dos tipos de carga

Benjamín Franklin las distinguió asignándole signos a las cargas.

Cargas del mismo signo: se repelen
Cargas de signos contrarios: se atraen

En 1897, J.J Thomson al analizar las características de los rayos catódicos, encuentra que estos en realidad están compuestos por pequeñas partículas cargadas negativas a las cuales Thomson denominó electrones.

En este experimento se halló razón entre la magnitud de la carga y la masa del electrón.

$$\frac{\text{Magnitud de la carga del electrón}}{\text{Masa del electrón}} = \frac{e}{m_e} = 1,758 \times 10^{11} \frac{C}{kg}$$

En 1911, Robert Millikan a partir del equilibrio de gotas de aceite cargadas y sometidas a fuerzas eléctricas, logra determinar un valor de carga mínimo en la naturaleza, el cual se asocia al electrón.

Además, observó que cualquier otra carga es múltiplo entero de la carga del electrón.

Magnitud de la carga del electrón $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

Carga del electrón = $q_e = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

$$Q = Nq_e \text{ CON } N \in \mathbb{Z}$$

Cuantización de la carga eléctrica.

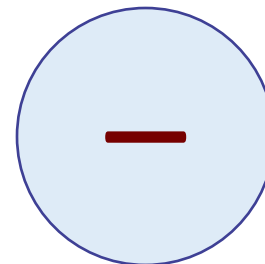
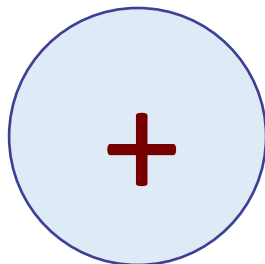
Luego de esto se empezaron a realizar modelos para el átomo, los cuales se fueron afinando a medida que los experimentos mostraban la presencia de los demás constituyentes del átomo, es decir los neutrones y protones, estos últimos con carga positiva.

El modelo atómico actual considera que el átomo tiene dos regiones:

- **El núcleo**, donde están los protones y neutrones fuertemente unidos.
- **La nube electrónica**, donde los electrones orbitan aleatoriamente alrededor del núcleo.

Experimentalmente, los átomos ganan o pierden electrones con mayor facilidad, dado que los procesos en el núcleo para que gane o pierda protones demandan cantidades enormes de energía.

Por ello cualquier proceso de carga se debe a una transferencia de electrones.



Si al inicio no tiene carga, y pierde electrones, adquiere carga positiva

Si al inicio no tiene carga, y gana electrones, adquiere carga negativa

Si N es el número de electrones transferidos en un proceso de carga que experimenta un cuerpo, el cual inicialmente es neutro, la carga adquirida es $Q = Nq_e$ de modo que

- Si $N > 0$, el cuerpo gana electrones, y
- Si $N < 0$, el cuerpo pierde electrones.

Dado que los electrones siempre provienen de los átomos de un cuerpo, se concluye los cuerpos cambian su carga al interactuar con otros, de modo que cuando uno de ellos gana electrones es porque otro cuerpo los pierde.

Para un sistema aislado (sólo puede haber transferencia de electrones entre los elementos del sistema)

Transferencia de electrones entre A y B

$Q_{A \text{ inicial}}$ $Q_{B \text{ inicial}}$ $Q_{A \text{ final}}$ $Q_{B \text{ final}}$

$Q_{A \text{ final}} - Q_{A \text{ inicial}} = +Nq_e$ $Q_{B \text{ final}} - Q_{B \text{ inicial}} = -Nq_e$

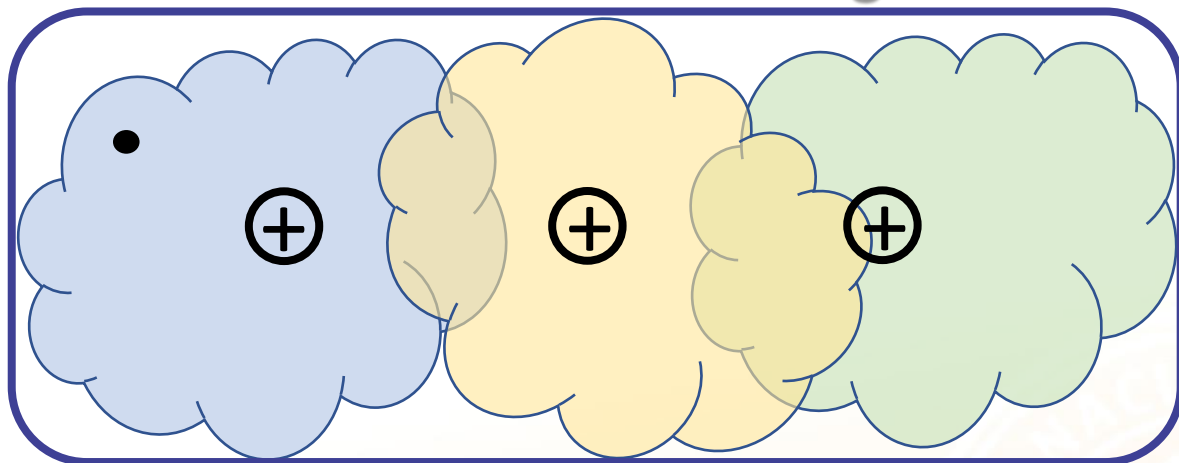
$Q_{A \text{ final}} - Q_{A \text{ inicial}} + Q_{B \text{ final}} - Q_{B \text{ inicial}} = 0$

$Q_{A \text{ final}} + Q_{B \text{ final}} = Q_{A \text{ inicial}} + Q_{B \text{ inicial}}$

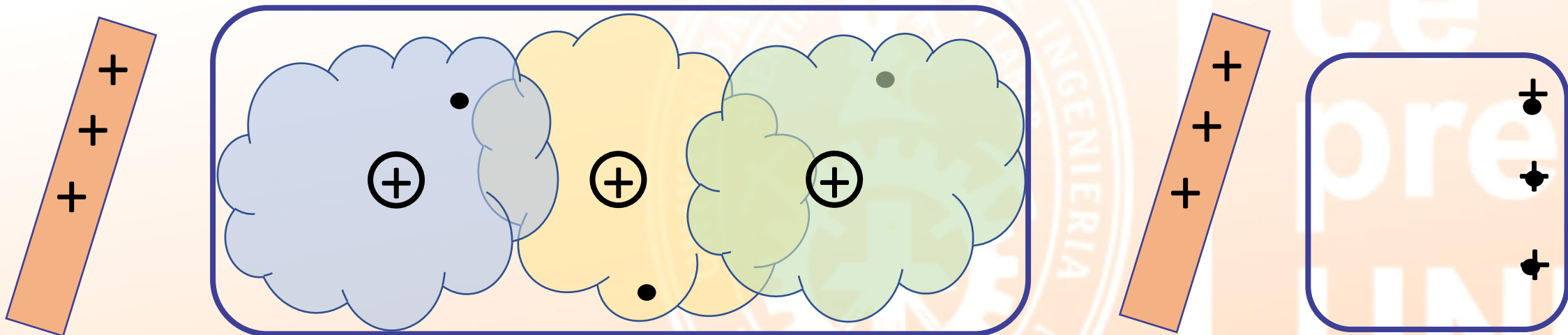
Conservación de la carga eléctrica en un sistema aislado

Conductores

S

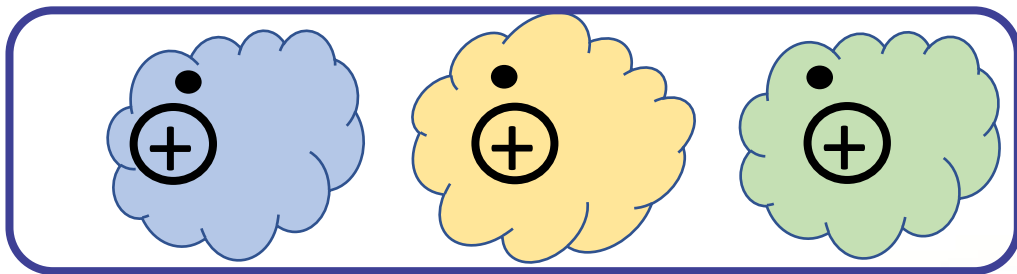


Los electrones más alejados del núcleo pueden moverse a través de las nubes electrónicas de los otros átomos del material (electrones libres)

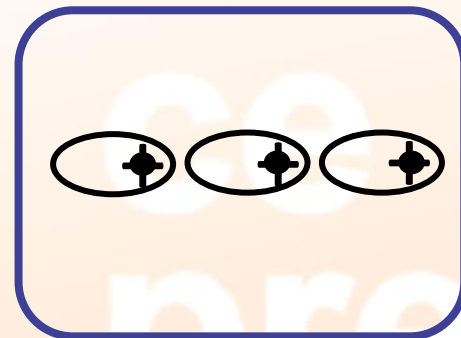
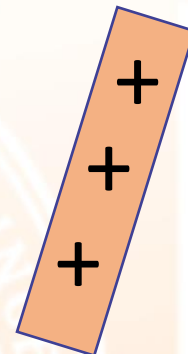
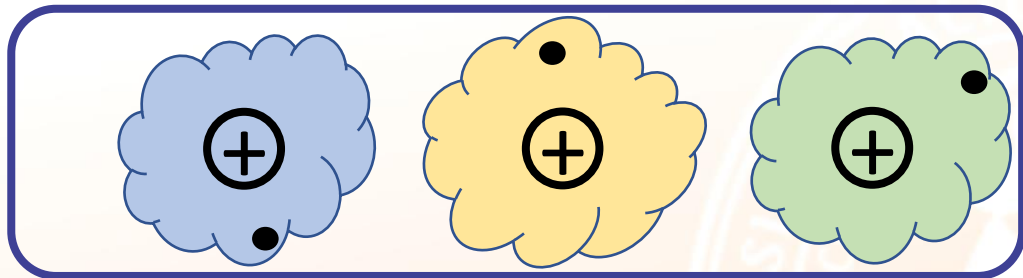


Al acercar un cuerpo cargado a un conductor pero sin tocarlo, los electrones se reordenan en el interior del conductor.

Aislante s



No poseen electrones libres



Al acercar un cuerpo cargado a un aislante pero sin tocarlo, los electrones se reordenan en el interior del átomo formando dipolos.

Sin embargo, y como también en el caso anterior, solo acercar el cuerpo cargado no cargará al otro, pues debe haber transferencia de electrones de un cuerpo a otro.

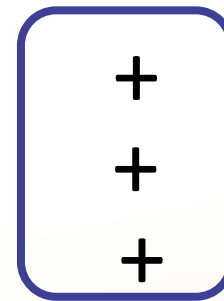
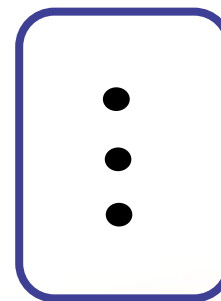
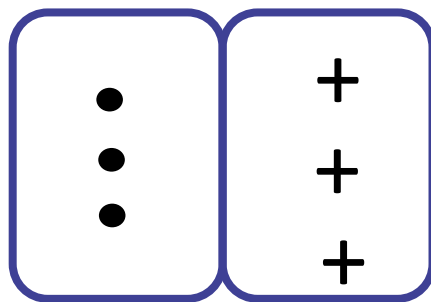
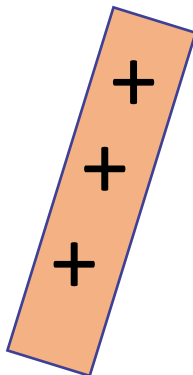
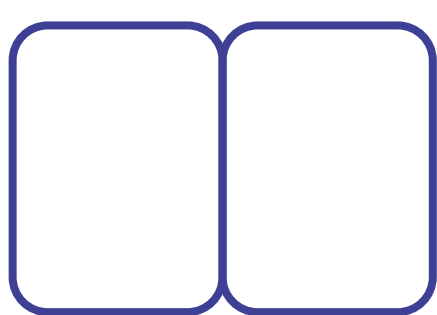
PROCESOS DE ELECTRIZACIÓN

Un cuerpo se carga cuando gana o pierde electrones al interactuar con otros cuerpos. Se identifican tres procesos:

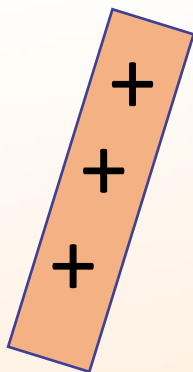
Por frotamiento: dos cuerpos se frotan entre sí, de modo que uno gana electrones y el otro los pierde.

Por contacto: al estar en contacto, ocurre una transferencia de electrones de un cuerpo hacia el otro.

Por inducción: se acerca un cuerpo cargado sin tocar a dos cuerpos en contacto de modo que los electrones pasan de uno de los cuerpos en contacto al otro.



Si luego de acercar la barra cargada sin tocar a los cuerpos en contacto, separamos dichos cuerpos entonces cada uno de ellos queda cargado.



**Conexión
Tierra**

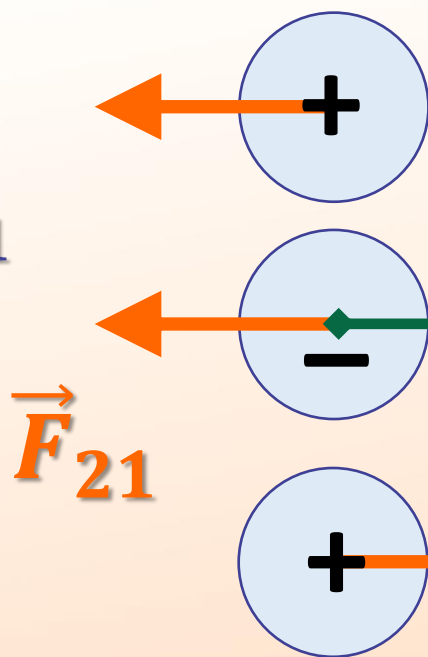
Si luego de acercar la barra, cortamos la conexión a Tierra (un conductor con gran capacidad de almacenar carga), el cuerpo adquiere carga del signo contrario al de la barra cargada

FUERZA ELECTROSTÁTICA

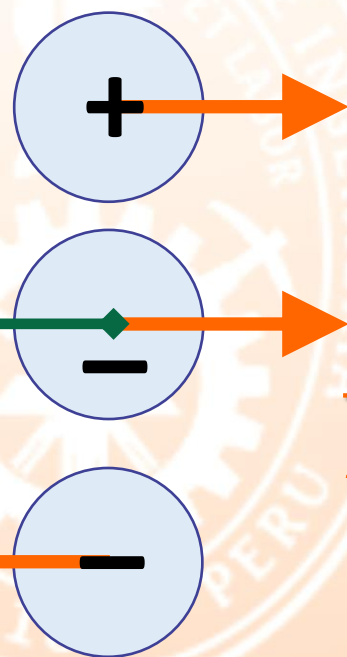
En 1777, Charles A. Coulomb realizó experimentos para estudiar la atracción y repulsión electrostática.

De los experimentos se concluye que la fuerza entre cargas puntuales depende del producto de la magnitud de sus cargas y del cuadrado de la distancia que las separa.

Carga del
cuerpo 1: Q_1


 $\vec{F}_{21}$

Carga del
cuerpo 2: Q_2


 $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = K_E \frac{|Q_1||Q_2|}{d^2}$$

Al realizarse el experimento en el
aire o vacío

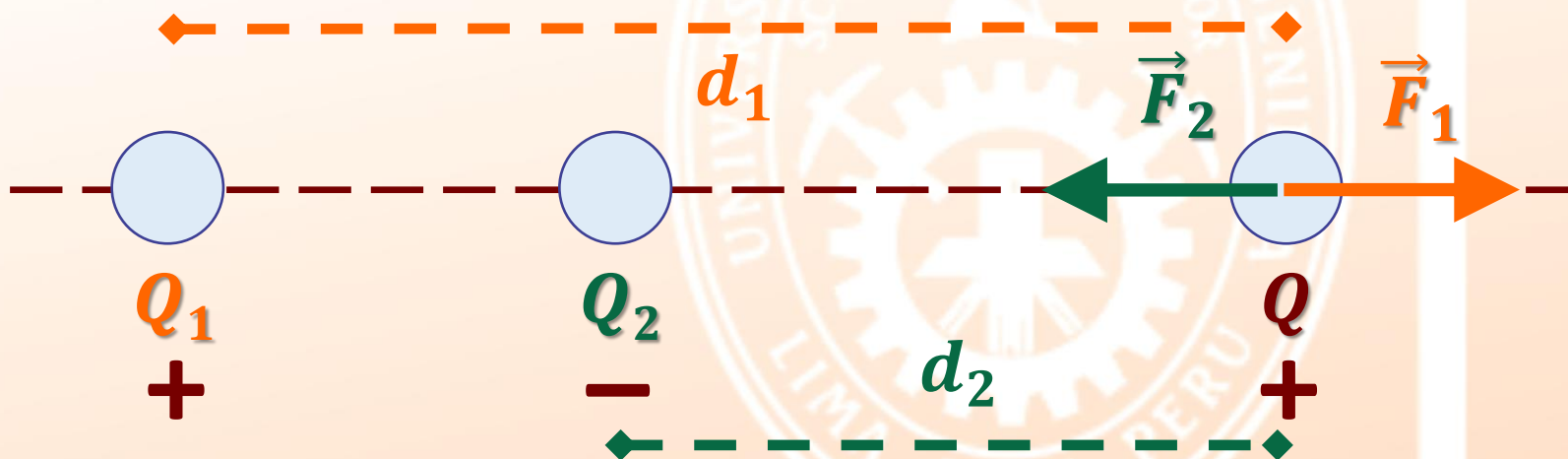
$$K_E = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$K_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

ϵ_0 : Permitividad eléctrica del
vacío

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

La fuerza electrostática obedece el principio de superposición.



CAMPO ELÉCTRICO

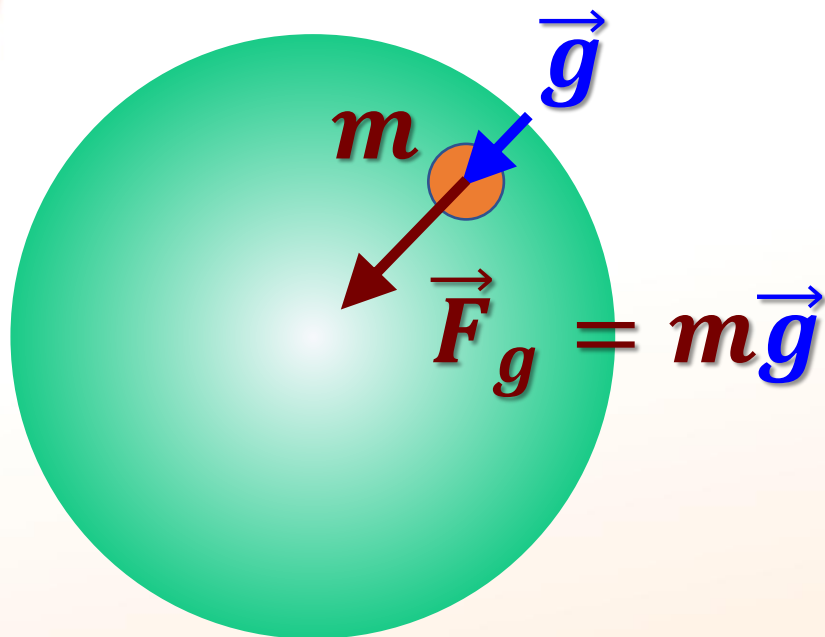
La fuerza entre cuerpos no adyacentes (sin contacto directo) nos permite interpretar **que un** cuerpo, al no poder estar presente en todas **partes**, crea una propiedad a su alrededor **llamada** campo, de **modo que otros cuerpos al entrar en el campo experimentan fuerza**.

El efecto medible de un campo, es la fuerza que actúa sobre los cuerpos que entren en él.

Anteriormente se analizó la fuerza de atracción gravitatoria, que actúa entre cuerpos que están separados. Por ello podemos definir el campo gravitatorio.

De igual forma, como la fuerza eléctrica actúa entre cuerpos que están separados, podemos definir el campo eléctrico.

El efecto sobre una masa que entra al campo gravitatorio es la fuerza de gravedad.



Para cada punto dentro del campo gravitatorio, la razón entre la fuerza que actúa sobre la masa que entra al campo y dicha masa se mantiene constante.

Para una misma masa m , en el punto donde la fuerza sea mayor, el campo es más intenso

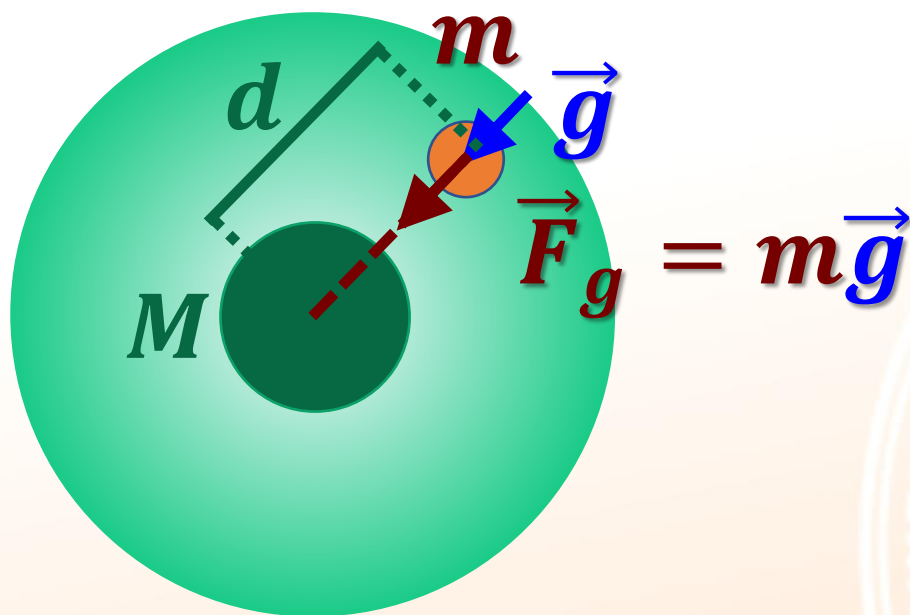
Intensidad
gravitatorio

del campo

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$$

Pero el campo gravitatorio no depende de la fuerza ni de la masa que recibe la fuerza.

La fuerza gravitatoria que actúa sobre la masa m proviene de otra masa M , la cual sería la fuente de campo gravitatorio.

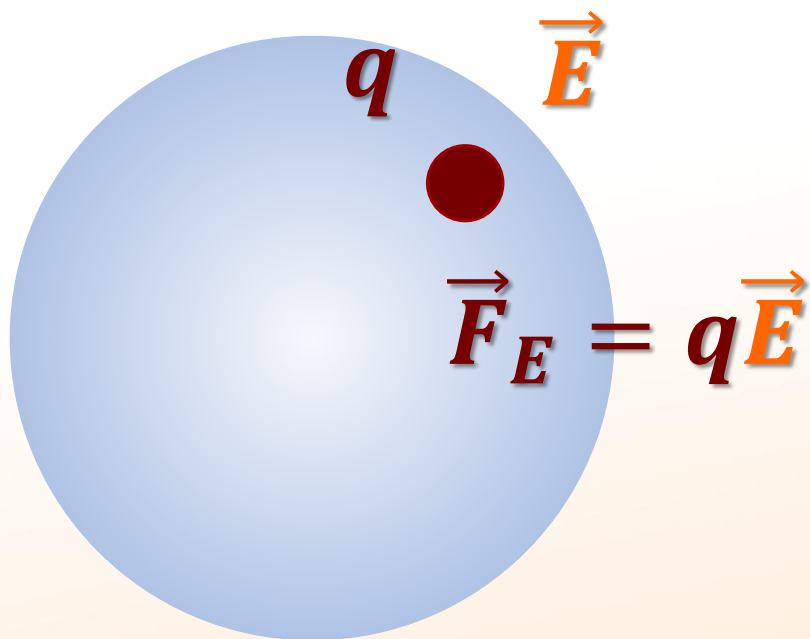


Como $\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$ y $|\vec{F}_g| = \frac{GMm}{d^2}$

$$|\vec{g}| = \frac{|\vec{F}_g|}{m} = \frac{GM}{d^2}$$

La intensidad del campo gravitatorio depende de la masa que lo genera y la distancia d entre la masa fuente de campo (M) y el punto donde desea evaluarse el campo gravitatorio.

Análogamente, el efecto sobre una carga que entra a un campo eléctrico $\vec{E}$ es la fuerza eléctrica $\vec{F}_E$:

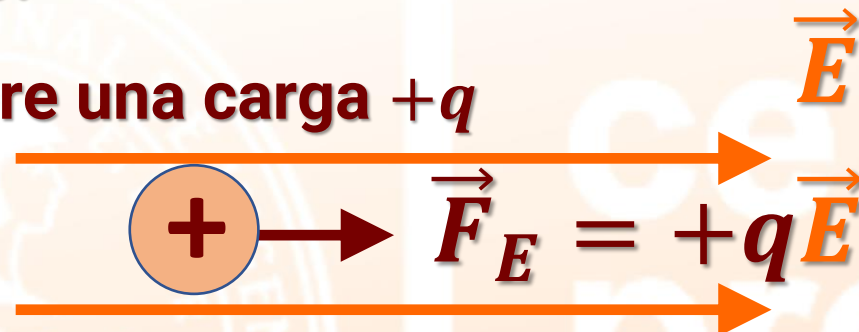


Intensidad del
campo eléctrico

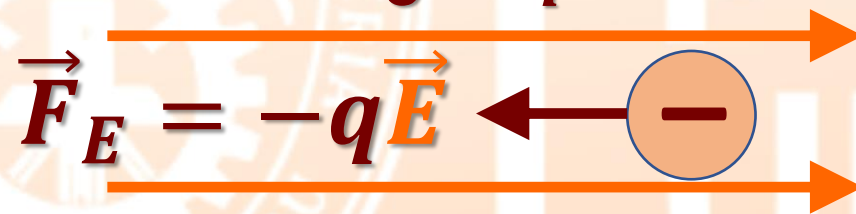
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q}$$

Sin embargo, la orientación de la fuerza sobre una carga q depende de su signo.

Sobre una carga $+q$

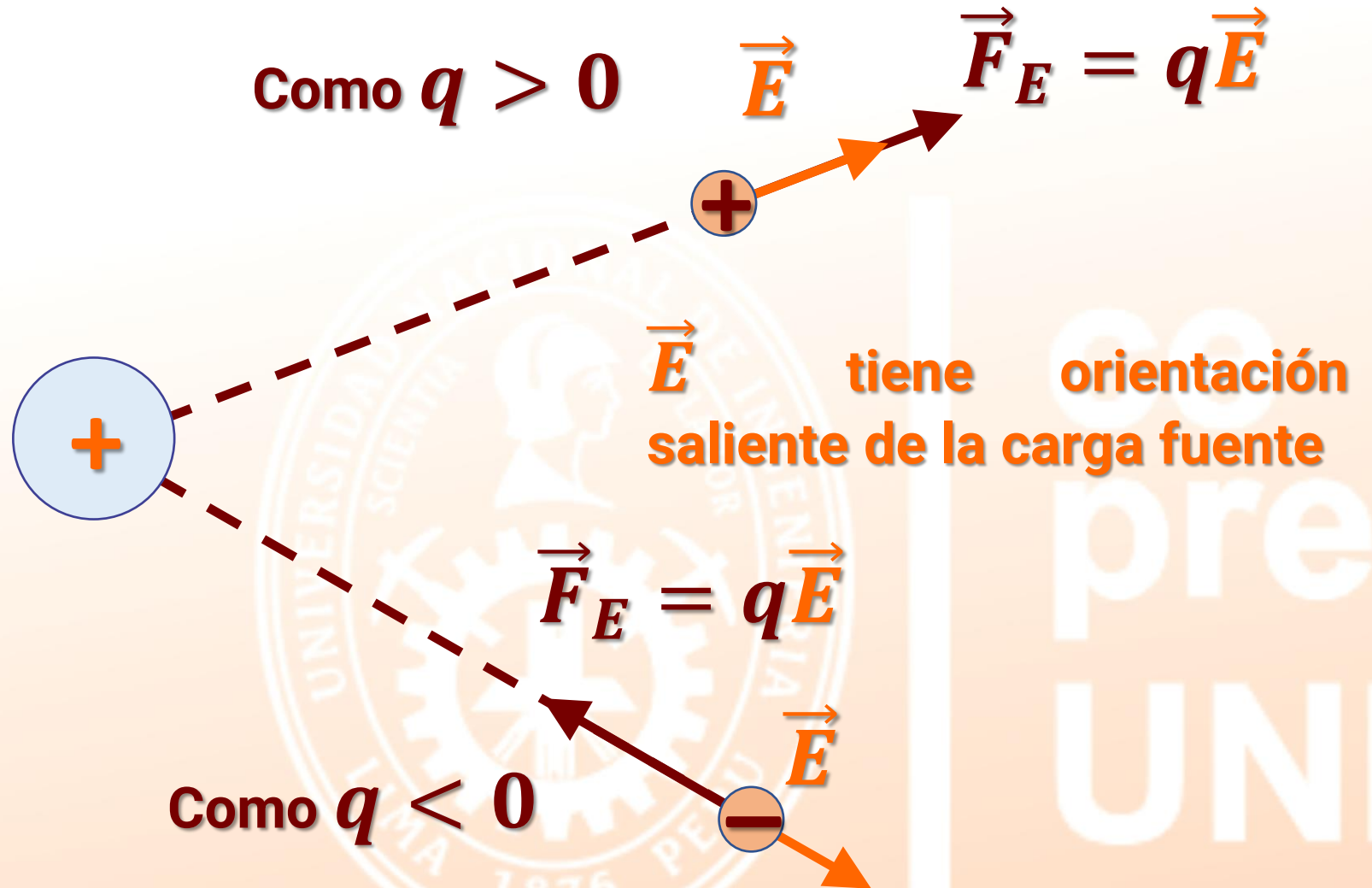


Sobre una carga $-q$

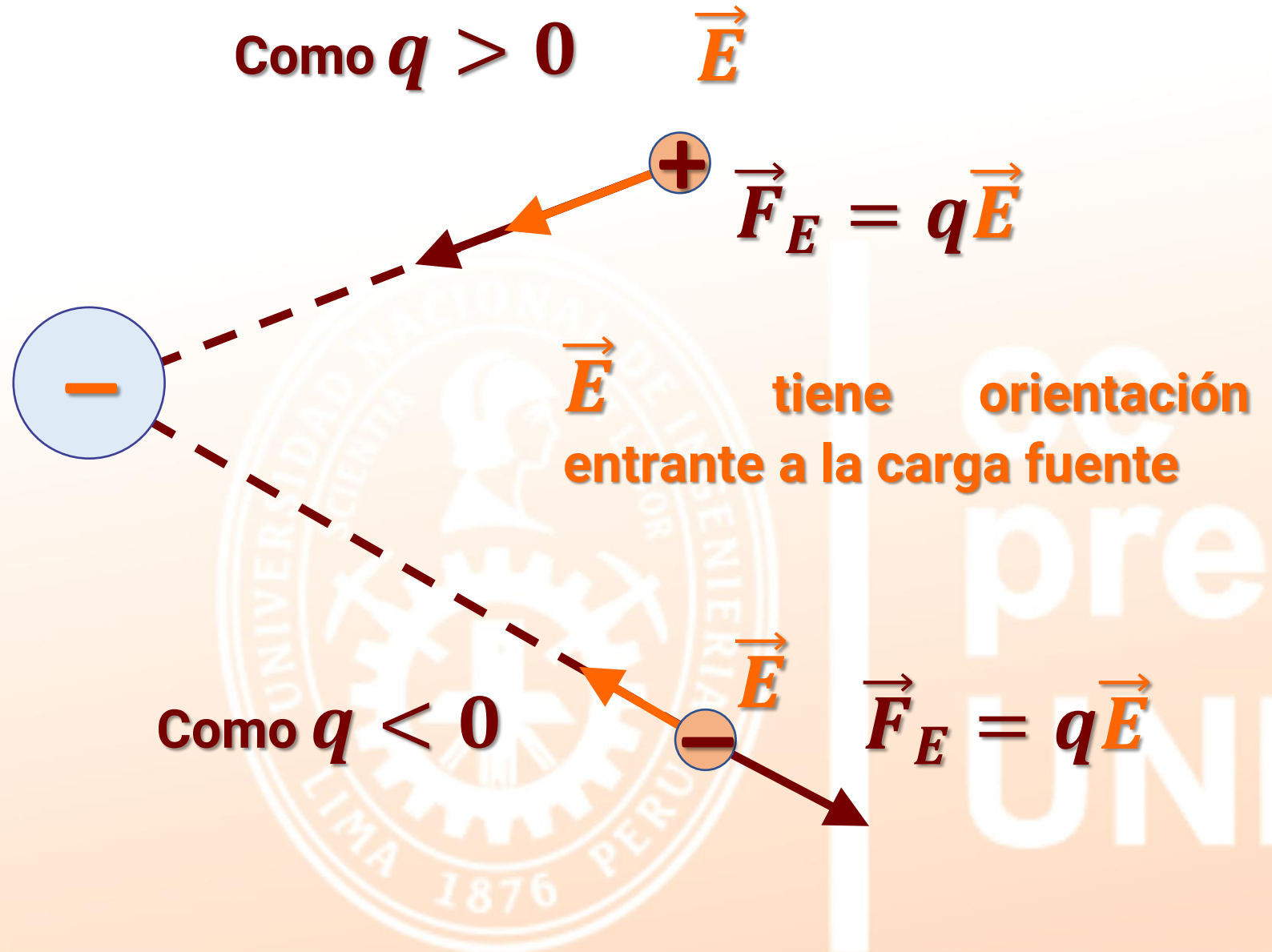


Analicemos la orientación del campo eléctrico a partir de la carga generadora del campo

Si la carga que crea el campo es $+Q$

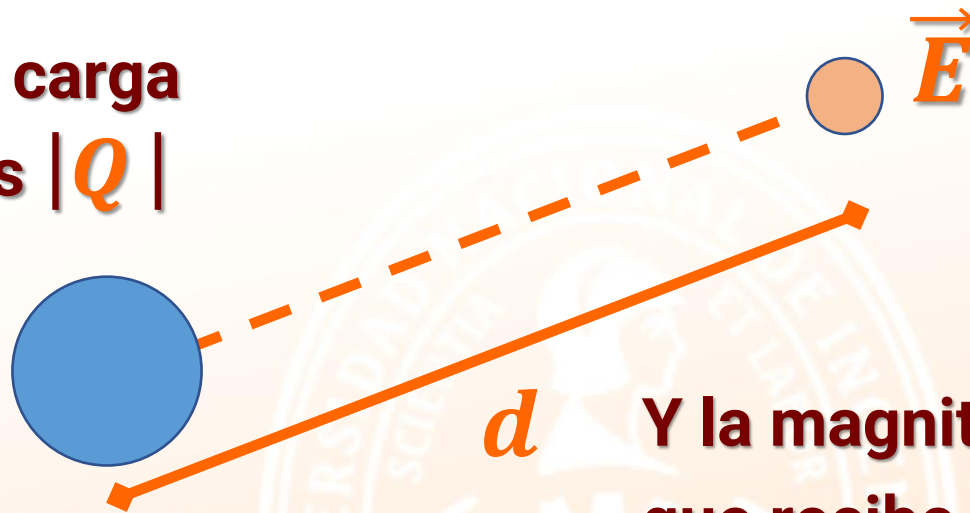


Si la carga que crea el campo es $-Q$



Para el caso de cargas puntuales (cargas de tamaño muy pequeño en comparación con la distancia de un punto del espacio hacia ellas.)

Si la magnitud de la carga que crea el campo es $|Q|$



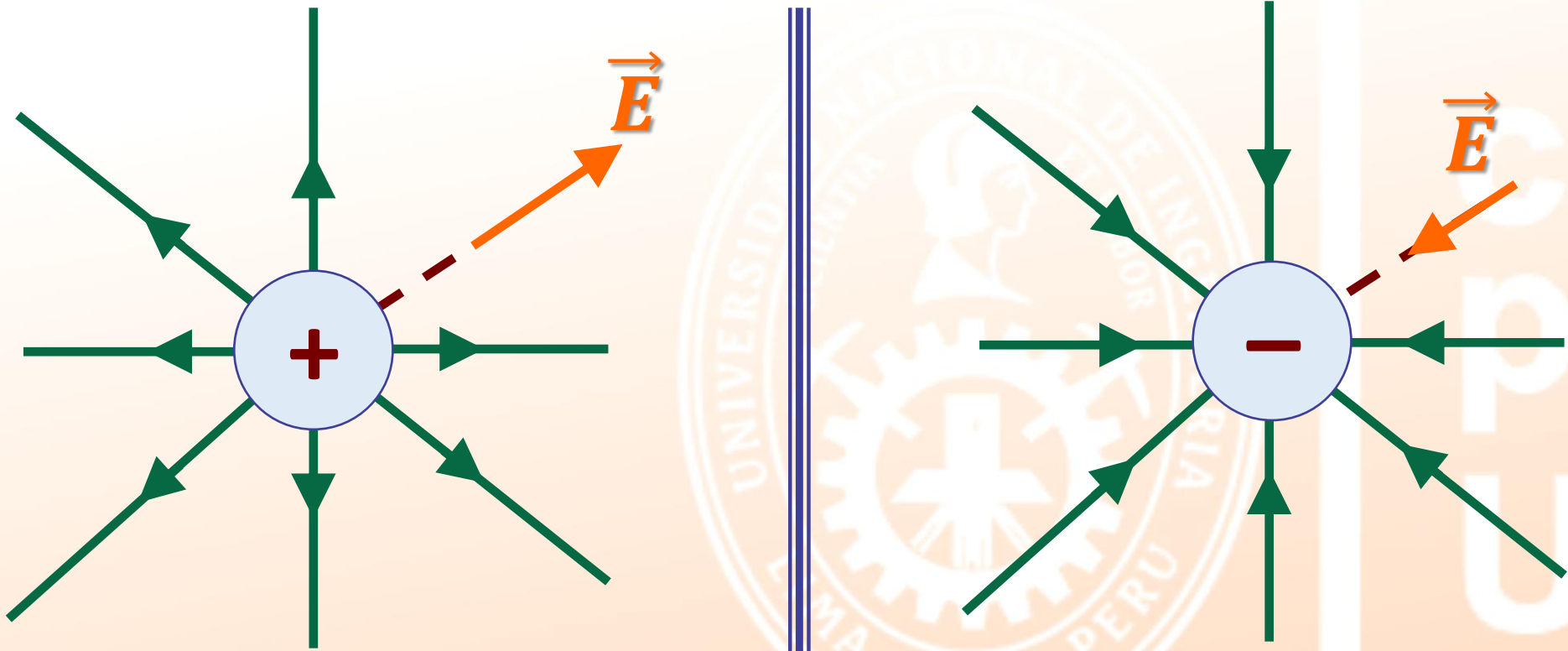
Y la magnitud de la fuerza que recibe la carga q es

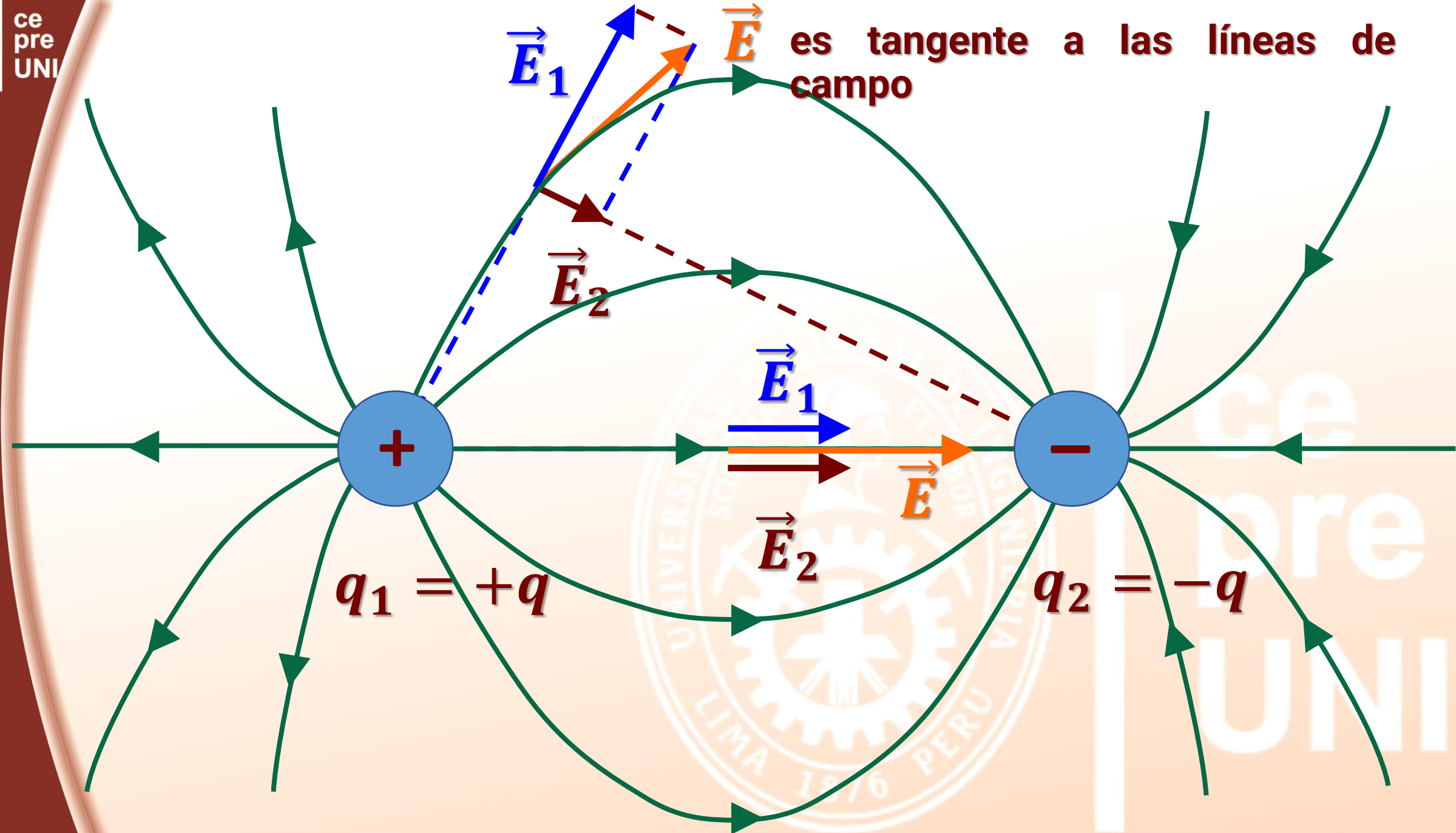
$$\Rightarrow \text{como } \vec{F}_E = q\vec{E} \text{ y } |\vec{F}_E| = K_E \frac{|Q||q|}{d^2}$$

$$|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}_E|}{|q|} = K_E \frac{|Q|}{d^2}$$

LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO

Estas muestran como se orienta y como cambia la magnitud del campo eléctrico resultante de un sistema de cargas.





Las líneas de campo se orientan de modo que salen de las cargas positivas y entran a las cargas negativas.

Al elegir una sección fija (un área), el campo eléctrico es más intenso donde sea mayor número de líneas que atraviesan dicha sección. Otra forma de decir esto es, donde hay mayor concentración de líneas y por ende las líneas están más juntas.

Existe una proporción entre el número de líneas que salen o entran de una carga y la magnitud de la carga.

En cada punto del espacio el campo eléctrico es único, por lo que por cada punto del espacio pasa una sola línea de campo, de modo que estas líneas jamás se cruzan.

Energía potencial eléctrica

Dado que la fuerza eléctrica, para cargas puntuales, depende de la posición relativa entre las cargas, su trabajo también depende de la posición.

Recordando que las fuerzas conservativas se caracterizan por que su trabajo no depende de la trayectoria sino de sus posiciones inicial y final, concluimos que:

La fuerza eléctrica es conservativa

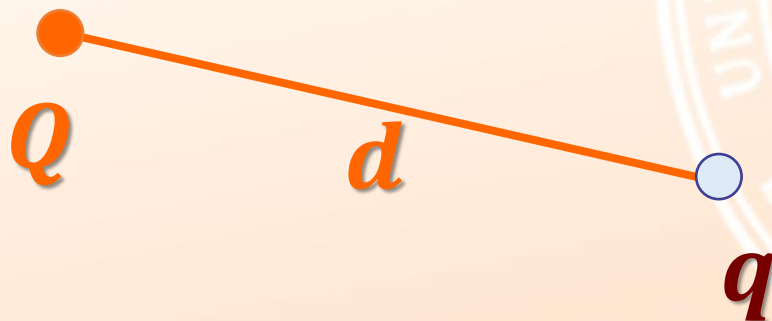
Recordemos que toda fuerza conservativa tiene asociada una energía potencial, la cual es, también, función de la posición.

Así, el trabajo de la fuerza eléctrica cuando una carga se mueve desde la posición “A” hasta la posición “B” esta dado por:

$$W_{A \rightarrow B}^{F_E} = -\Delta U_{E_{AB}} = U_{E_A} - U_{E_B}$$

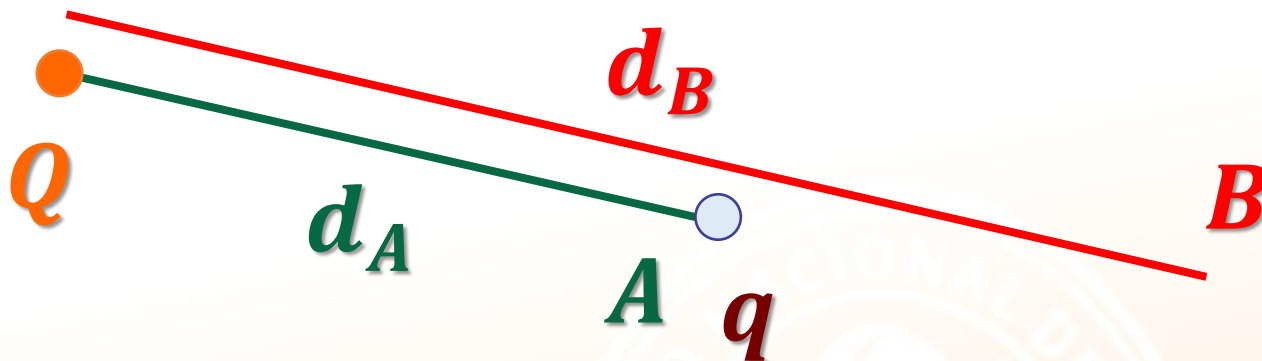
Donde U_{E_A} es la energía potencial eléctrica en “A” y U_{E_B} es la energía potencial eléctrica en “B”

Para cargas puntuales y tomando como nivel de referencia el infinito:



$$U_E = K_E \frac{Qq}{d}$$

Recordemos que al calcular el trabajo sobre un cuerpo, este debe moverse.



$$W_{A \rightarrow B}^{FE} = U_{EA} - U_{EB} = K_E \frac{Qq}{d_A} - K_E \frac{Qq}{d_B} = q \left(K_E \frac{Q}{d_A} - K_E \frac{Q}{d_B} \right)$$

El trabajo de la fuerza eléctrica depende de la carga q que se mueve y de la diferencia de dos cantidades, cada una de las cuales depende de la carga Q que interactúa con la carga q en movimiento y de la distancia entre dichas cargas.

Al evaluar el trabajo sobre distintas cargas que se trasladan entre las mismas posiciones, vemos que la razón entre el trabajo sobre la carga que se mueve y dicha carga es constante.

Definimos la diferencia de potencial eléctrico $V_A - V_B$ como la razón entre el trabajo de la fuerza eléctrica entre los puntos A y B y la carga q que se mueve entre dichos puntos.

$$V_A - V_B = \frac{W_{A \rightarrow B}^{F_E}}{q} = \frac{U_{E_A} - U_{E_B}}{q}$$

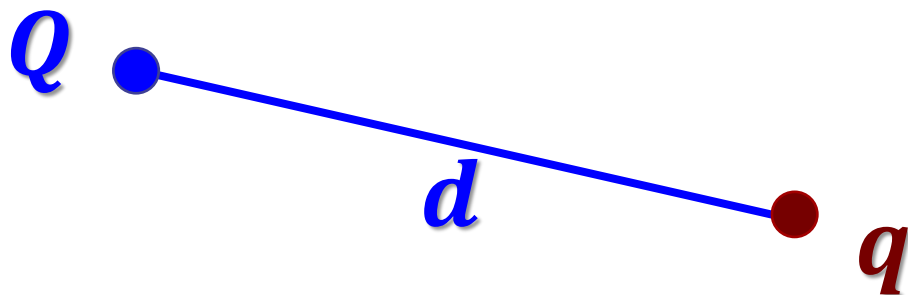
Y en cada punto del espacio definimos

Potencial
eléctrico

$$V = \frac{U_E}{q}$$

Unidad S.I. : volt (V)
1V = 1 $\frac{J}{C}$

Para cargas puntuales:



En la posición de q respecto de Q .

$$V = \frac{U_E}{q} = \frac{K_E \frac{Qq}{d}}{q} = K_E \frac{Q}{d}$$

Al igual que el campo eléctrico, el potencial eléctrico también obedece el principio de superposición, de modo que el potencial en un punto del espacio sería la suma de los potenciales debido a presencia de cargas en inmediaciones de dicho punto.

$$V_A = \frac{U_{E_A}}{q} \rightarrow U_{E_A} = qV_A$$

$$V_B = \frac{U_{E_B}}{q} \rightarrow U_{E_B} = qV_B$$

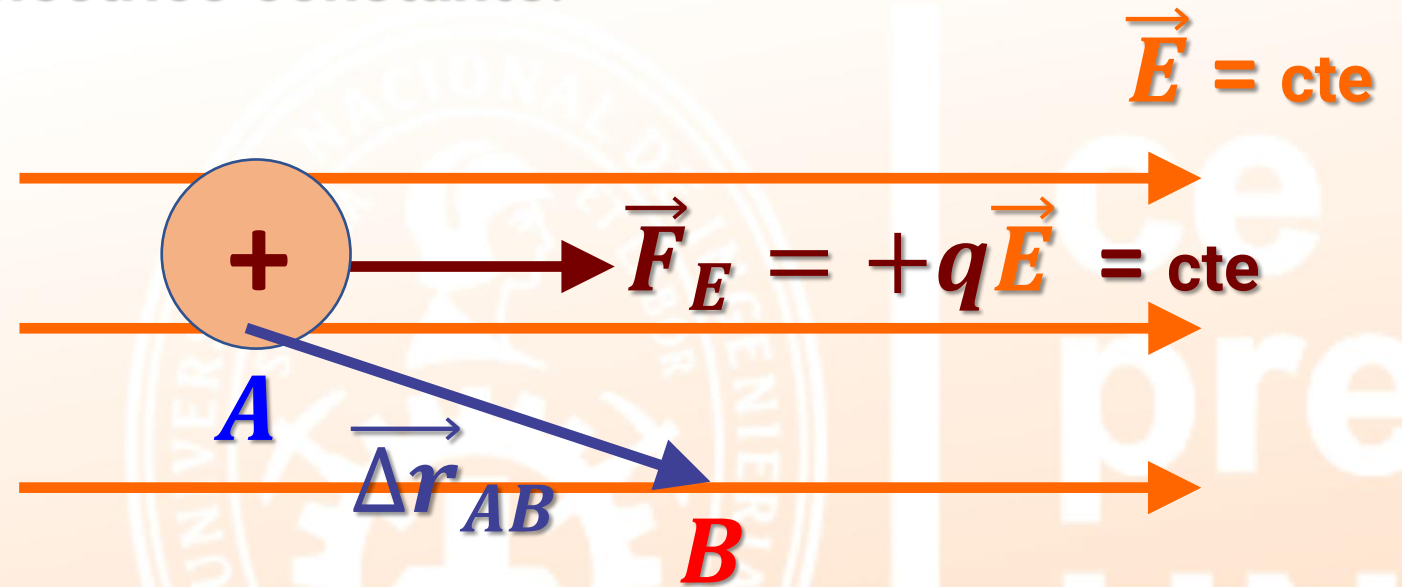
En general

$$W_{A \rightarrow B}^{F_E} = U_{E_A} - U_{E_B} = q(V_A - V_B)$$

RELACIÓN ENTRE EL CAMPO Y EL POTENCIAL ELÉCTRICO

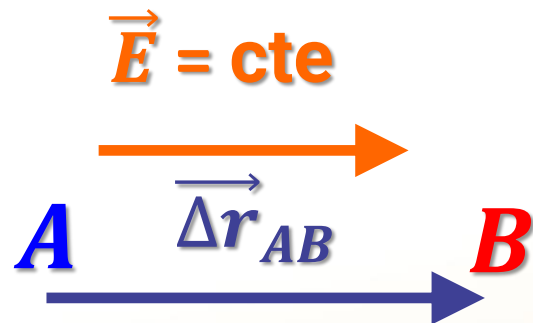
Analicemos el trabajo de la fuerza eléctrica sobre una carga cuando esta ingresa a un campo eléctrico constante.

Si la carga que se mueve dentro del campo es $+q$



$$W_{A \rightarrow B}^{FE} = +q (V_A - V_B) = \vec{F}_E \cdot \vec{\Delta r}_{AB} = +q \vec{E} \cdot \vec{\Delta r}_{AB}$$

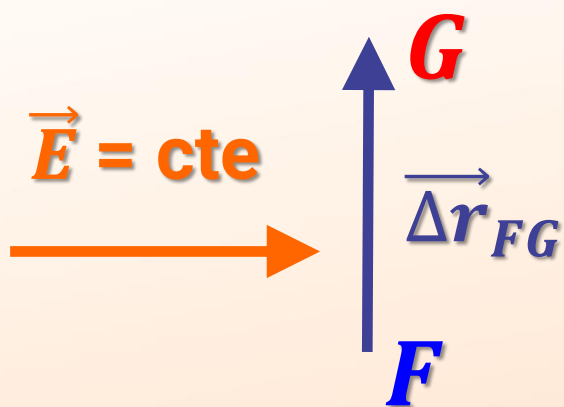
$$W_{A \rightarrow B}^{FE} = +q (V_A - V_B) = +q \vec{E} \cdot \vec{\Delta r}_{AB} \Rightarrow \boxed{V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{\Delta r}_{AB}}$$



$$V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{\Delta r}_{AB} = \underbrace{|\vec{E}| |\vec{\Delta r}_{AB}| \cos 0^\circ}_{\text{Positivo}}$$

$$\Rightarrow V_A > V_B$$

En la orientación del campo eléctrico, disminuye el potencial eléctrico

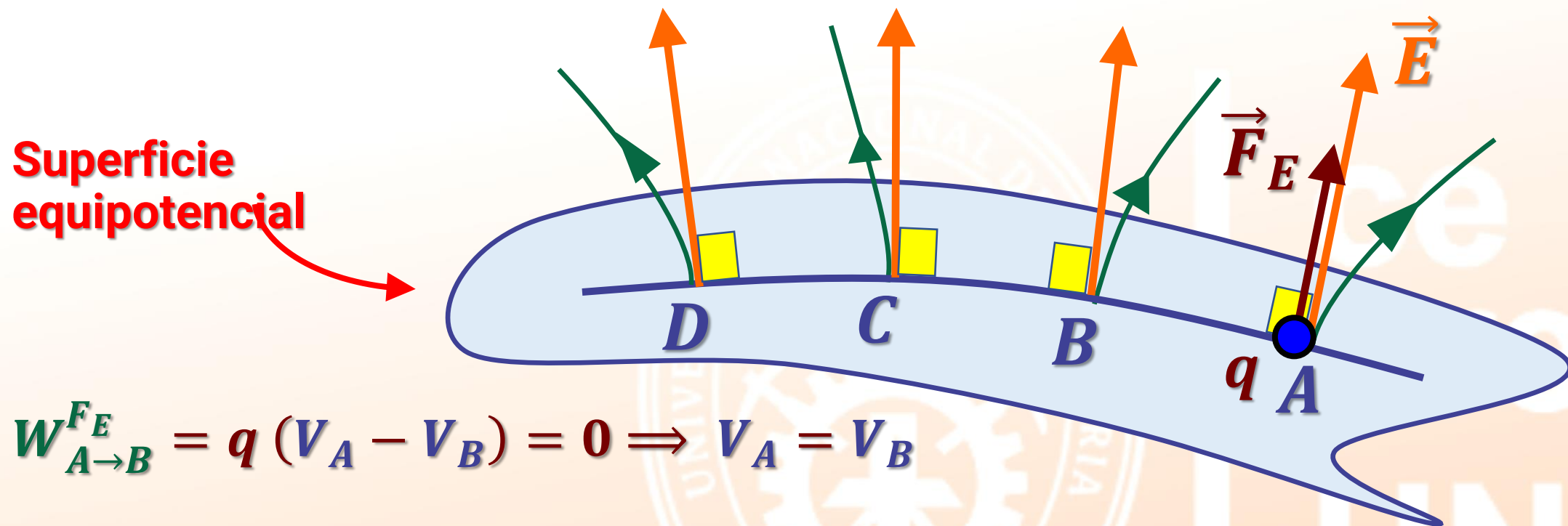


$$V_F - V_G = \vec{E} \cdot \vec{\Delta r}_{FG} = \underbrace{|\vec{E}| |\vec{\Delta r}_{FG}| \cos 90^\circ}_{\text{Cero}}$$

$$\Rightarrow V_F = V_G$$

En la orientación perpendicular al campo eléctrico, el potencial eléctrico se mantiene constante

A partir del último resultado, si el campo eléctrico resulta ser perpendicular a una superficie, el trabajo de la fuerza eléctrica sobre una carga que se mueve a lo largo de cualquier trayectoria sobre dicha superficie siempre será cero.



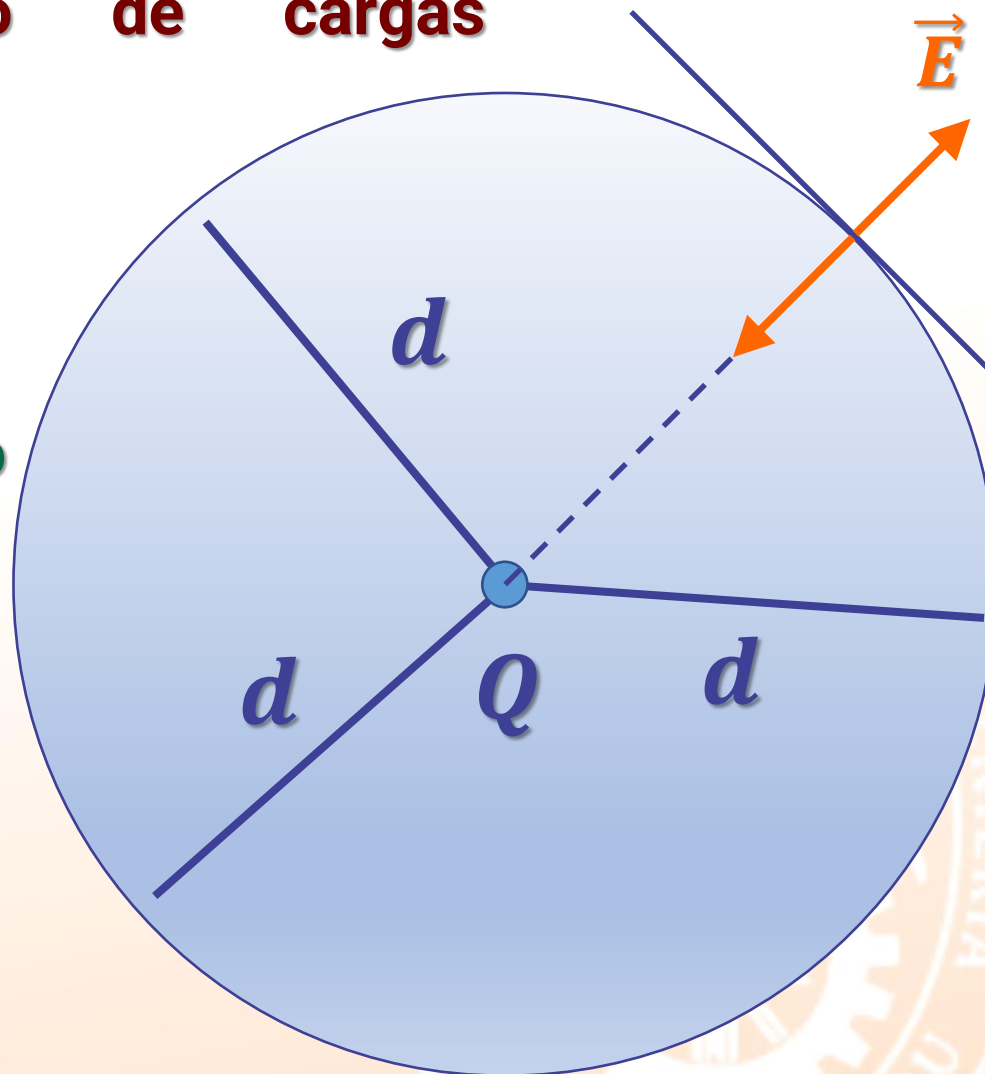
$$W_{A \rightarrow B}^{F_E} = q (V_A - V_B) = 0 \Rightarrow V_A = V_B$$

Como el trabajo será cero entre cualquier par de puntos

$$\Rightarrow V_A = V_B = V_C = V_D$$

En el caso de cargas puntuales:

Cascarón esférico equipotencial



El campo es radial, la cual es la orientación normal a la superficie

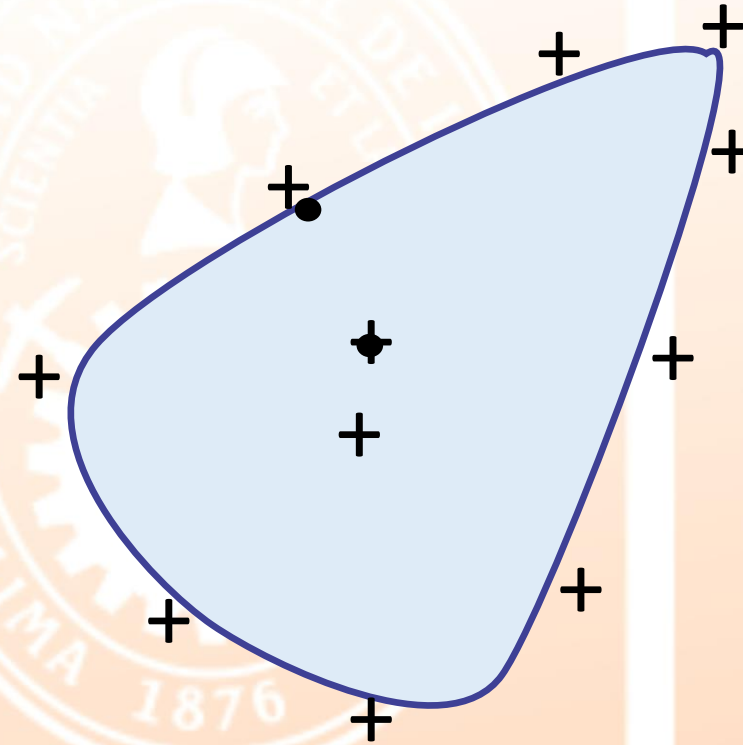
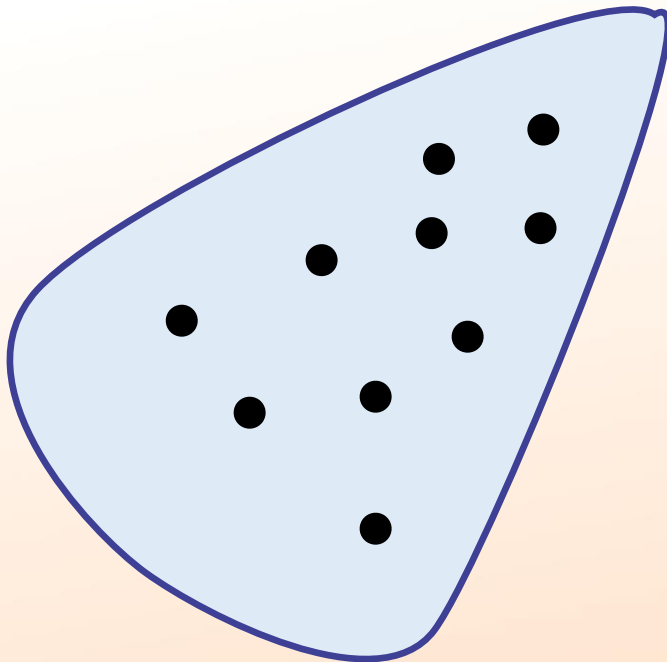
En esta posición $V = K_E \frac{Q}{d}$

Todos los puntos equidistantes de la carga puntual Q están al mismo potencial

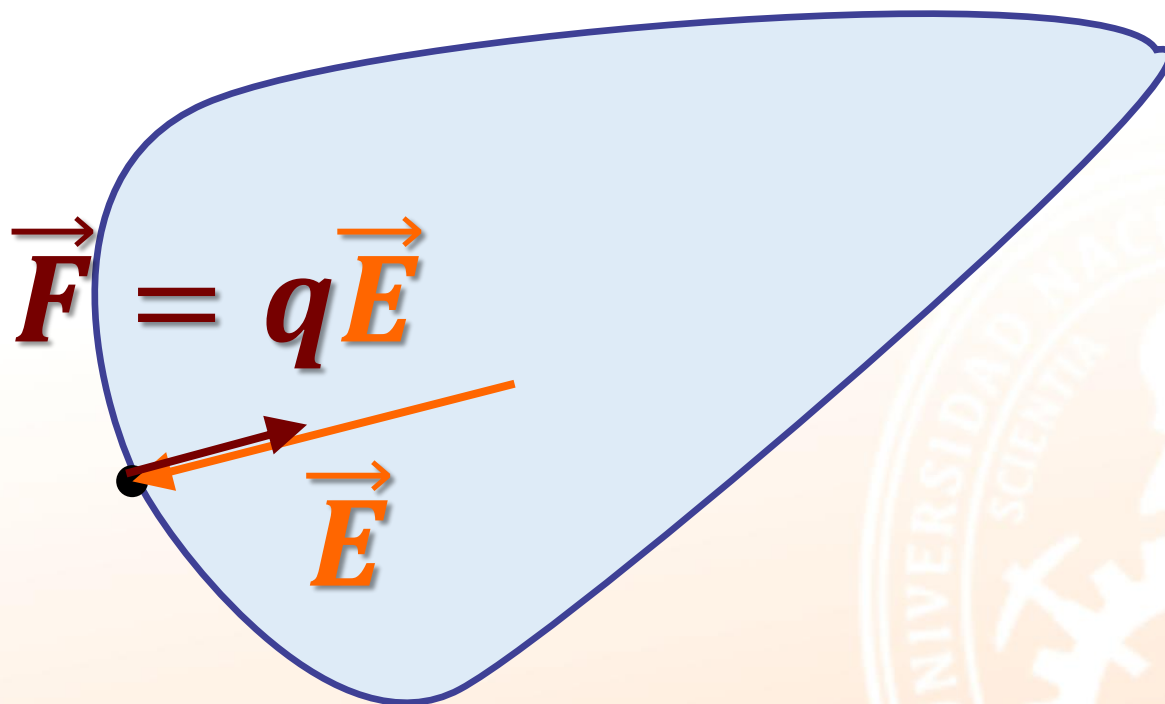
Conductores en Equilibrio Electrostatico

Cuando culmina el proceso de carga de un cuerpo, este ya no gana ni pierde más electrones. Por ello se infiere que la carga adquirida queda en reposo.

1. Todo exceso o defecto de electrones reside íntegramente en la superficie del conductor.



2. El campo eléctrico en el interior del material conductor es nulo.

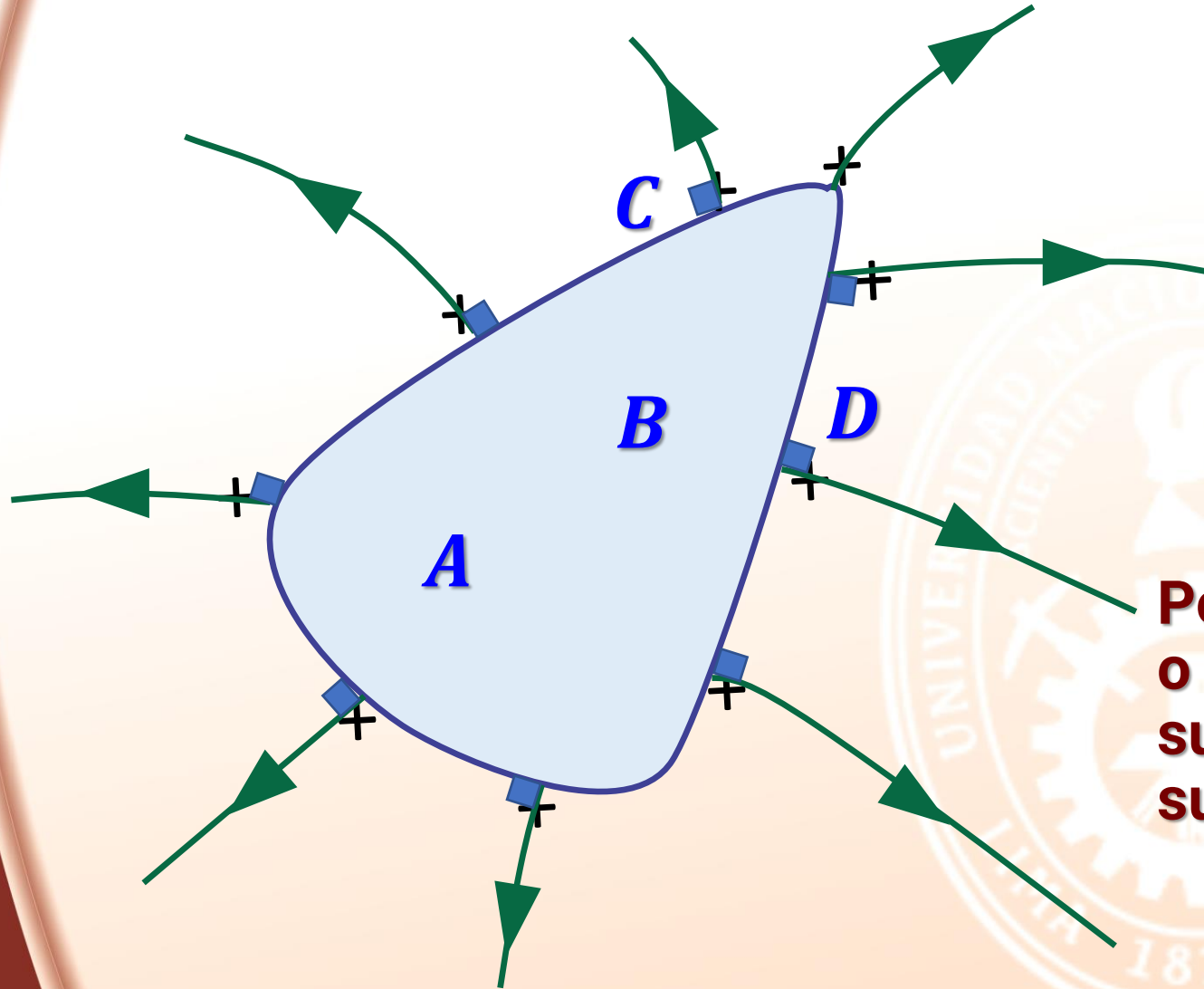


Mientras se carga, debe estar en contacto con otro cuerpo.

Si hubiera campo eléctrico en el interior aún habría movimiento de cargas, y cambiaría la carga en este conductor, por lo que no estaría en equilibrio electrostático.

Sin embargo, desde la superficie hacia el exterior, si hay campo eléctrico pues la carga se distribuye en la superficie.

3. La superficie y el volumen del material conductor es equipotencial.



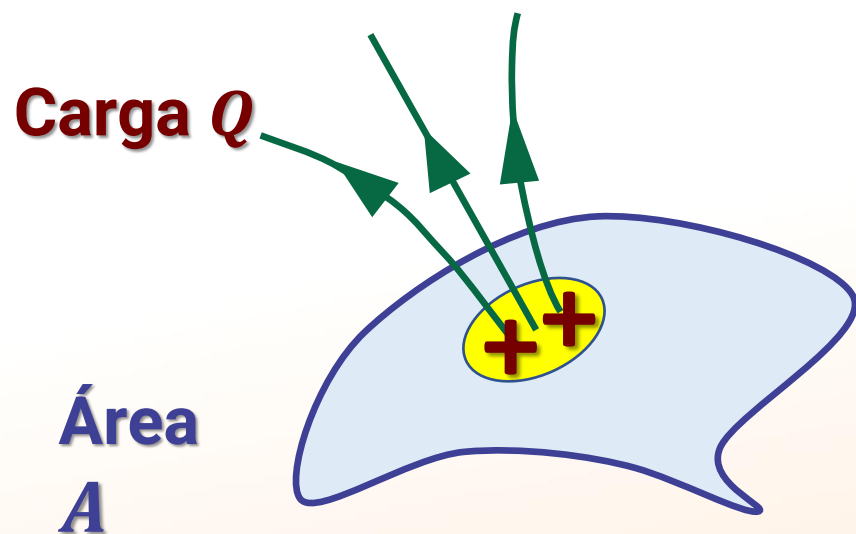
$$V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{\Delta r}_{AB}$$

Pero en el interior, $\vec{E} = \vec{0}$

$$\Rightarrow V_A = V_B = V_C = V_D$$

Por ello el campo eléctrico sale o entra perpendicularmente a la superficie, dada que es una superficie equipotencial.

4. La **carga distribuida en la superficie por unidad de área** es de mayor magnitud en regiones de menor radio de curvatura (es decir en forma de punta).



Densidad superficial de carga

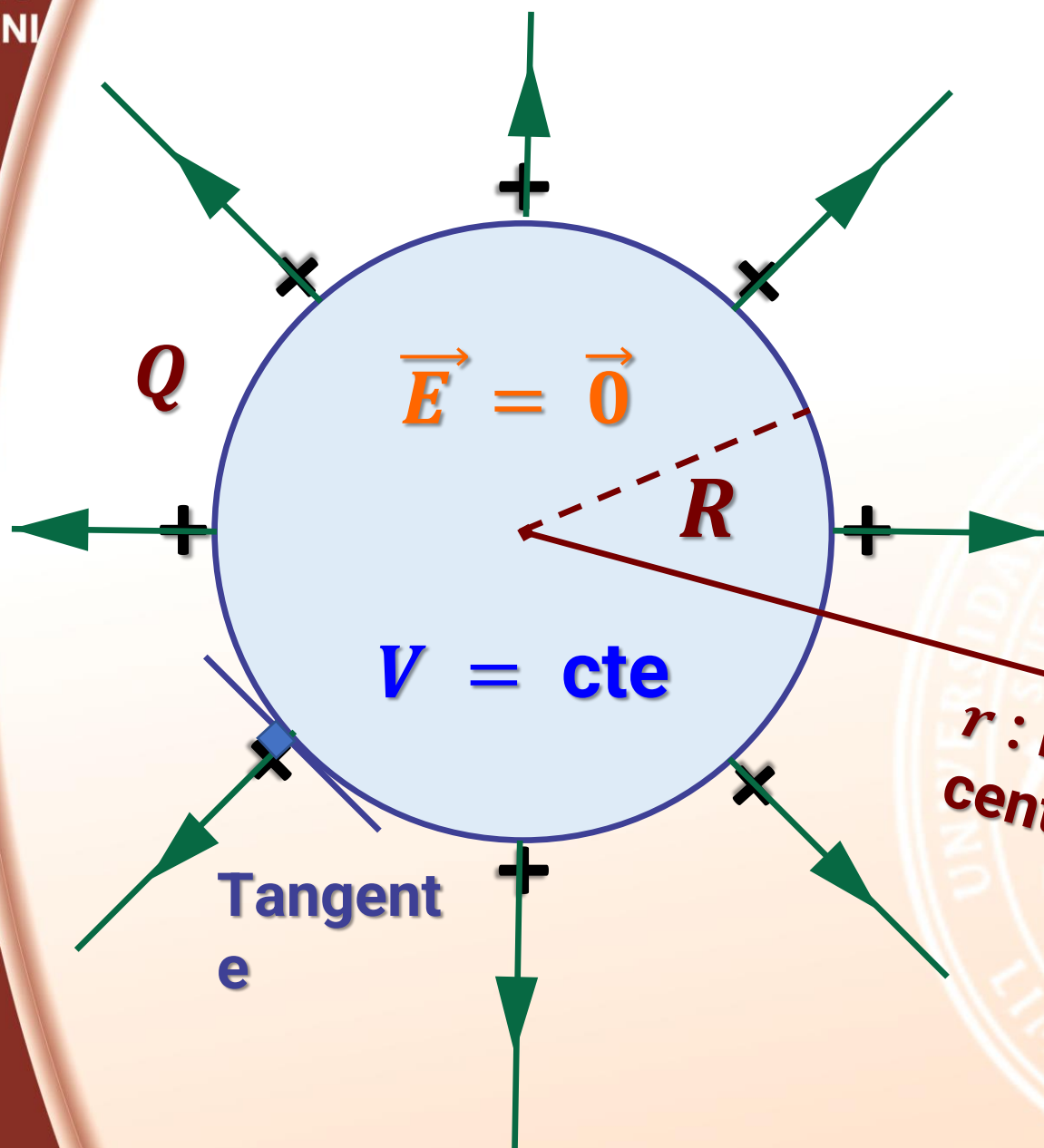
$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

Y la magnitud del campo eléctrico cerca al exterior de la superficie del material conductor es

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

Si la superficie tiene un radio de curvatura constante, entonces la densidad superficial de carga es constante y la magnitud del campo eléctrico en la superficie y fuera del conductor también es constante.

Por ejemplo, en una esfera o superficie cilíndrica $\sigma = \frac{Q}{A}$ es constante.

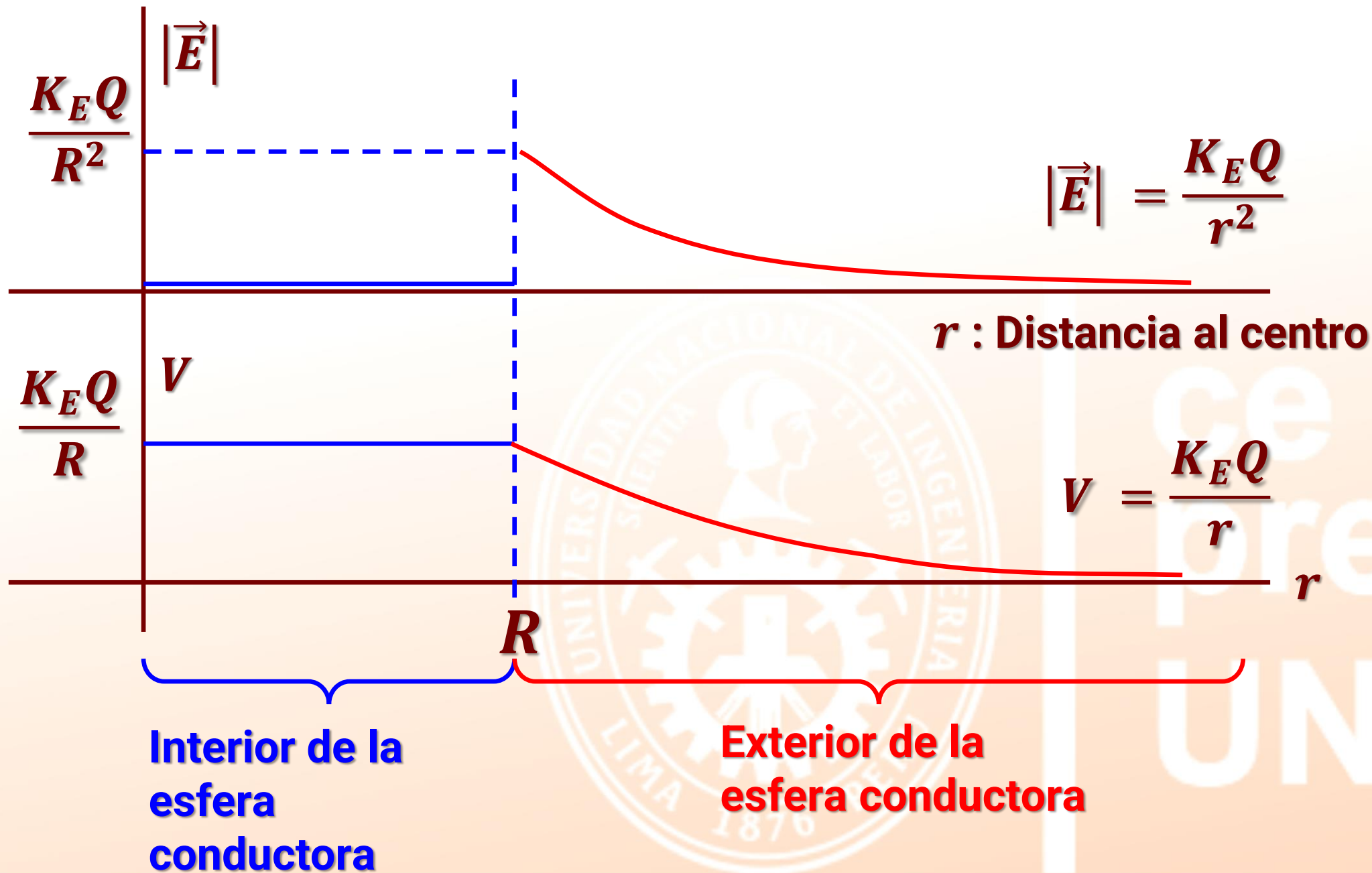


Las líneas de campo eléctrico son radiales en el exterior del conductor.

Cuando la distancia r es mucho mayor que el radio R , la esfera se puede considerar como carga puntual

$$|\vec{E}| = \frac{K_E Q}{r^2}$$

$$V = \frac{K_E Q}{r}$$



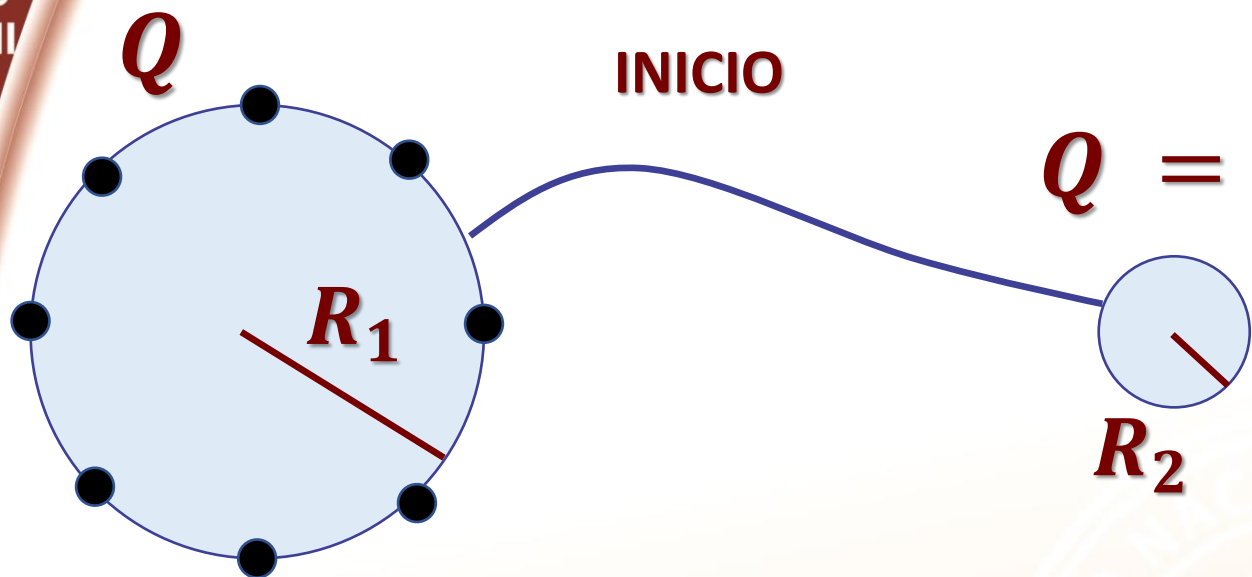
Así en una esfera conductora, el campo eléctrico en la superficie es radial en el exterior y su módulo es

$$|\vec{E}| = \frac{K_E Q}{R^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{1}{\epsilon_0} \times \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Donde σ es la densidad superficial de carga, que es la razón entre la carga y el área de la superficie donde se distribuye. Como Q y R son constantes, σ también es constante.

El potencial eléctrico dentro y en la superficie es constante e igual a:

$$V = \frac{K_E Q}{R} = \frac{K_E Q}{R} \times \frac{R}{R} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0}$$



$$Q_1 + Q_2 = Q$$

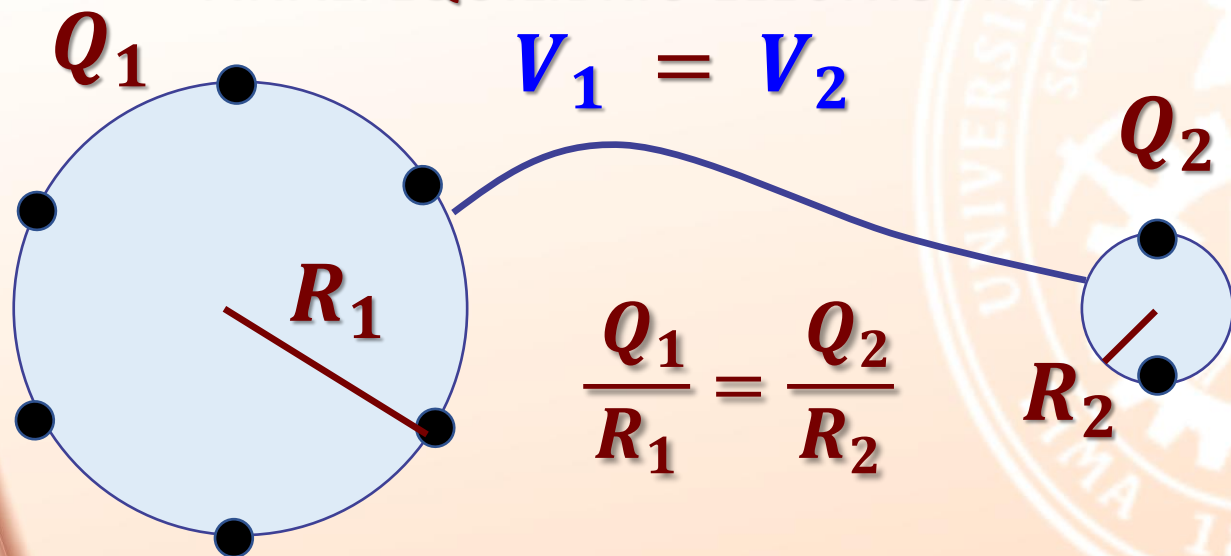
$$V_1 = V_2$$

$$\frac{K_E Q_1}{R_1} = \frac{K_E Q_2}{R_2}$$

$$\frac{\sigma_1 R_1}{\epsilon_0} = \frac{\sigma_2 R_2}{\epsilon_0}$$

$$\sigma_1 R_1 = \sigma_2 R_2$$

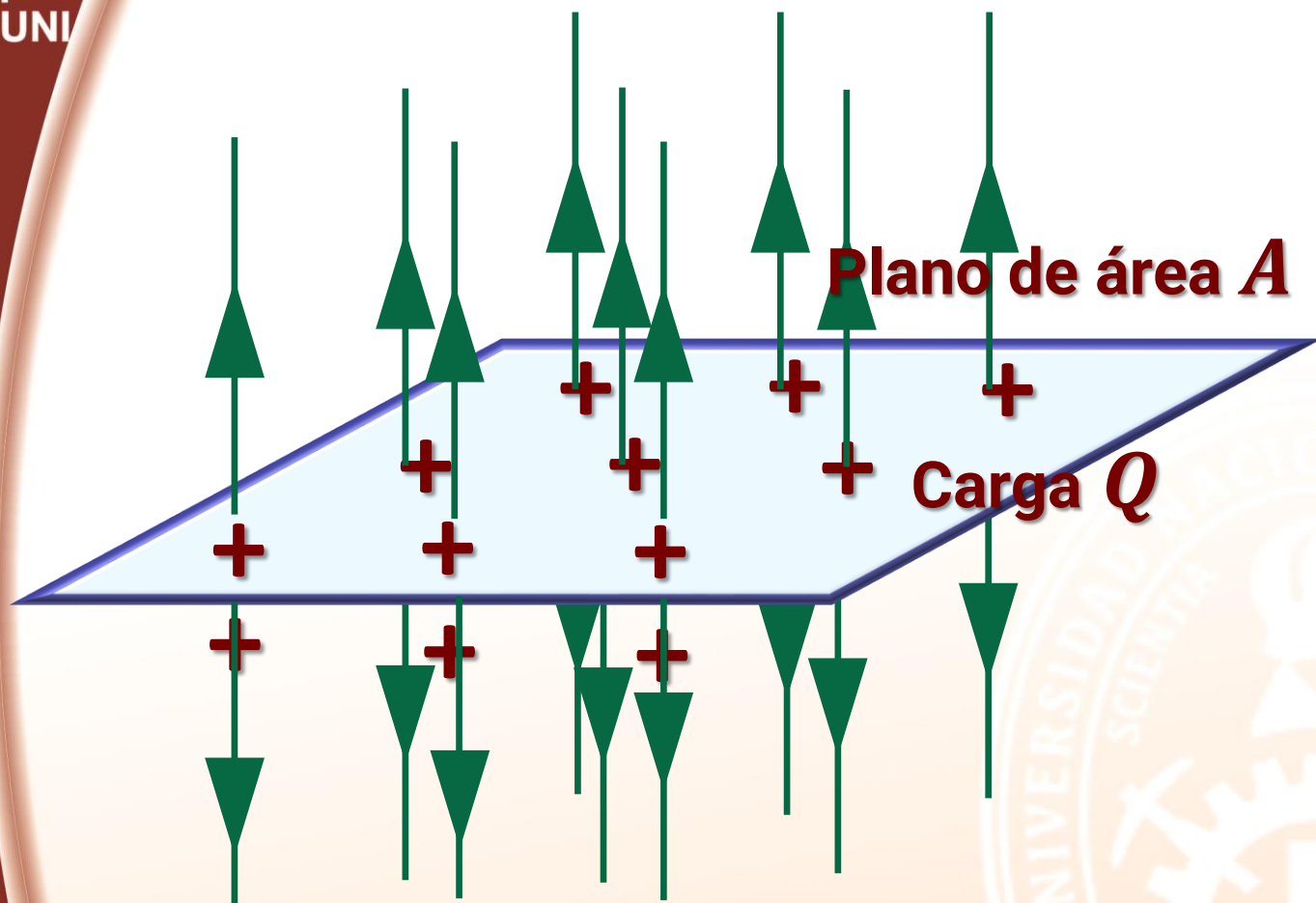
FINAL: EQUILIBRIO ELECTROSTÁTICO



$$V_1 = V_2$$

$$\frac{Q_1}{R_1} = \frac{Q_2}{R_2}$$

En superficies de menor radio de curvatura, la densidad superficial de carga es mayor.



Una superficie plana es parte de una esfera de gran radio. Cerca al exterior del conductor

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

El área donde se distribuye la carga es $2A$ (arriba y debajo)

$$\sigma = \frac{Q}{2A}$$

$$|\vec{E}| = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{2A\epsilon_0}$$

Este es el caso del campo eléctrico uniforme