04-ENERGÍA Y POTENCIAL ELÉCTRICO

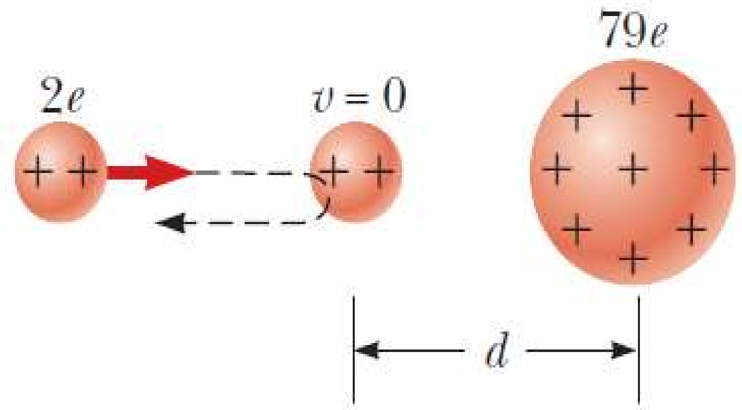
PREGUNTA RÁPIDA (QUICK QUIZ)

Si un electrón se libera desde el reposo en un campo eléctrico uniforme, ¿la energía potencial eléctrica del sistema carga-campo

a) aumenta,
b) disminuye o
c) permanece igual?

b) Disminuye

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.10



En el famoso experimento de dispersión de Rutherford, que condujo al modelo planetario del átomo, se dispararon partículas alfa (con cargas de 2*e* y masas de $6{,}64 \times 10^{-27}$ kg) hacia un núcleo de oro con carga +79*e*. Una partícula alfa, inicialmente muy lejos del núcleo de oro, se disparó a $2{,}00 \times 10^{7}$ m/s como en la figura. ¿Cuánto se acerca la partícula alfa al núcleo de oro antes de dar la vuelta? Suponga que el núcleo de oro permanece estacionario.

Voy a considerar que la energía del sistema se conserva.
La partícula alfa convertirá su energía cinética en energía potencial eléctrica, lo que determinará el máximo acercamiento al núcleo de oro.
Se supone que la energía potencial eléctrica inicial es nula (está muy alejado) y llega con energía cinética nula (máximo acercamiento).

$$K_{inicial} + U_{inicial} = K_{final} + U_{final}$$

$$K_{inicial} = U_{final}$$

EJEMPLO-Ejercicio 1.2.10

En el famoso experimento de dispersión de Rutherford, que condujo al modelo planetario del átomo, se dispararon partículas alfa (con cargas de 2*e* y masas de 6,64 $\times 10^{-27}$ kg) hacia un núcleo de oro con carga +79*e*. Una partícula alfa, inicialmente muy lejos del núcleo de oro, se disparó a 2,00 $\times 10^{7}$ m/s como en la figura. ¿Cuánto se acerca la partícula alfa al núcleo de oro antes de dar la vuelta? Suponga que el núcleo de oro permanece estacionario..

$$\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{1}{2} m v^2 \qquad r = \frac{q_1 q_2}{2\pi\varepsilon_0 m v^2} = \frac{(2e)(79e)}{2\pi\varepsilon_0 m v^2} = \frac{79e^2}{\pi\varepsilon_0 m v^2}$$

$$r = \frac{79e^2}{\pi\varepsilon_0 m v^2} = \frac{79(1{,}602\times10^{-19})^2}{\pi(8{,}854\times10^{-12})(6{,}64\times10^{-27})(2{,}00\times10^{7})^2} =$$

$$r = \frac{79e^2}{\pi\varepsilon_0 m v^2} = 2{,}74\times10^{-14}\ \text{m}$$

POTENCIAL ELÉCTRICO

El **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)**

1V= 1J/C

en honor del científico italiano y experimentador eléctrico Alejandro Volta (1745-1827), y es igual a 1 joule por coulomb:

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).*

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

La diferencia V_a - V_b *se llama potencial de a con respecto a b;* se abrevia como $V_{ab} = V_a - V_b$

Con frecuencia, se denomina **diferencia de potencial entre *a y b*** *o* **voltaje**

Vab, potencial de a con respecto a b, es igual al trabajo realizado* por la fuerza eléctrica cuando una unidad de carga se desplaza de *a a b.

El instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos puntos se llama *voltímetro.*

POTENCIAL ELÉCTRICO

Potencial eléctrico de una carga puntual:

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

r es la distancia de la carga puntual q al punto en que se evalúa el potencial.
Si q es positiva, el potencial que produce es positivo en todos los puntos; si q es negativa, produce un potencial negativo en todo lugar.
V es igual a cero en *r* =∞*, una distancia infinita de la carga puntual.*

Potencial debido a un conjunto de cargas puntuales

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

Si tenemos una distribución continua de carga a lo largo de una línea, sobre una superficie o a través de un volumen, se divide la carga en elementos *dq, y* la suma en la ecuación anterior se convierte en una integral:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r}$$

r es la distancia que hay entre el elemento con carga dq y el punto del campo donde se desea calcular *V.*
El potencial en estas ecuaciones es igual a cero en puntos que están infinitamente lejos de *todas las cargas.*

POTENCIAL ELÉCTRICO

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:

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

Si supongo que el punto A está muy alejado (en el infinito) y la distribución de carga es finita $\Rightarrow V_A = 0$

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.

$$U_P = W^{EXT}_{\infty-P}$$

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

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

SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES

Superficies con igual *potencial eléctrico* en todos los puntos.

Si una carga q_0 *se desplaza de un punto a otro sobre una* superficie equipotencial, su energía potencial *eléctrica* q_0V *permanece constante.*

Ningún punto puede tener dos potenciales diferentes, por lo que las superficies equipotenciales de distintos potenciales nunca se tocan o intersecan.

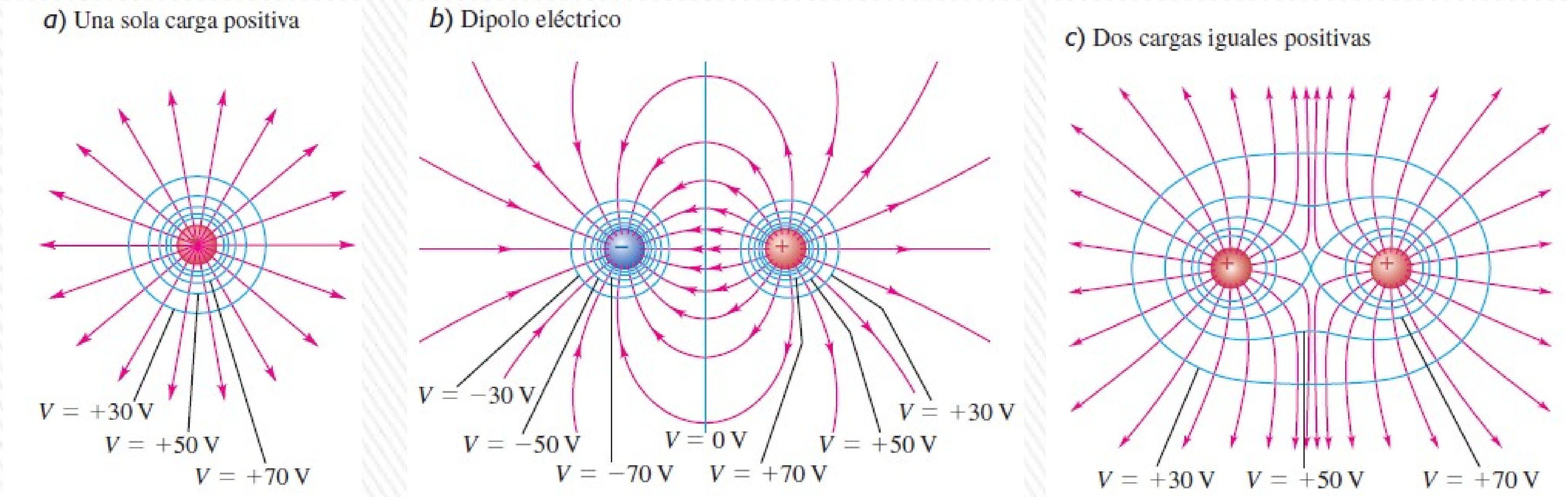
Como la energía potencial no cambia a medida que una carga de prueba se mueve sobre una superficie equipotencial, el campo eléctrico no realiza trabajo sobre esa carga, por lo que debe ser perpendicular a la superficie en cada punto, de manera que la fuerza eléctrica q_0 *siempre es perpendicular al desplazamiento de una carga que se mueve sobre la superficie*.

Por lo tanto:

Las líneas de campo y las superficies equipotenciales siempre son perpendiculares entre sí.

SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES

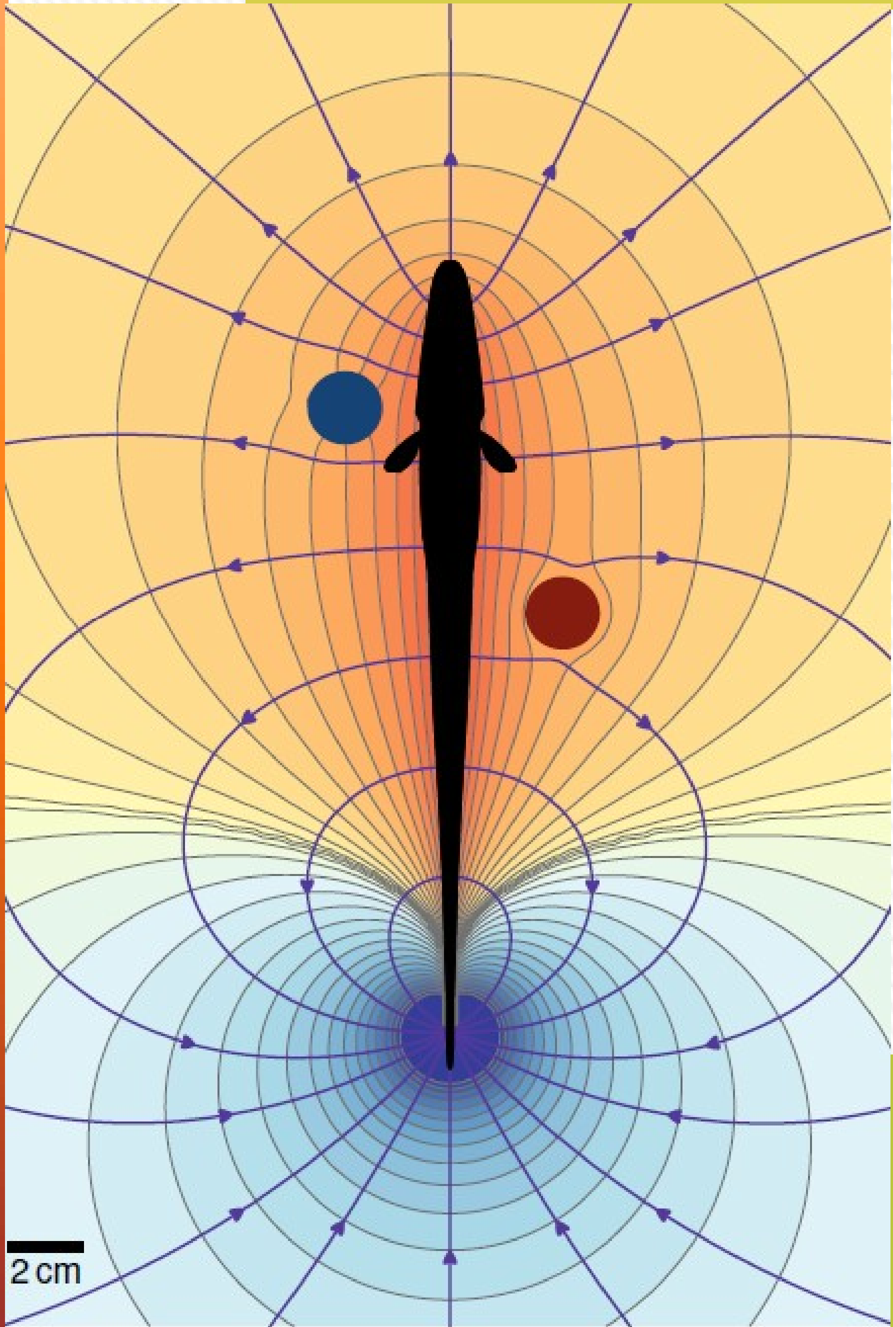
Secciones transversales de superficies equipotenciales (líneas azules) y líneas de campo eléctricas (líneas rojas) para diferentes arreglos de cargas puntuales.
Las diferencias de potencial son iguales entre superficies adyacentes.

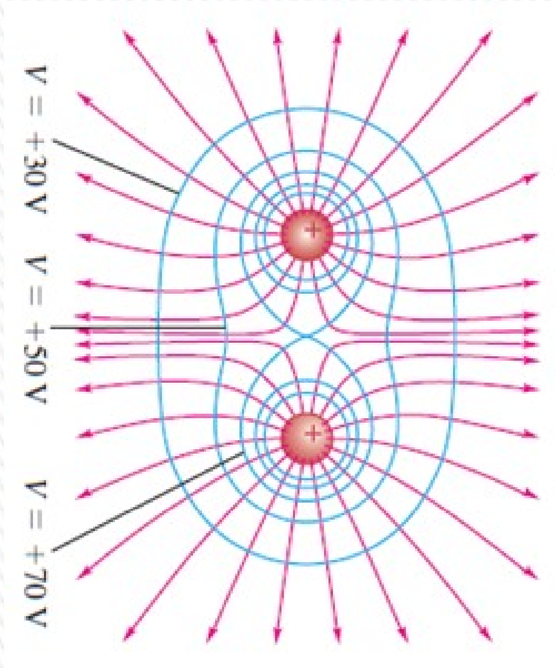


Las superficies equipotenciales reales son tridimensionales.

En cada cruce de una línea equipotencial con una línea de campo, las dos son perpendiculares.

SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES





Perturbaciones de campo eléctrico que genera un pez gimnoto .
En azul un objeto aislante y en rojo uno conductor.

Cálculo del potencial eléctrico a partir del campo eléctrico

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

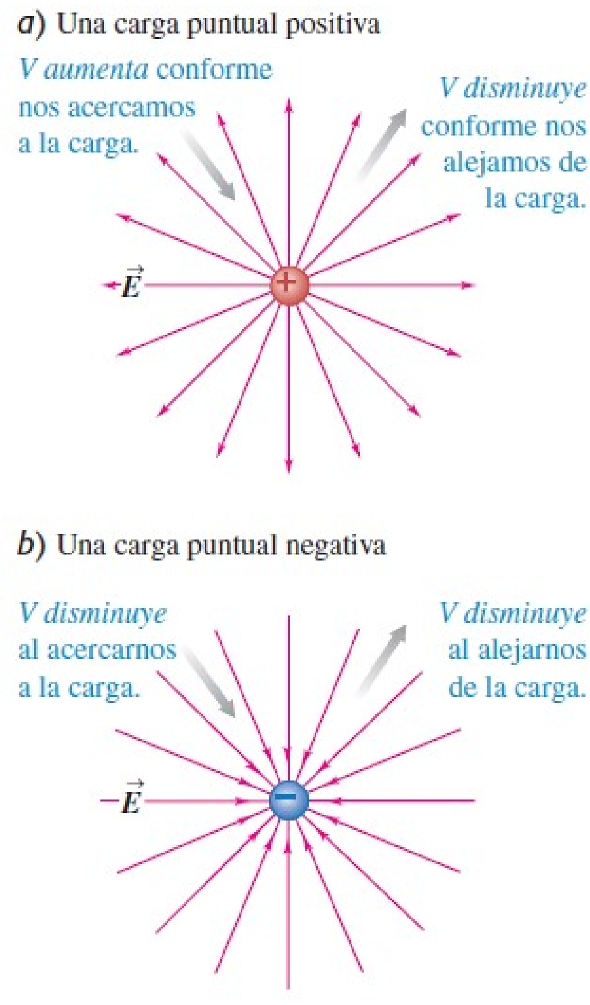
$$W_{a\to b} = \int_a^b \overline{\boldsymbol{F}} \cdot d\overline{\boldsymbol{l}} = \int_a^b q_0 \overline{\mathbf{E}} \cdot d\overline{\boldsymbol{l}}$$

dividiendo entre q_0 *se obtiene:*

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

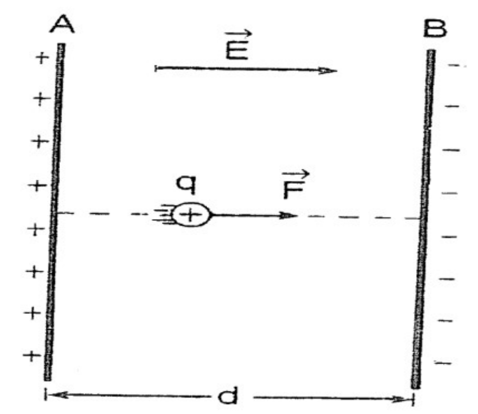
El valor de V_a - V_b *es independiente de la trayectoria seguida de a a b, del mismo* modo que el valor de $W_{a\to b}$ *es independiente de la trayectoria.*

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: $V_B - V_A = -\int_A^B \bar{\boldsymbol{E}}.d\bar{\boldsymbol{s}}$



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

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

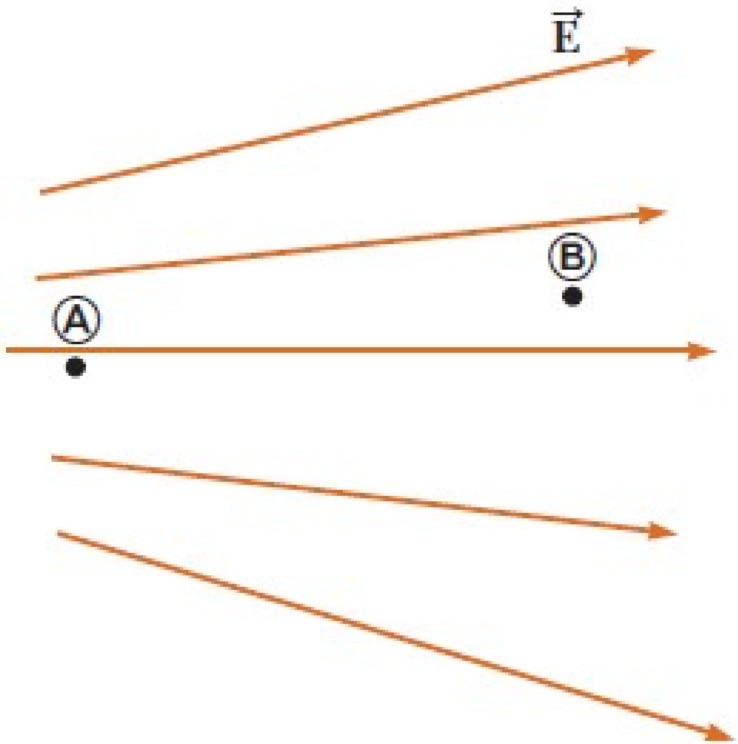
$$|\Delta V| = E.d$$

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.*

PREGUNTA RÁPIDA (QUICK QUIZ)



En la figura, dos puntos A y B, se ubican dentro de una región en la que hay un campo eléctrico.

¿Cómo describiría la diferencia de potencial $\Delta V = V_B - V_A$?

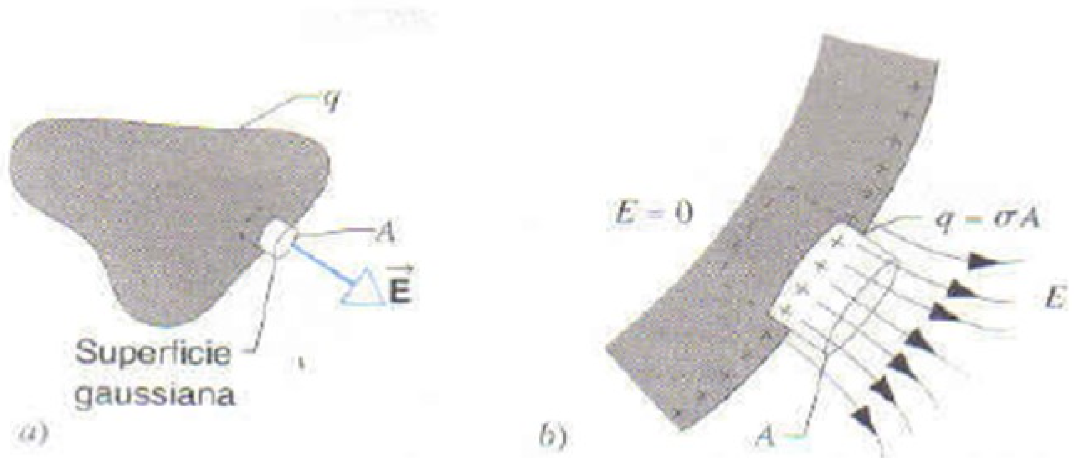
a) Positiva.
b) Cero.
c) Negativa.

Respuesta: Negativa. $\Delta V < 0$ pues $V_B < V_A$. El campo eléctrico indica la dirección hacia donde decrecen las equipotenciales.

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.



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

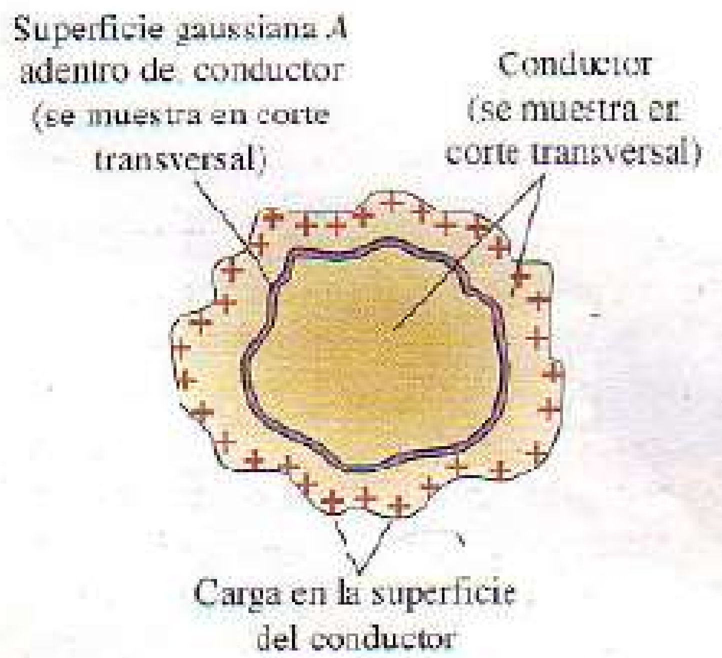
4.-El volumen completo de un conductor sólido tiene el mismo potencial (es decir es un equipotencial).
5. En un conductor de forma irregular, la densidad de carga superficial es máxima en aquellos puntos donde el radio de curvatura de la superficie es el menor.

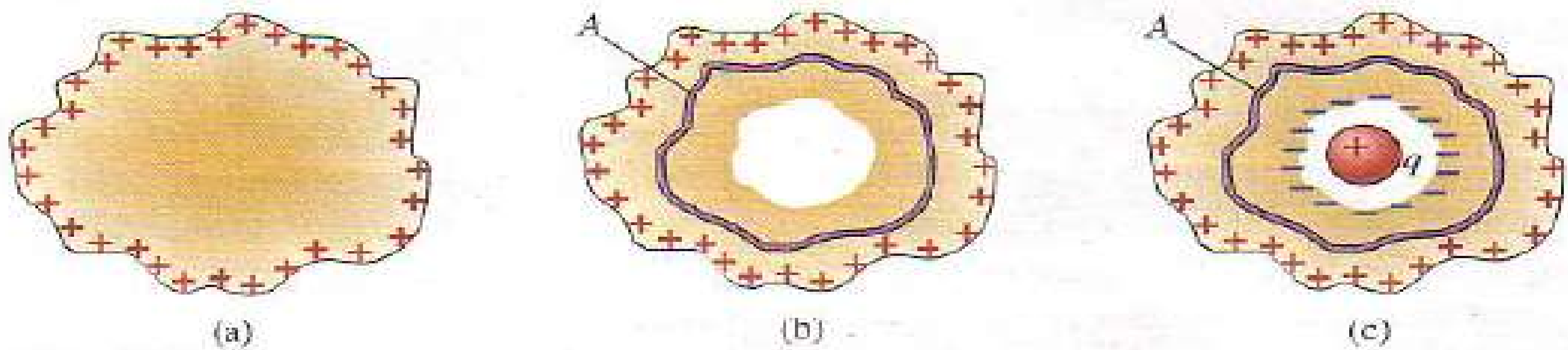
Conductor: campo eléctrico y distribución de carga

En **condiciones electrostáticas**, el campo eléctrico en el interior de un conductor es nulo.

¿Por qué? Porque si no fuese nulo, los portadores de carga del conductor se moverían y no estaríamos en condiciones electrostáticas!!!!

En condiciones electrostáticas, todo exceso de carga en un conductor sólido reside en si totalidad en la superficie del conductor.



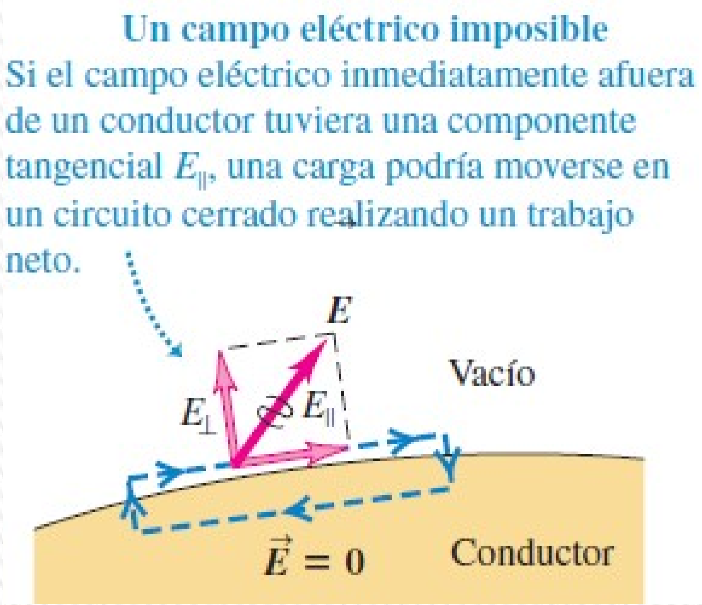


22.24 (a) En un conductor sólido la carga reside en su totalidad en la superficie externa. (b) Si no hay carga en el interior de la cavidad del conductor, la carga neta en la superficie de la cavidad es cero. (c) Si hay una carga q adentro de la cavidad, la carga total en la superficie de la cavidad es $-q$.

EQUIPOTENCIALES Y CONDUCTORES

Cuando todas las cargas están en reposo (condición electrostática), la superficie de un conductor siempre es una superficie equipotencial.

Como el campo eléctrico siempre es perpendicular a una superficie equipotencial, el enunciado se puede demostrar si se prueba que **cuando todas las cargas están en reposo, el campo eléctrico justo afuera de un conductor debe ser perpendicular a la superficie en cada punto.**



En todos los puntos de la superficie de un conductor, el campo eléctrico debe ser perpendicular a la superficie.
Si tuviera una componente tangencial, se realizaría una cantidad neta de trabajo sobre una carga de prueba al moverla en una trayectoria como la que se ilustra, lo que es imposible porque la fuerza eléctrica es conservativa.

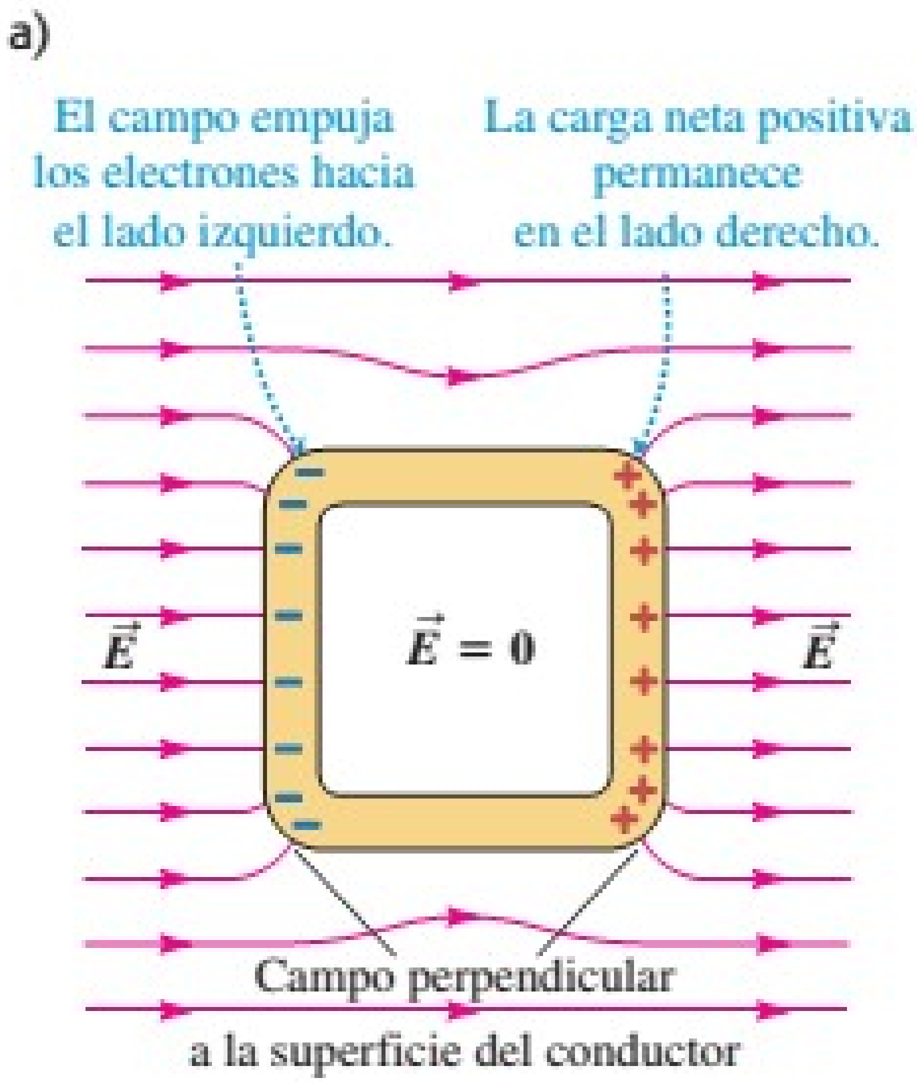
Como: $V_a - V_b = \int_a^b \bar{E} \cdot d\bar{l}$

y E=0 en el interior de un conductor, se concluye que:

Cuando todas las cargas están en reposo (condición electrostática), el volumen completo de un conductor sólido tiene el mismo potencial.

El volumen del conductor es un *volumen equipotencial*

JAULA DE FARADAY



Caja conductora (jaula de Faraday) inmersa en un campo eléctrico uniforme.
El campo de las cargas inducidas sobre la caja se combina con el campo uniforme para dar un campo total igual a cero dentro de la caja.

Experimento rápido:
Prueba recubrir completamente un celular con papel aluminio…formarás una jaula de Faraday que lo recubre…
verás que el celular deja de funcionar!

PREGUNTA RÁPIDA (QUICK QUIZ)

Una esfera de cobre tiene una carga de $Q = 2{,}00 \times 10^{-6}$ 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 (QUICK QUIZ)

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.

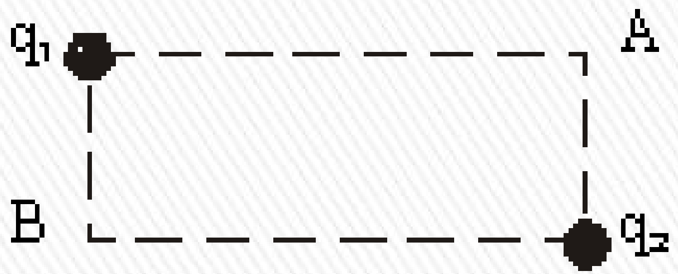
E) toda la carga se disipa.

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:

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

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

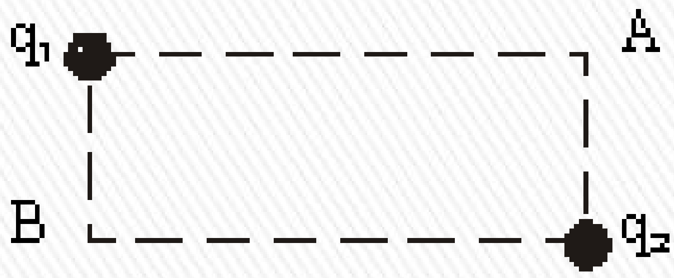
$$V_A = (8,988\times 10^9)\left(\frac{-5,00\times 10^{-6}}{0,150} + \frac{2,00\times 10^{-6}}{0,0500}\right) =$$ **59.920 V**

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