

Curso 2023/24



# FUNDAMENTOS FÍSICOS INGENIERÍA

## GRADO EN INGENIERÍA IA



# *TEMA 7. CAMPO ELÉCTRICO Y CORRIENTE ELÉCTRICA.*

## *(Parte 3)*

José L. Galán

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal  
Universidad de Alicante

## Tema 7.3 POTENCIAL ELÉCTRICO

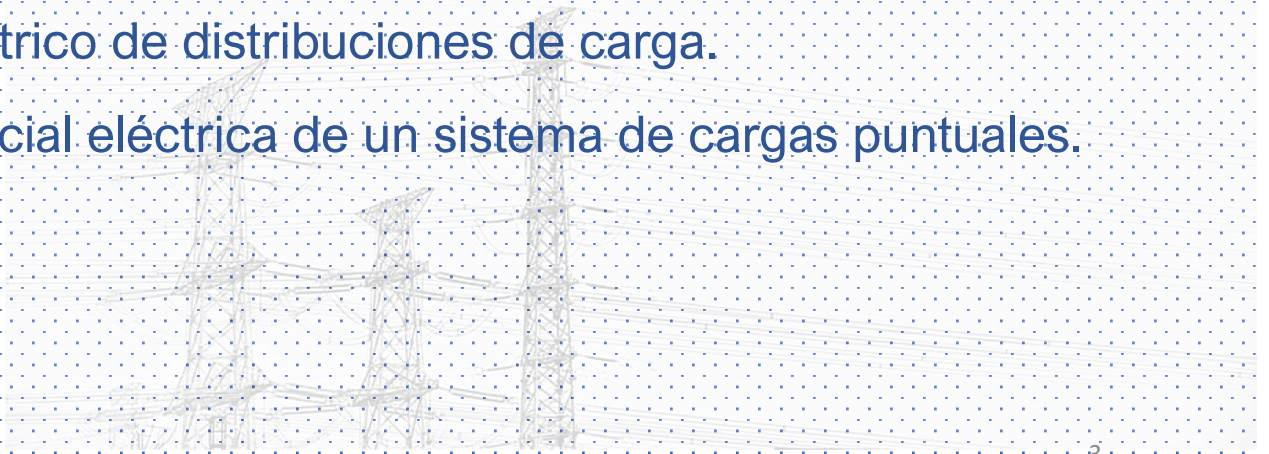
### Bibliografía

- **Sears y Zemansky Física universitaria con física moderna.** Young, Hugh D. México: Pearson education, 2018. *ISBN*: 9786073221252 (v.1), 978-607-32-4440-4 (v.2)
- **Física para ciencias e ingeniería.** Serway, Raymond A. México : Cengage Learning, 2016. *ISBN*: 9786075192000 (v.1)/ 978-607-519-199-7 (v.2)
- **Física para la ciencia y la tecnología.** Tipler, Paul A.; Ramon Planas, Albert; Mosca, Gene. Barcelona: Reverté, 2010. *ISBN*: 978-84-291-4428-4 (o.c.)
- **Introducción al análisis de errores: el estudio de las incertidumbres en las mediciones física.** Taylor, John R. Barcelona : Reverté, 2014 *ISBN*: 978-84-291-5184-8

### Contenidos

#### 7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

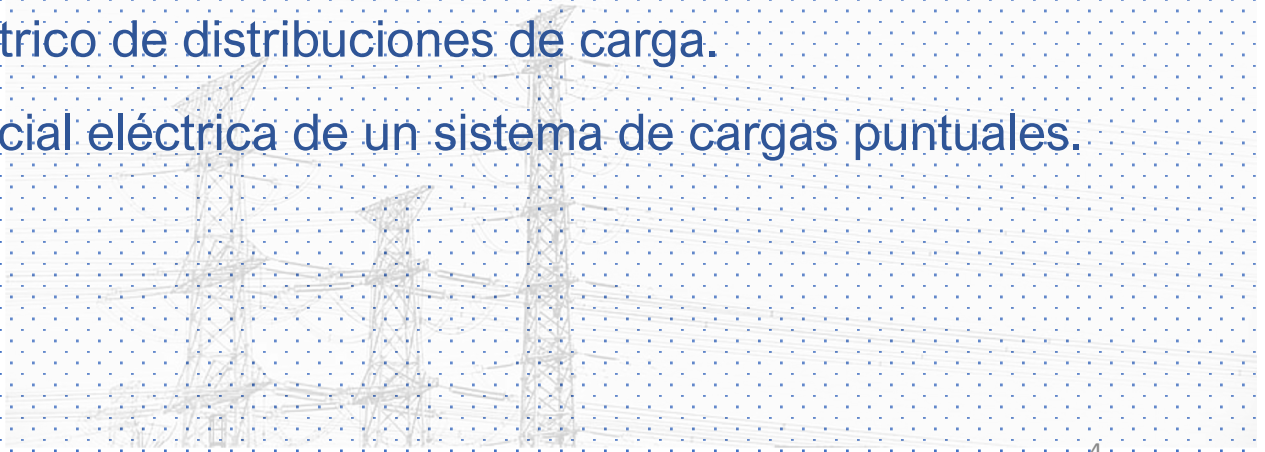
- 7.3.1. Energía potencial eléctrica.
- 7.3.2. Definición de potencial eléctrico.
- 7.3.3. Superficies equipotenciales.
- 7.3.4. Potencial eléctrico de distribuciones de carga.
- 7.3.5. Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales.



### Contenidos

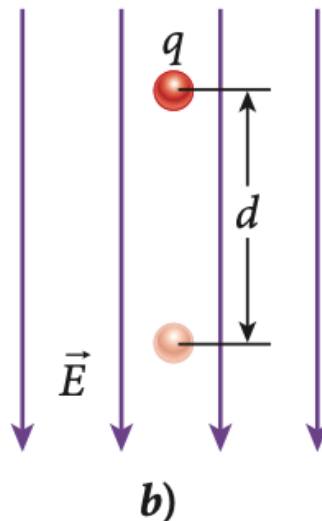
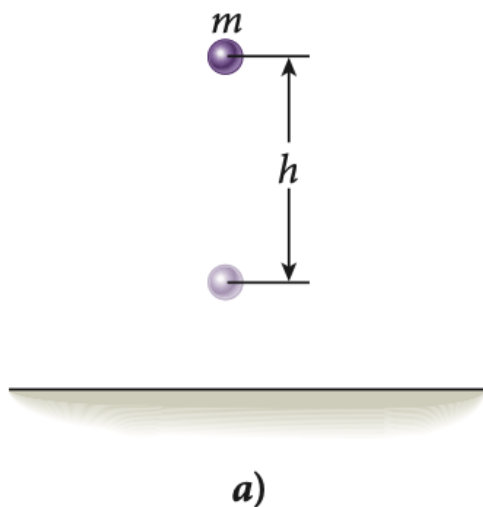
#### 7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

- **7.3.1. Energía potencial eléctrica.**
- 7.3.2. Definición de potencial eléctrico.
- 7.3.3. Superficies y líneas equipotenciales.
- 7.3.4. Potencial eléctrico de distribuciones de carga.
- 7.3.5. Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales.



## ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA.

- La energía potencial eléctrica ( $\Delta U$  ó  $E_p$ ) de una carga situada en una posición A equivale al trabajo realizado por una fuerza externa para trasladar dicha carga desde el infinito hasta dicha posición A, o dicho de otra forma, el opuesto del trabajo realizado por la fuerza eléctrica para llevarla desde el infinito hasta A.



$$\Delta U = U_f - U_i = -W_e,$$

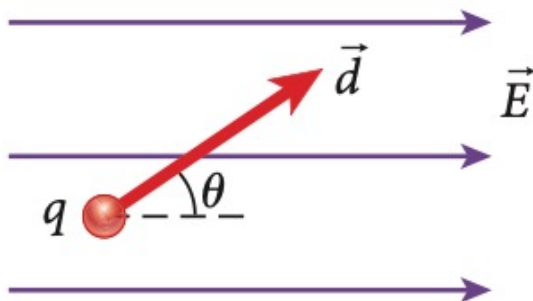
$$\Delta U = U_f - 0 = U,$$

$$U = -W_{e,\infty} \quad \text{Unidades (J)}$$

**ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA. Caso especial campo  $\mathbf{E}$  constante.**

- El trabajo  $W$  realizado por una fuerza constante  $\mathbf{F}$ :  $W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} = F \cdot \Delta r \cdot \cos \phi$
- En este caso la fuerza constante es creada por un campo eléctrico constante:  $\vec{F} = q\vec{E}$ .

$$W = q\vec{E} \cdot \vec{d} = qEd \cos \theta \quad \text{Unidades (J)}$$



- Si el desplazamiento es paralelo al campo eléctrico  $\mathbf{E}$ ,  $\theta=0^\circ$ :

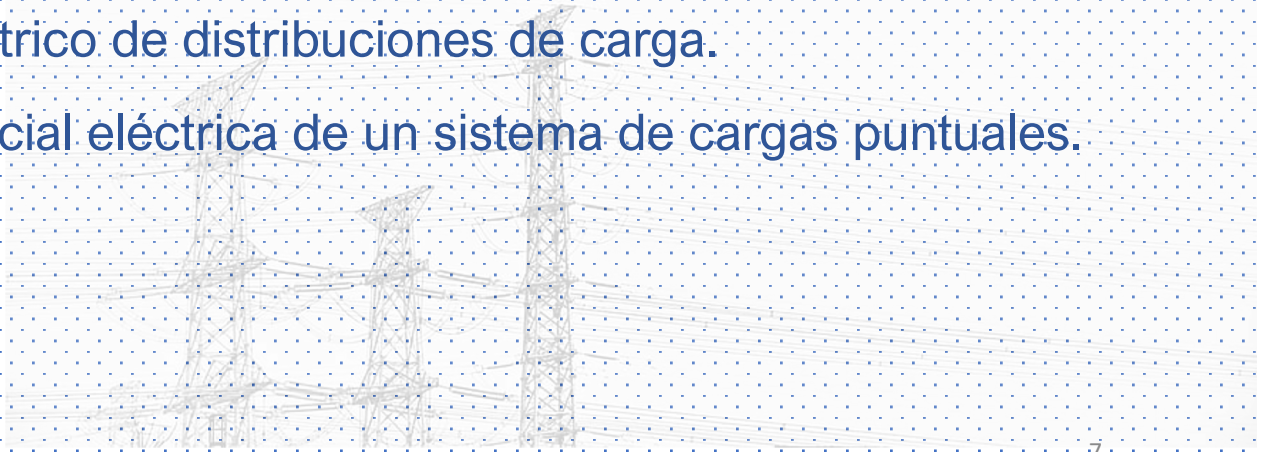
$$\Delta U = -W = -q\vec{E} \cdot \vec{d} = -qEd.$$

*\*U puede cambiar de signo dependiendo de los signos de las cargas q.*

### Contenidos

#### 7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

- **7.3.1. Energía potencial eléctrica.**
- **7.3.2. Definición de potencial eléctrico.**
- 7.3.3. Superficies equipotenciales.
- 7.3.4. Potencial eléctrico de distribuciones de carga.
- 7.3.5. Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales.



## POTENCIAL ELÉCTRICO.

- Es energía potencial por unidad de carga.
  - El **potencial eléctrico (V)** es una **propiedad del campo eléctrico E**, no del objeto cargado que produce el campo E. *Es independiente de la carga sobre la partícula.*
  - Es un escalar, carece de dirección.

$$V = \frac{U}{q}.$$

Unidades SI ( J/C ) → Voltio V

- No confundir: energía potencial eléctrica **U** ≠ potencial eléctrico **V**.



**POTENCIAL ELÉCTRICO.**

- La **diferencia de potencial eléctrico**  $\Delta V$  ente un punto inicial  $V_i$  y un punto final  $V_f$ :

$$\Delta V = V_f - V_i = \frac{U_f}{q} - \frac{U_i}{q} = \frac{\Delta U}{q}$$

Siendo,  $\Delta U = U_f - U_i = -W_e$

Al tomar la  $U_i$  en el infinito como igual a cero:

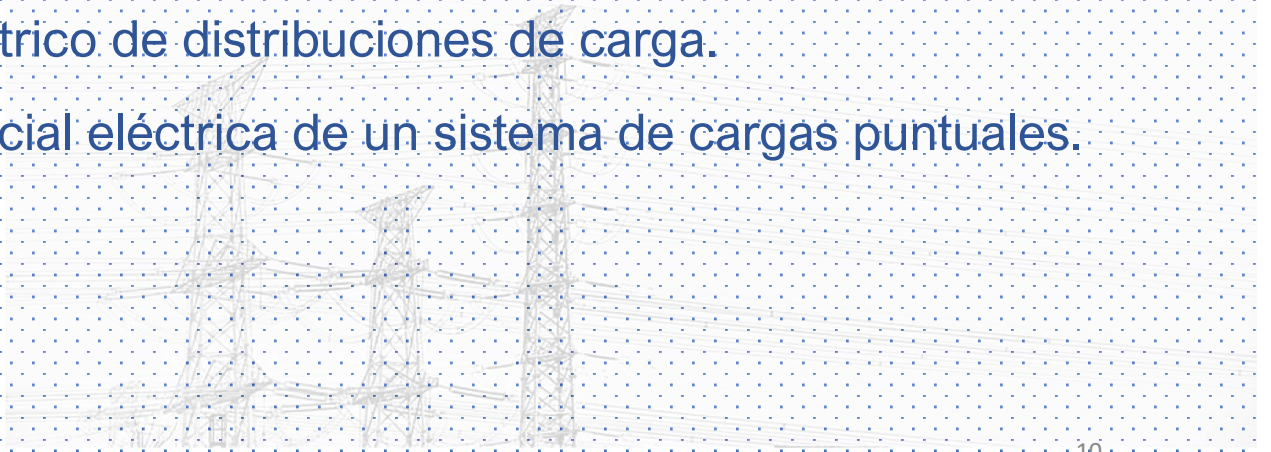


$$\Delta V = -\frac{W_e}{q}$$

### Contenidos

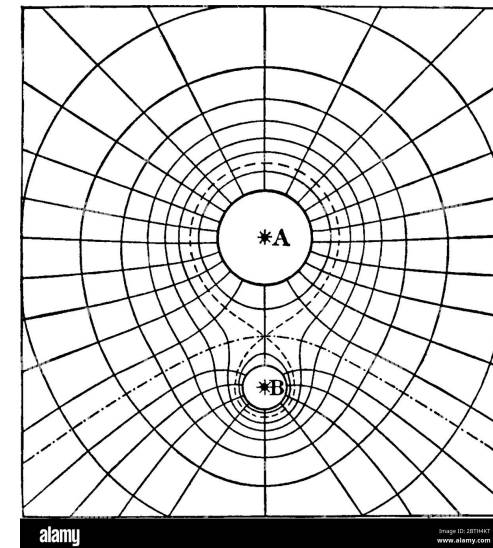
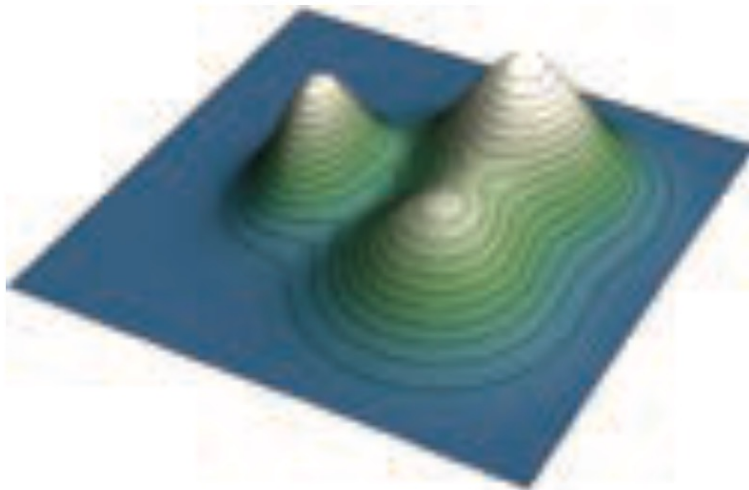
#### 7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

- **7.3.1. Energía potencial eléctrica.**
- **7.3.2. Definición de potencial eléctrico.**
- **7.3.3. Superficies equipotenciales.**
- 7.3.4. Potencial eléctrico de distribuciones de carga.
- 7.3.5. Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales.



### SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES.

- Ante la presencia de un campo eléctrico  $E$ ,  $\exists$  un valor de potencial eléctrico  $V$  en todos los puntos del espacio.
- Los puntos con mismo potencial eléctrico  $V$  constituyen una superficie equipotencial.
  - Las partículas pueden moverse a lo largo de dicha superficie equipotencial sin necesidad de que el campo eléctrico  $E$  realice



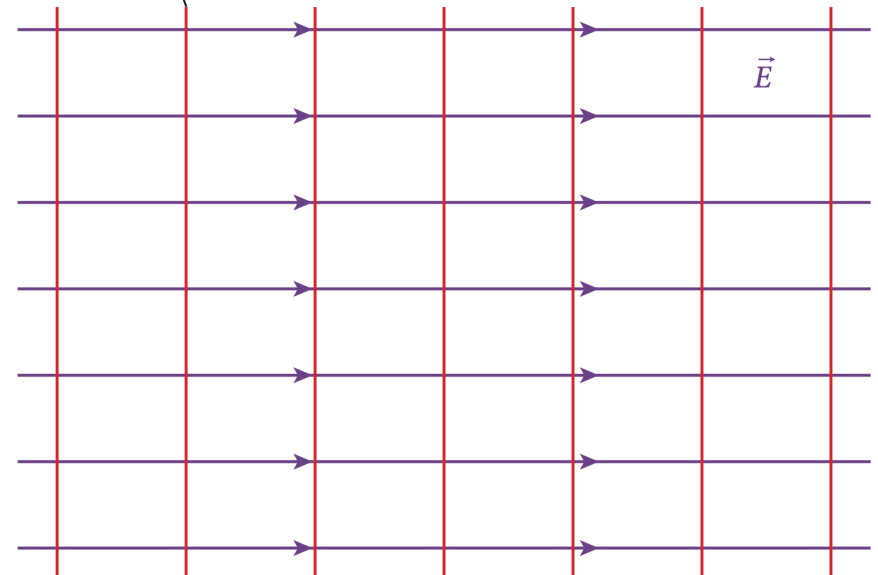
## SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES.

- Observaciones importantes:
  - La **superficie de cualquier conductor** forma una superficie equipotencial.
  - Las superficies equipotenciales siempre **son perpendiculares a las líneas de campo eléctrico** en cualquier punto del espacio.



$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = q\vec{E} \cdot d = qE \cdot d \cdot \cos\theta$$

Superficie equipotencial



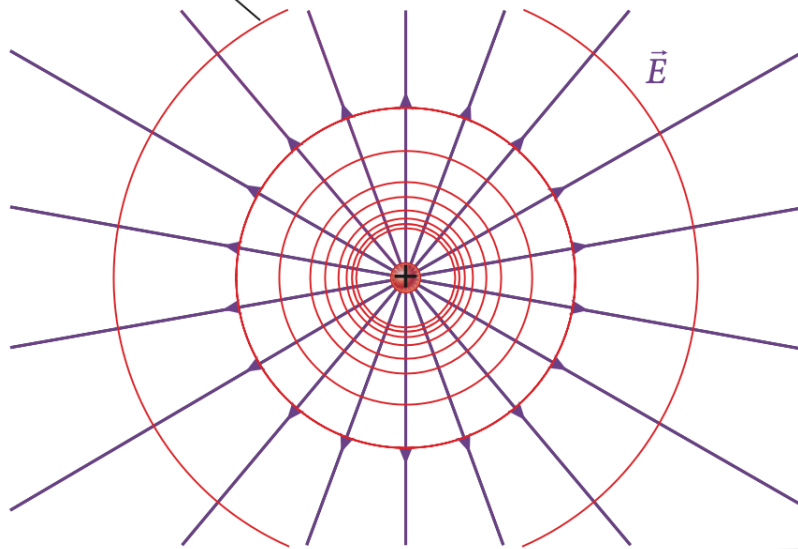
- **Campo eléctrico E constante:** Superficies equipotenciales forman planos paralelos.

## SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES. Casos:

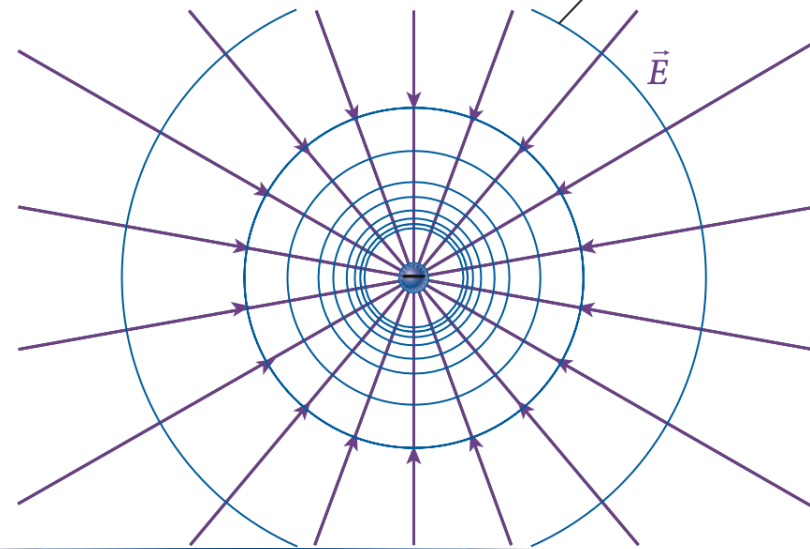
### ■ Carga puntual única.

- Extensión radial de las líneas de campo eléctrico  $E$ .
- Las superficies equipotenciales son círculos concéntricos siempre perpendiculares a las líneas de campo eléctrico.

Superficie equipotencial



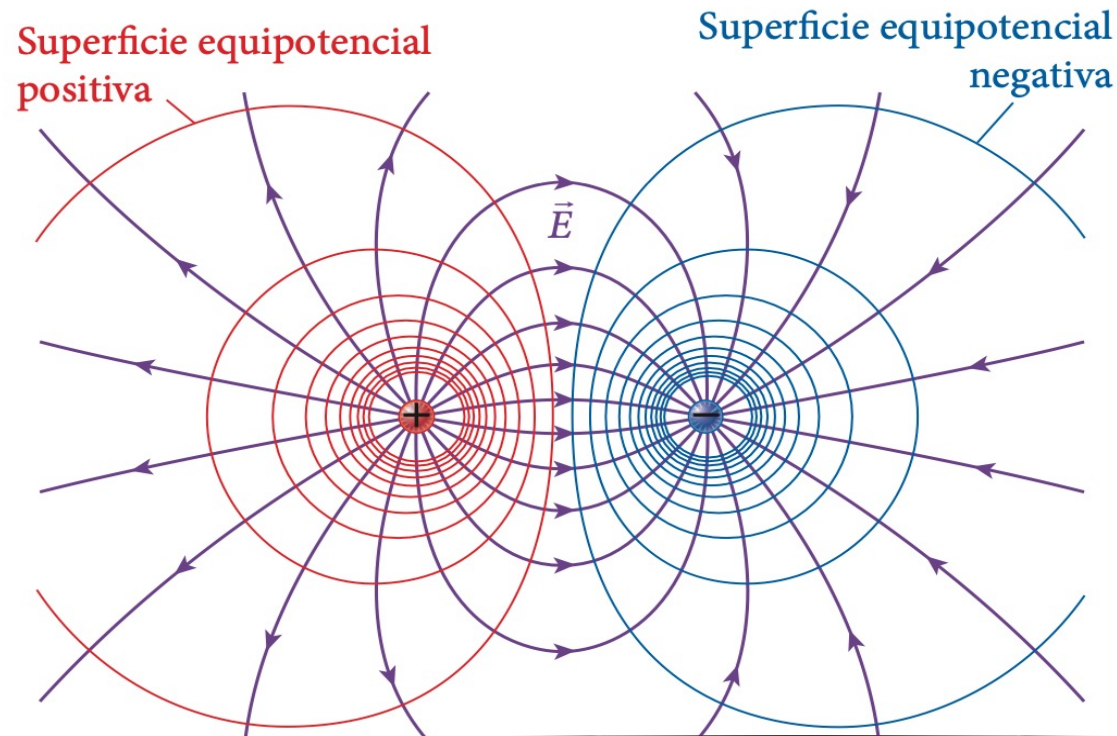
Superficie equipotencial



## SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES. Casos:

### ■ Dos cargas puntuales y opuestas.

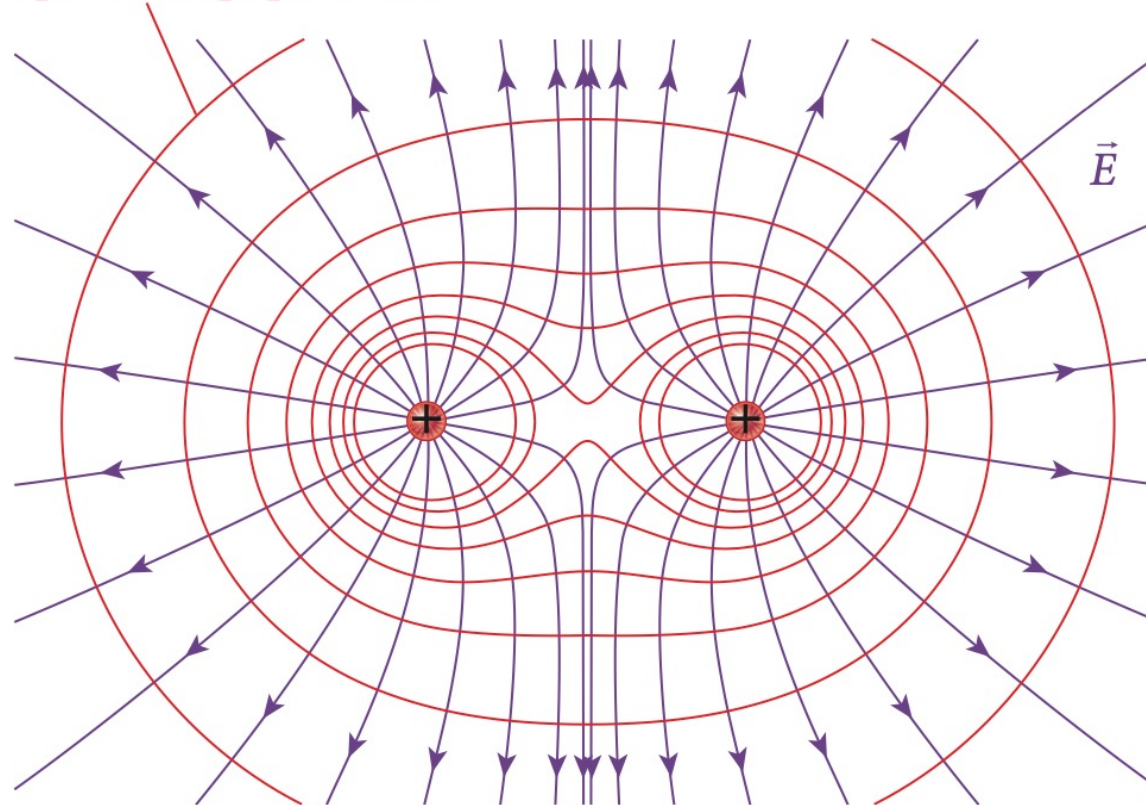
- Suponemos que están fijas en el espacio (la fuerza electrostática generaría su aproximación).



## SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES. Casos:

### ■ Dos cargas puntuales idénticas.

Superficie equipotencial

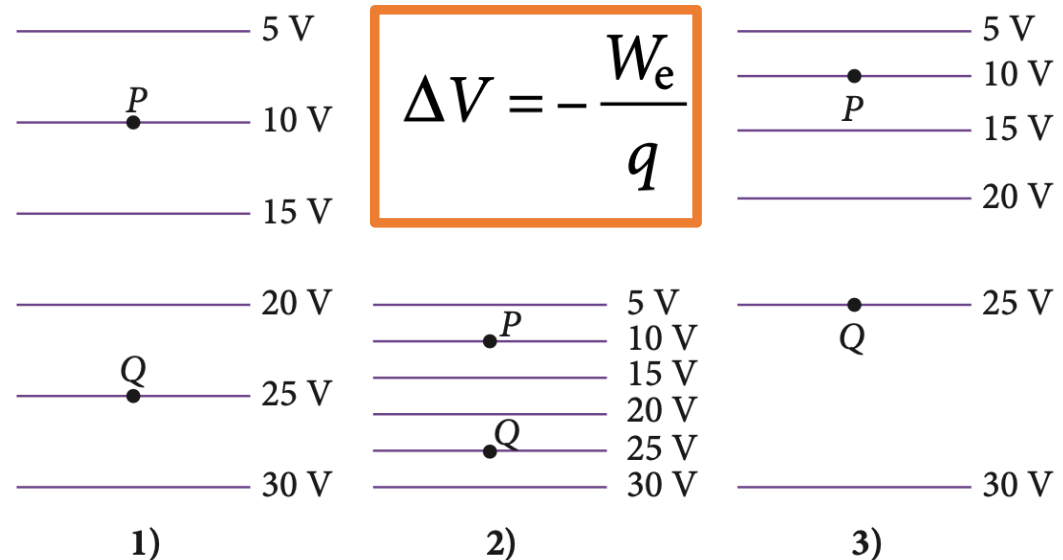




## SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES. Ejercicio.

- Un objeto cargado se desplaza del punto P al punto Q. ¿Cómo se compara la cantidad de trabajo realizado para estos tres casos?

- a) Los tres casos implican el mismo trabajo.
- b) El mayor trabajo se realiza en el caso 1.
- c) El mayor trabajo se realiza en el caso 2.
- d) El mayor trabajo se realiza en el caso 3.
- e) Los casos 1 y 3 implican la misma cantidad de trabajo, que es más que el trabajo implicado en el caso 2.

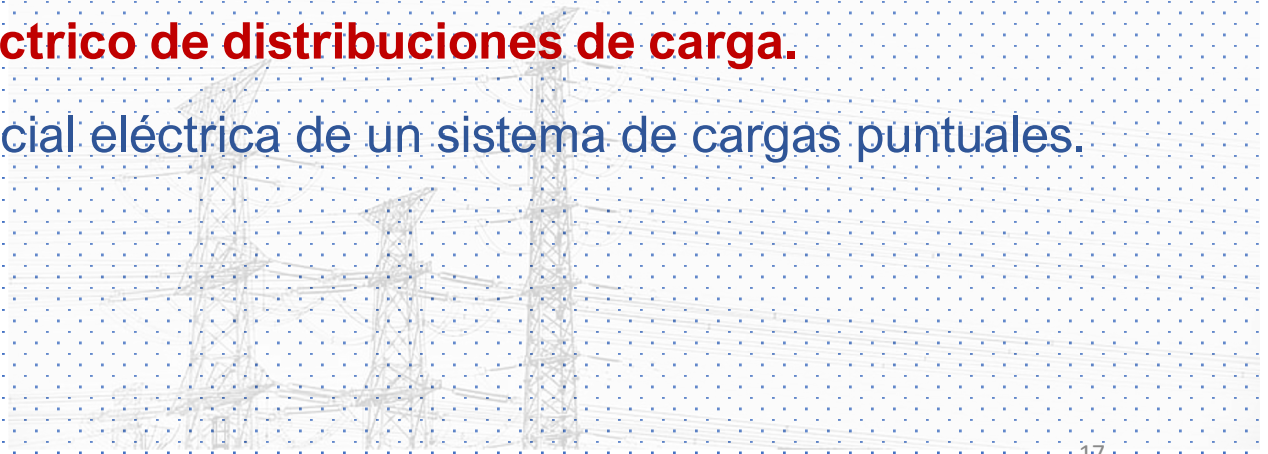




### Contenidos

#### 7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

- 7.3.1. Energía potencial eléctrica.
- 7.3.2. Definición de potencial eléctrico.
- 7.3.3. Superficies equipotenciales.
- 7.3.4. Potencial eléctrico de distribuciones de carga.
- 7.3.5. Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales.



## POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS.

## ■ Para una carga puntual.

- Siendo el **campo eléctrico E** debido a una **carga puntual q** a una **distancia r** de la carga:

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

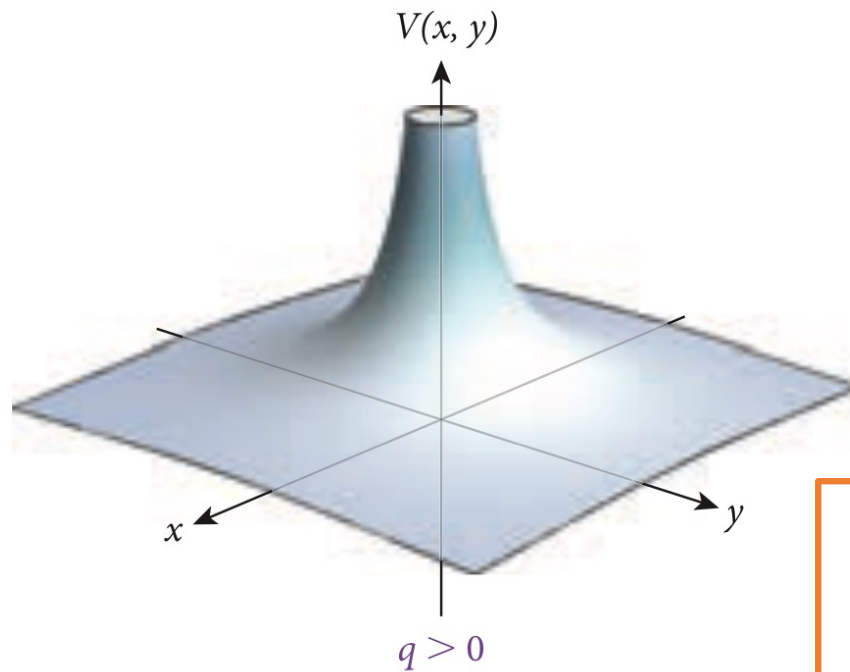
- Conociendo que el potencial eléctrico V a partir de la definición de trabajo es:

$$\Delta V = V_f - V_i = -\frac{W_e}{q} = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad \longrightarrow \quad V(\vec{r}) - V(\infty) \equiv V(\vec{r}) = -\int_{\infty}^{\vec{r}} \vec{E} \cdot d\vec{s}.$$

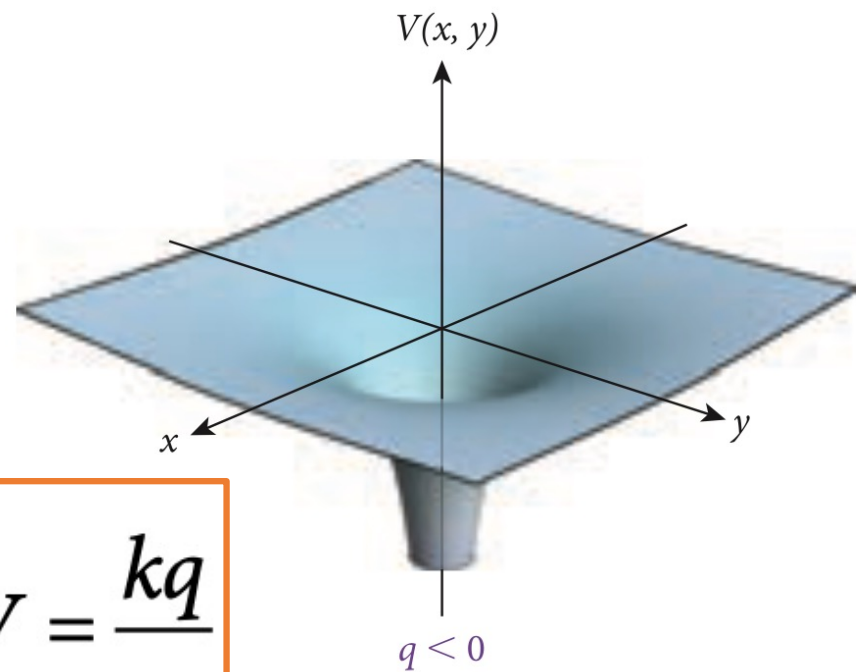
$$V(R) = -\int_{\infty}^R \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\int_{\infty}^R \frac{kq}{r^2} dr = \left[ \frac{kq}{r} \right]_{\infty}^R = \frac{kq}{R} \quad \longrightarrow \quad \boxed{V = \frac{kq}{r}}$$

## POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS.

- Para una carga puntual. Representación gráfica.



$$V = \frac{kq}{r}$$



## POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS.

- **Para un sistema de cargas puntuales.**
  - El potencial eléctrico  $V$  para un sistema de  $n$  cargas puntuales es el sumatorio de los potenciales eléctricos de todas las cargas puntuales.

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \frac{kq_i}{r_i}$$

## POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS. Determinación del campo eléctrico $\mathbf{E}$ a partir del potencial eléctrico $V$ .

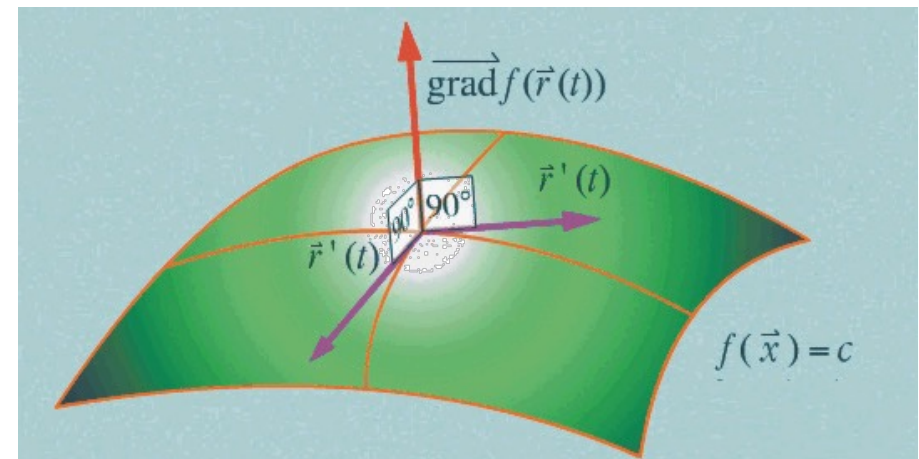
- Partiendo de las ecuaciones que hemos ido analizando y teniendo en consideración que el campo eléctrico es perpendicular al potencial eléctrico determinamos que:

$$-q dV = q \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$|E_s| = \left| -\frac{\Delta V}{\Delta s} \right|$$

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}.$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V$$



**POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS. Ejercicio:**

- Supongamos que el potencial eléctrico está descrito por  $V(x,y,z) = - (5x^2+y+z)$  en voltios. **¿Cuál de las siguientes expresiones describe el campo eléctrico asociado, en unidades de voltio por metro?**

a)  $\vec{E} = 5\hat{x} + 2\hat{y} + 2\hat{z}$

b)  $\vec{E} = 10x\hat{x}$

c)  $\vec{E} = 5x\hat{x} + 2\hat{y}$

d)  $\vec{E} = 10x\hat{x} + \hat{y} + \hat{z}$

e)  $\vec{E} = 0$

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}.$$

**POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS. Ejercicio:**

- En la siguiente figura, las líneas representan líneas equipotenciales. ¿Cómo se compara la magnitud del campo eléctrico  $E$ , en el punto  $P$ , para los tres casos?

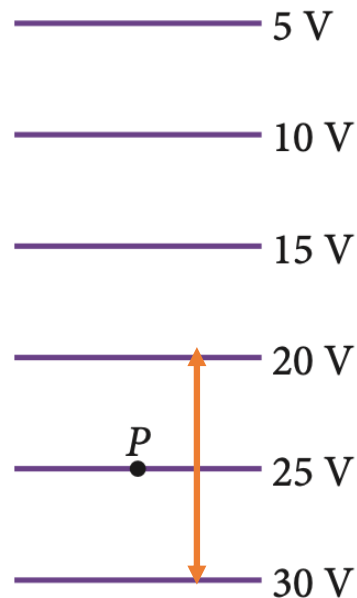
a)  $E_1 = E_2 = E_3$

b)  $E_1 > E_2 > E_3$

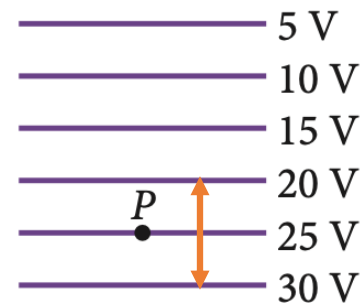
c)  $E_1 < E_2 < E_3$

d)  $E_3 > E_1 > E_2$

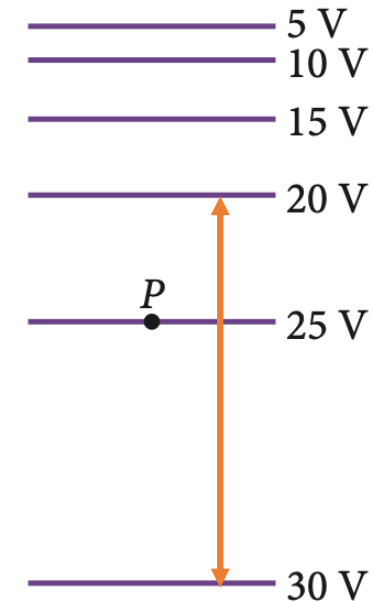
e)  $E_3 < E_1 < E_2$



1)



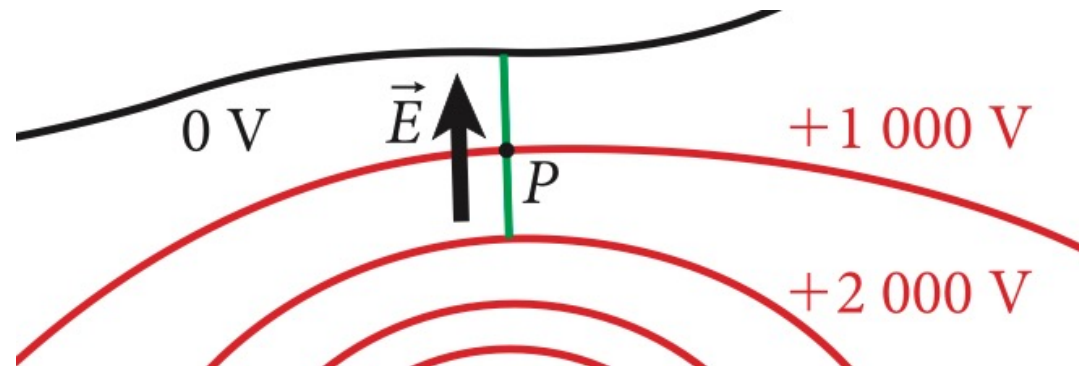
2)



3)

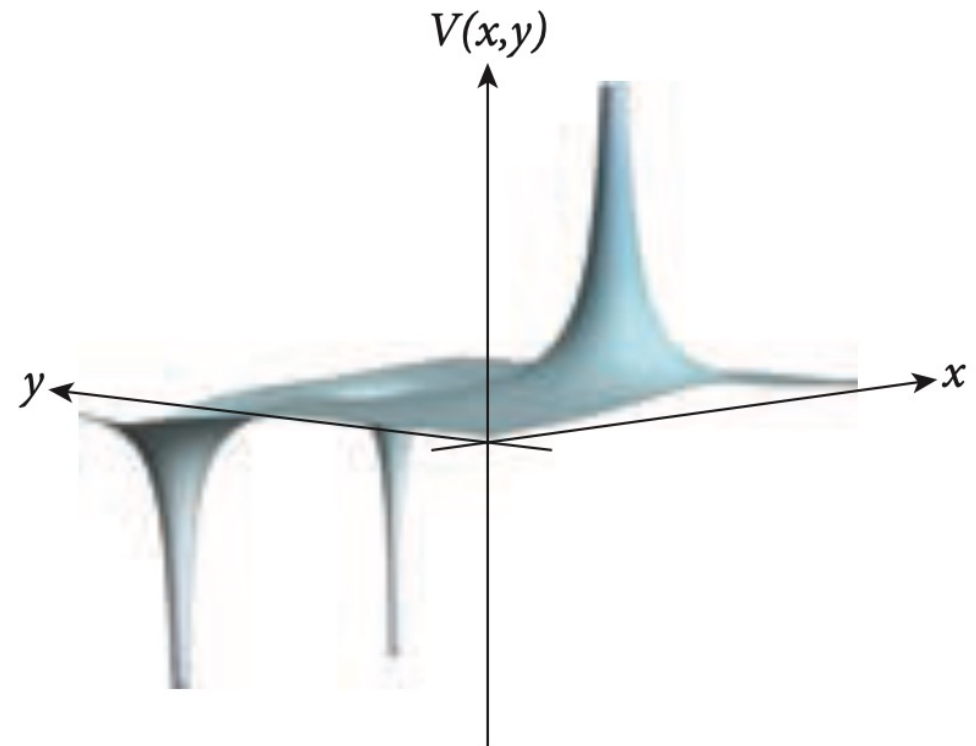
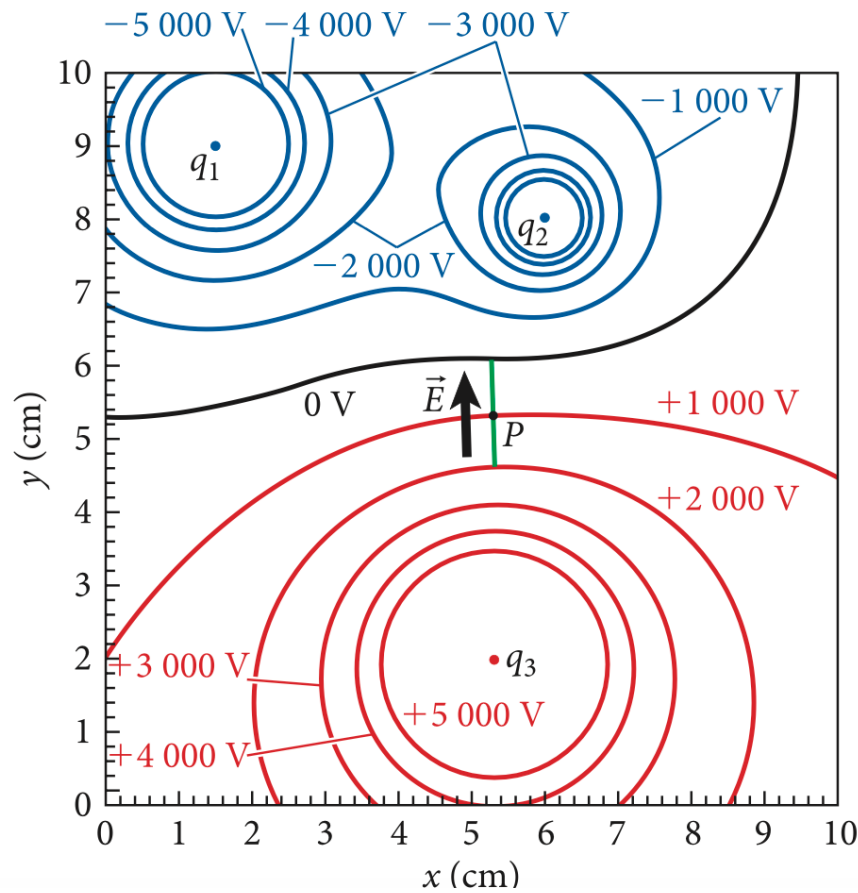
**POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS. Ejercicio:**

- Consideremos un sistema de tres cargas puntuales con valores  $q_1 = -6,00 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = -3,00 \mu\text{C}$  y  $q_3 = 9,00 \mu\text{C}$ , ubicadas en los puntos  $(x_i, y_i)$  según figura adjunta. Se han representado las líneas equipotenciales resultantes en valores de potencial desde  $-5000\text{V}$  en incrementos de  $1000\text{V}$ . **Calcular el valor del campo eléctrico en el punto P, conociendo que la distancia perpendicular a la línea equipotencial  $1000\text{V}$ , entre las líneas equipotenciales  $0\text{V}$  y  $2000\text{V}$  es  $r=1,5\text{cm}$  (línea verde).**





# POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS. Ejercicio:



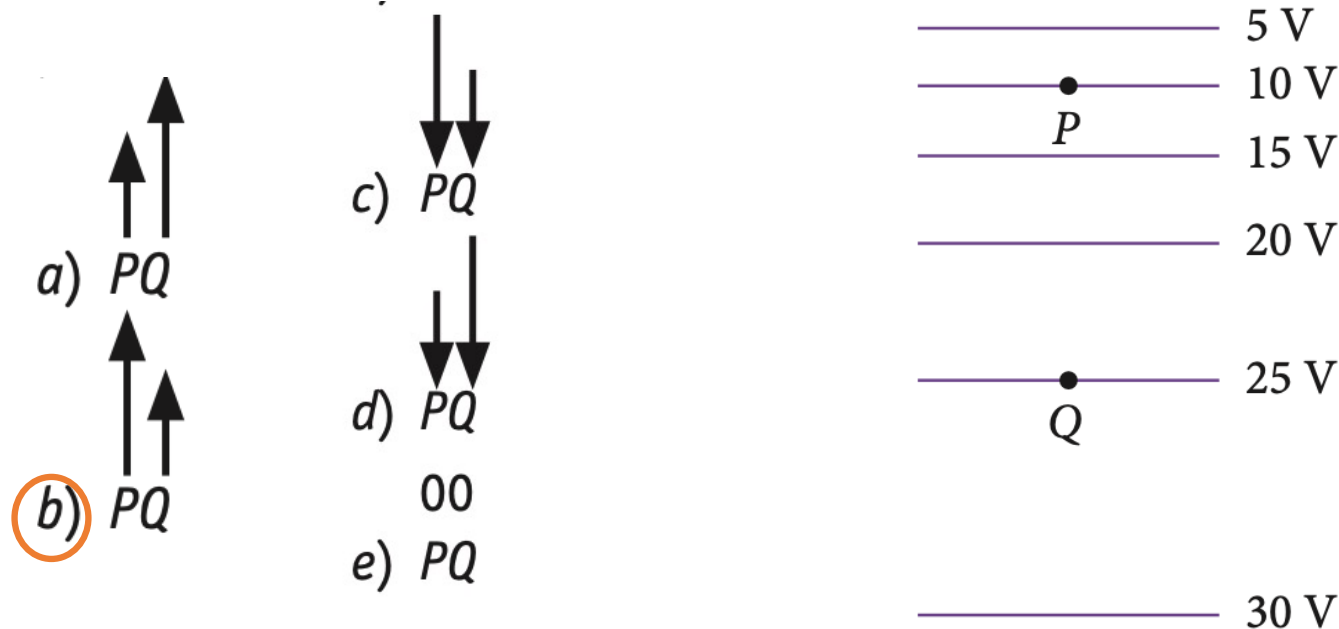
POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS. **Ejercicio:**

$$|E_s| = \left| -\frac{\Delta V}{\Delta s} \right|$$

$$|E_s| = \left| \frac{2000 - 0}{0,015} \right| = 1,33 \cdot 10^5 \text{ V/m}$$

### POTENCIAL ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS. Ejercicio:

- En la figura, se representan las líneas equipotenciales. Una carga  $q > 0$  está colocada en el punto P, y otra carga  $q > 0$  está colocada en el punto Q. ¿Qué conjunto de vectores representa mejor las **magnitudes y direcciones** relativas del campo eléctrico  $E$  ejercido sobre las cargas  $q > 0$  en P y Q?

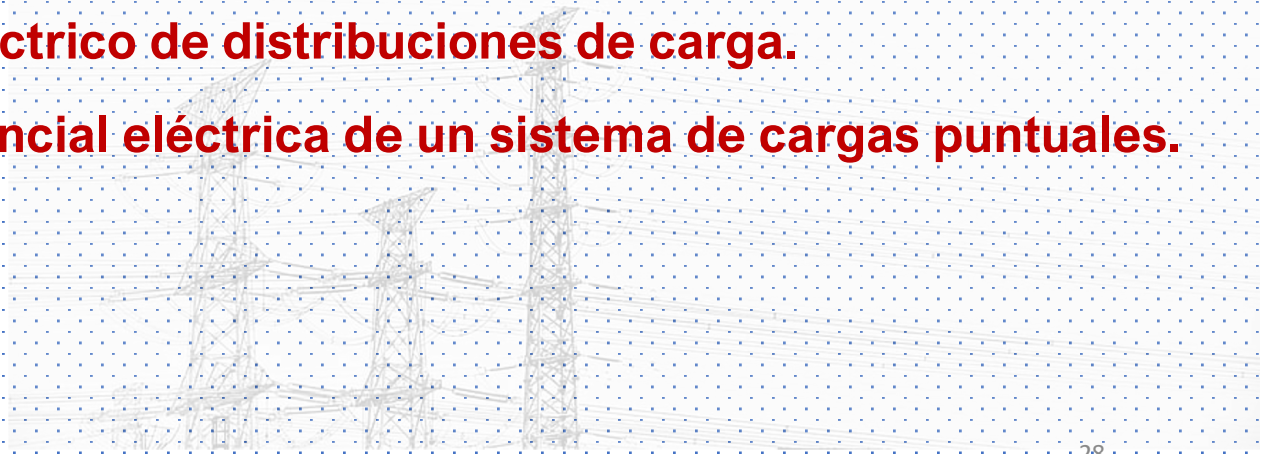


$$|E_s| = \left| -\frac{\Delta V}{\Delta s} \right|$$

### Contenidos

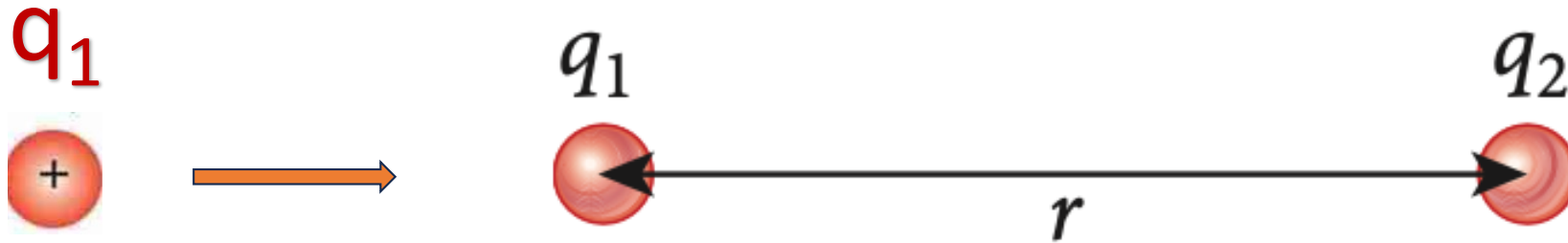
#### 7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

- 7.3.1. Energía potencial eléctrica.
- 7.3.2. Definición de potencial eléctrico.
- 7.3.3. Superficies equipotenciales.
- 7.3.4. Potencial eléctrico de distribuciones de carga.
- 7.3.5. Energía potencial eléctrica de un sistema de cargas puntuales.



## ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA EN SISTEMA DE CARGAS PUNTUALES.

- Consideramos un sistema de cargas cuya separación es infinita, para aproximar las cargas, es necesario realizar un trabajo Este es el concepto de energía potencial eléctrica U.



$$U = q_2 \cdot V(q_1) \rightarrow \boxed{V = \frac{kq}{r}} \rightarrow \boxed{U = \frac{kq_1q_2}{r}}$$

$q_1 \text{ y } q_2 > 0 \} W=U>0$   
 $q_1 > 0$   
 $q_2 < 0 \} W=U<0$

### Contenidos

#### 7.3. POTENCIAL ELÉCTRICO.

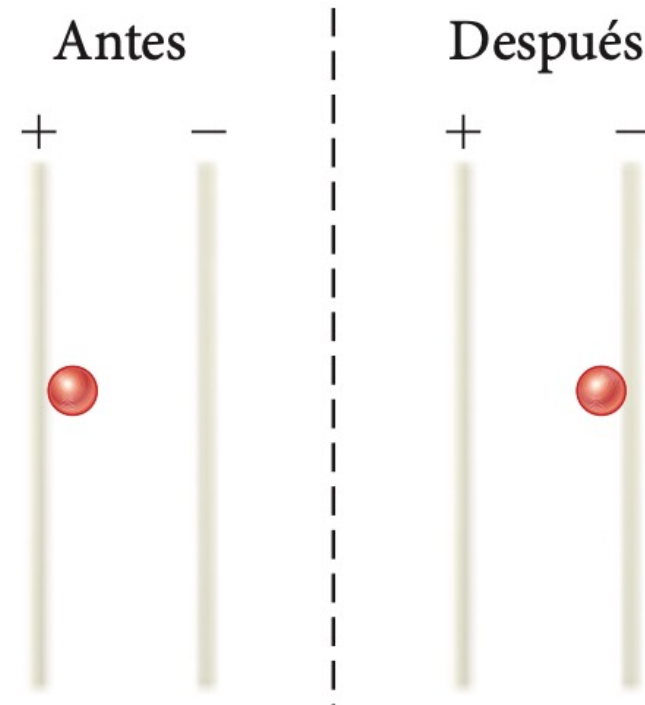
- **PROBLEMAS.**



## 01. PROBLEMA.

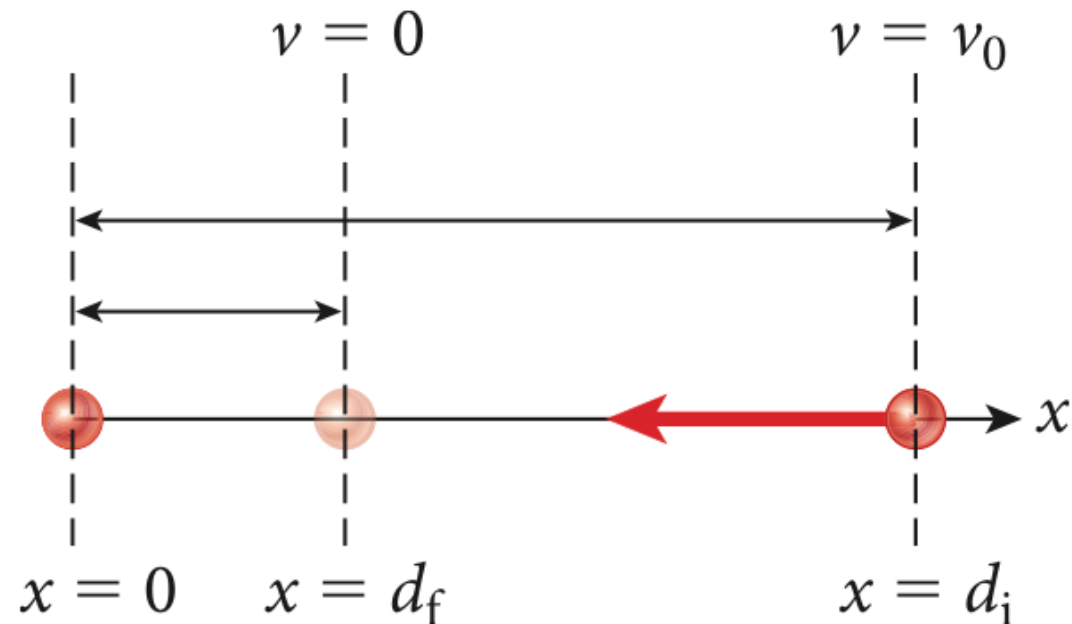
- Un protón ( $q > 0$ ) se coloca entre dos placas conductoras paralelas en el vacío. La diferencia de potencial eléctrico  $V$  entre las dos placas es de 450V. El protón se libera desde el reposo cerca de la placa positiva. **¿Cuál es la energía cinética del protón cuando llega a la placa negativa?**

■ Datos:  $q_{\text{protón}} = +1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$



## 02. PROBLEMA.

- Una  $q > 0$  de  $+4,50 \mu\text{C}$  está fija en su sitio. Una partícula de masa  $6,00\text{g}$  y  $q = +3,00 \mu\text{C}$  se dispara con una velocidad inicial de  $66,0 \text{ m/s}$  directamente contra la carga estacionaria desde una distancia de  $4,20\text{m}$  de ésta. **¿Qué distancia alcanzará la carga móvil de la carga fija antes de detenerse y comenzar a alejarse debido a la repulsión?**



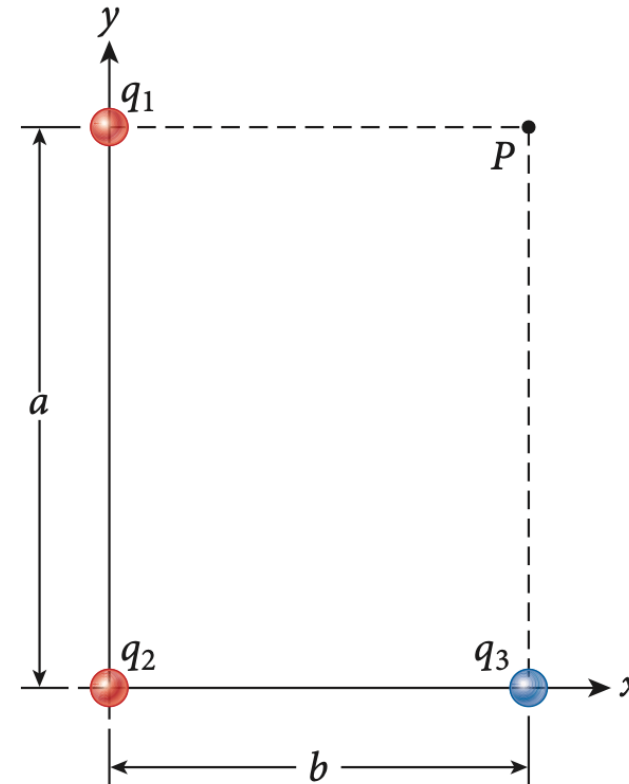


## 03. PROBLEMA.

- Calcular el potencial eléctrico  $V$  un punto  $P$  dado debido a un sistema de cargas puntuales.

- Datos  $q$  y (posición bidimensional):

- $q_1 = +1,50 \mu\text{C}$  ;  $(0, a)$   $\mu = (10^{-6})$
- $q_2 = +2,50 \mu\text{C}$  ;  $(0, 0)$
- $q_3 = -3,50 \mu\text{C}$  ;  $(b, 0)$
- Siendo  $a = 8,00\text{m}$  y  $b = 6,00\text{m}$



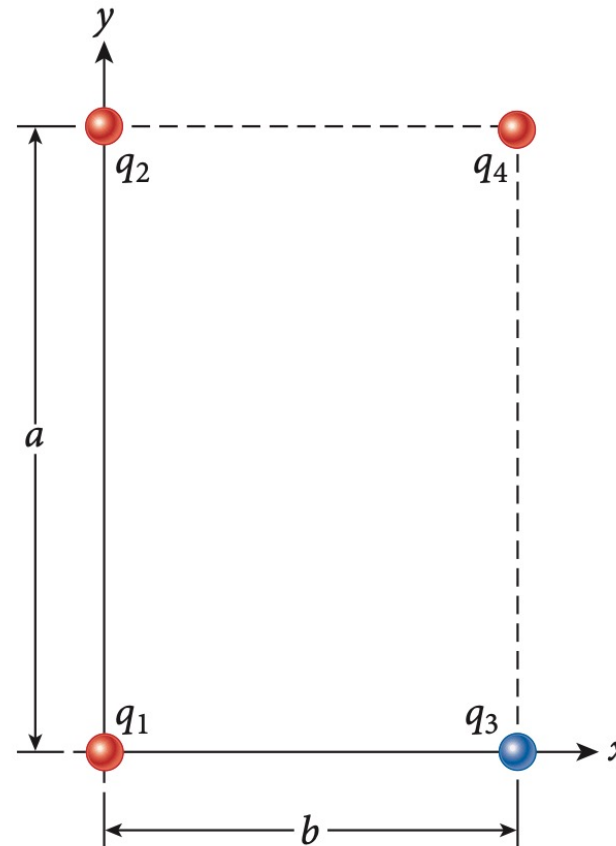
## 04. PROBLEMA.

- Calcular la energía potencial eléctrica  $U$  de un sistema de 4 cargas puntuales.

- Datos  $q$  :

- $q_1 = +1,00 \mu\text{C}$
- $q_2 = +2,00 \mu\text{C}$
- $q_3 = -3,00 \mu\text{C}$
- $q_4 = +4,00 \mu\text{C}$

- Siendo  $a = 6,00\text{m}$  y  $b = 4,00\text{m}$

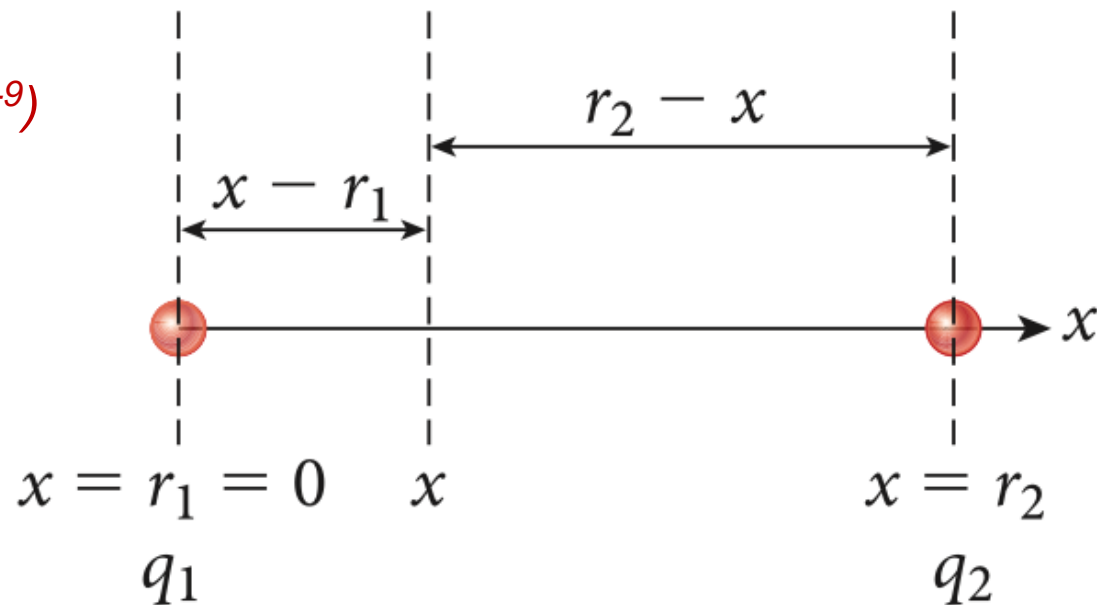


## 05. PROBLEMA.

- Una carga  $q_1 > 0$  está colocada en  $r_1 = 0,00\text{cm}$  sobre el eje X. Otra carga  $q_2 > 0$  está colocada en  $r_2 = 11,9\text{cm}$  sobre el mismo eje X. **¿En qué punto del eje X el potencial eléctrico V resultante tiene un valor mínimo?**

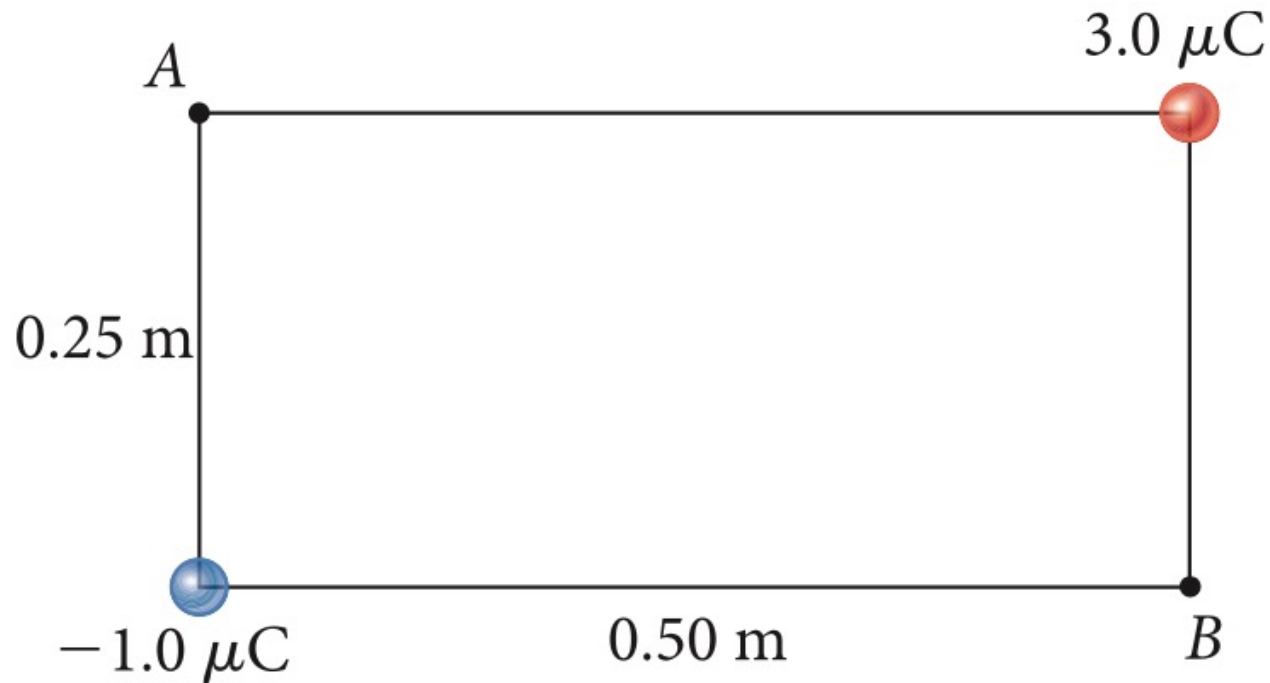
- Datos q :

- $q_1 = +0,829\text{ nC}$   $n = (10^{-9})$
- $q_2 = +0,275\text{ nC}$



## 06. PROBLEMA.

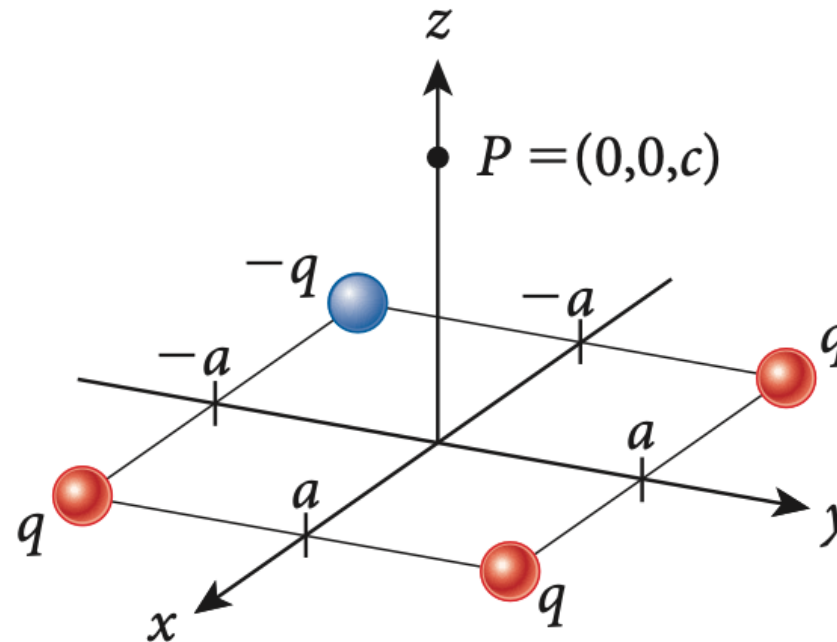
- Dos cargas puntuales están ubicadas en dos vértices de un rectángulo, como se muestra en la figura. **¿Cuál es el potencial eléctrico en el punto A? ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los puntos A y B?**



## 07. PROBLEMA.

- Cuatro cargas puntuales están dispuestas en un cuadrado cuyo lado mide  $2a$  donde  $a=2,70\text{cm}$ . Tres de las cargas tienen la misma magnitud. **¿Cuál es el valor del potencial eléctrico  $V$  generado por estas cuatro cargas en el punto  $P=(0,0,c)$ , donde  $c=4,1$**

- Datos  $q$  :
  - $q_1=q_2=q_3=+1,50\text{ nC}$
  - $q_4=-1,50\text{ nC}$



## 08. PROBLEMA.

- Tres cargas  $q_1, q_2$  y  $q_3$ , están dispuestas en los vértices de un triángulo equilátero de lado 1,20m. **Calcular el trabajo realizado sobre cada uno de los casos siguientes:**
  - A) Llevar la primera partícula,  $q_1=1,00\text{pC}$ , desde el infinito hasta P.
  - B) Llevar la segunda partícula,  $q_2=2,00\text{pC}$ , desde el infinito hasta Q.
  - C) Llevar la última partícula,  $q_3=3,00\text{pC}$ , desde el infinito hasta R.

$$p=(10^{-12})$$

