

## Campo electrostático

[Método y recomendaciones](#)

### ● Cargas puntuales

- Dos cargas eléctricas positivas de 3 nC cada una están fijas en las posiciones (2, 0) y (-2, 0) y una carga negativa de -6 nC está fija en la posición (0, -1). Calcula:
  - La energía electrostática del conjunto de las tres cargas.
  - El vector campo electrostático en el punto (0, 1).
  - La aceleración que experimentaría un protón situado en el punto (0, 1).
  - Se coloca un protón en el punto (0, 1), inicialmente en reposo y de manera que es libre de moverse. Razona si llegará hasta el origen de coordenadas y, en caso afirmativo, calcula la energía cinética que tendrá en ese punto y su velocidad.
  - Calcula el trabajo necesario para llevar al protón desde el punto (0, 1) hasta el origen.
  - Indica el signo y el valor de la carga que habría que situar en el punto (0, 1), en vez del protón, para que el potencial eléctrico en el origen se anulase.
  - Calcula la carga  $q_2$  que habría que situar en el punto (0, 1), en vez del protón, para que la intensidad del campo electrostático en el origen sea nula.

Datos:  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ ;  $q(p) = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m(p) = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Las posiciones están en metros.

*Problema basado en A.B.A.U. ord. 21, ord. 20, ord. 19*

**Rta.:** a)  $E = -1,25 \cdot 10^{-7} \text{ J}$ ; b)  $\vec{E} = -8,67 \vec{j} \text{ N/C}$ ; c)  $\vec{a} = -8,31 \cdot 10^8 \vec{j} \text{ N/C}$ ; d)  $E_c = 3,86 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ ;  $v = 6,80 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ ; e)  $W = -3,86 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ ; f)  $q = 3,00 \text{ nC}$ ; g)  $q_2 = -6,00 \text{ nC}$ .

#### Datos

Valor de la carga en el punto A

Valor de la carga en el punto B

Valor de la carga en el punto C

Posición del punto A

Posición del punto B

Posición del punto C

Posición del punto D en el que calcular el vector campo electrostático

Velocidad inicial en el punto D

Posición del punto O al que llega

Valor de la carga del protón

Masa del protón

Constante de Coulomb

#### Incógnitas

Energía electrostática del conjunto de las tres cargas

Intensidad del campo electrostático en el punto D

Aceleración de un protón situado en el punto D

Energía cinética de un protón soltado en el punto D, al pasar por el origen

Velocidad del protón al pasar por el origen

Trabajo necesario para llevar al protón desde el punto D hasta el origen.

Carga en el punto D para que el potencial eléctrico en el origen sea 0

Carga en el punto D para que el campo electrostático en el origen sea nulo

#### Otros símbolos

Distancia

#### Ecuaciones

Campo eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$

Principio de superposición

Potencial eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$

Potencial eléctrico en un punto debido a varias cargas

Energía potencial eléctrica de una carga,  $q$ , situada en un punto A

Energía cinética de un cuerpo de masa  $m$  que se desplaza con velocidad  $v$

#### Cifras significativas: 3

$$Q_A = 3,00 \text{ nC} = 3,00 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$Q_B = 3,00 \text{ nC} = 3,00 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$Q_C = -6,00 \text{ nC} = -6,00 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$\vec{r}_A = (2,00, 0) \text{ m}$$

$$\vec{r}_B = (-2,00, 0) \text{ m}$$

$$\vec{r}_C = (0, -1,00) \text{ m}$$

$$\vec{r}_D = (0, 1,00) \text{ m}$$

$$v_D = 0$$

$$\vec{r}_O = (0, 0) \text{ m}$$

$$q = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$K = 9,00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

$$E$$

$$\vec{E}_D$$

$$a$$

$$E_{cO}$$

$$v$$

$$W$$

$$q$$

$$q_2$$

$$r$$

$$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

$$\vec{E}_A = \sum \vec{E}_{Ai}$$

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

$$V = \sum V_i$$

$$E_{pA} = q \cdot V_A$$

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Principio de la conservación de la energía entre dos puntos A y B

$$(E_c + E_p)_A = (E_c + E_p)_B$$

Energía potencial de cada interacción entre dos cargas

$$E_{pi} = K \frac{Q \cdot q}{r}$$

Campo eléctrico

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

2.ª ley de Newton de la Dinámica

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Trabajo de la fuerza eléctrica al mover una carga,  $q$ , del punto A al punto B  $W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$

### Solución:

a) La energía potencial de cada interacción entre dos cargas viene dada por la expresión:

$$E_{pi} = K \frac{Q \cdot q}{r}$$

La energía total electrostática es la suma de las energías de las tres interacciones: AB; AC y BC.

$$E_{AB} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}] \cdot 3,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}]}{4,00 [\text{m}]} = 2,03 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$

$$E_{AC} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}] \cdot (-6,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}])}{2,24 [\text{m}]} = -7,24 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$

$$E_{BC} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}] \cdot (-6,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}])}{2,24 [\text{m}]} = -7,24 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$

$$E = E_{AB} + E_{AC} + E_{BC} = 2,03 \cdot 10^{-8} [\text{J}] + (-7,24 \cdot 10^{-8} [\text{J}]) + (-7,24 \cdot 10^{-8} [\text{J}]) = -1,25 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

*Análisis: Si se calculase la energía total como la suma de las energías potenciales de las tres cargas, el resultado daría el doble, porque se estarían contando las interacciones dos veces. Por ejemplo la interacción  $A \leftrightarrow B$  aparece en el cálculo de la energía potencial de la carga en A y también en el cálculo de la carga en B.*

b)

Se hace un dibujo en el que se sitúan los puntos A(2, 0), B(-2, 0), C(0, -1) y D(0, 1).

Se dibujan los vectores del campo en el punto D, un vector por cada carga, prestando atención al sentido.

Los campos creados por las cargas situadas en los puntos A y B son de repulsión, porque las cargas son positivas, y son del mismo valor, porque las cargas y las distancias son iguales.

Pero el campo producido por la carga situada en el punto C es de atracción, porque es negativa, y será mayor que el creado por la carga situada en el punto A, porque el punto C está más cerca del punto D que el punto A, y la carga situada en el punto C es mayor que la carga situada en el punto A.

Se dibuja el vector suma, que es el campo resultante,  $\vec{E}_D$ .

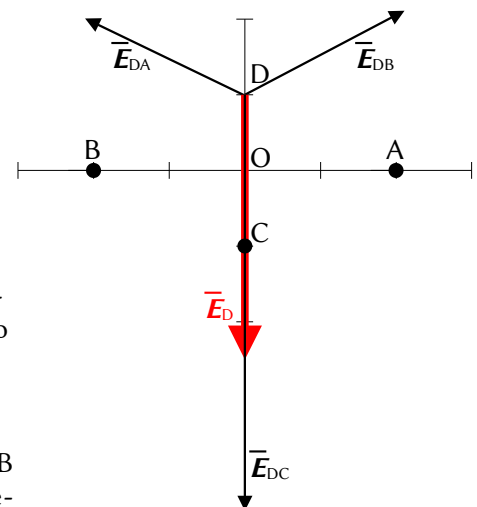
Como los campos creados por las cargas situadas en los puntos A y B son del mismo valor, sus componentes horizontales se anulan y la resultante de ambas será vertical y estará dirigida en el sentido positivo del eje Y. Su medida será el doble de la componente vertical de una de ellas.

El valor del campo resultante será la suma de las componentes verticales de cada carga. Como el valor del campo creado por la carga situada en el punto C es mayor que la suma de las componentes verticales de los campos creados por las cargas situadas en los puntos A y B, la resultante de los tres campos estará dirigida en el sentido negativo del eje Y.

El principio de superposición dice que la intensidad de campo electrostático en un punto, debido a la presencia de varias cargas, es la suma vectorial de los campos producidos en ese punto por cada carga, como si el resto de las cargas no estuviese presente.

Para determinar el campo en un punto, se calculan los campos creados en ese punto por cada carga, y luego se suman los vectores.

La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales,  $Q$  y  $q$ , separadas por una distancia,  $r$ , viene dada por la ley de Coulomb, en la que  $K$  es la constante de Coulomb y  $\vec{u}_r$  el vector unitario en la línea que une las cargas.



$$\vec{F}_E = K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r$$

El campo eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es la fuerza sobre la unidad de carga positiva situada en ese punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} = \frac{K \frac{Q \cdot \cancel{q}}{r^2} \vec{u}_r}{\cancel{q}} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

Se calcula la distancia entre los puntos A(2, 0) y D(0, 1):

$$\begin{aligned} \vec{r}_{AD} &= \vec{r}_D - \vec{r}_A = 1,00 \vec{j} \text{ [m]} - 2,00 \vec{i} \text{ [m]} = (-2,00 \vec{i} + 1,00 \vec{j}) \text{ m} \\ r_{AD} &= |\vec{r}_{AD}| = \sqrt{(-2,00 \text{ [m]})^2 + (1,00 \text{ [m]})^2} = 2,24 \text{ m} \end{aligned}$$

Se calcula el vector unitario del punto D, tomando como origen el punto A:

$$\vec{u}_{AD} = \frac{\vec{r}_{AD}}{|\vec{r}_{AD}|} = \frac{(-2,00 \vec{i} + 1,00 \vec{j}) \text{ [m]}}{2,24 \text{ [m]}} = -0,894 \vec{i} + 0,447 \vec{j}$$

Se calcula el campo en el punto D, creado por la carga de +3 nC situada en el punto A:

$$\vec{E}_{DA} = 9,00 \cdot 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \cdot \frac{3,00 \cdot 10^{-9} \text{ [C]}}{(2,24 \text{ [m]})^2} (-0,894 \vec{i} + 0,447 \vec{j}) = (-4,83 \vec{i} + 2,41 \vec{j}) \text{ N/C}$$

El campo en el punto D, debido a la carga de +3 nC, situada en el punto B, es simétrico al creado por la carga situada en el punto A. Los valores de sus componentes son los mismos, pero el signo de la componente horizontal es opuesto, porque está dirigida en sentido contrario:

$$\vec{E}_{DB} = (4,83 \vec{i} + 2,41 \vec{j}) \text{ N/C}$$

La distancia del punto D al punto C es:  $r_{DC} = |(0, 1,00) \text{ [m]} - (0, -1,00) \text{ [m]}| = 2,00 \text{ m}$ .

El vector unitario del punto D, tomando como origen el punto C, es  $\vec{j}$ , el vector unitario del eje Y.

Se calcula el campo en el punto D, debido a la carga de -6 nC situada en el punto C:

$$\vec{E}_{DC} = 9,00 \cdot 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \cdot \frac{-6,00 \cdot 10^{-9} \text{ [C]}}{(2,00 \text{ [m]})^2} \vec{j} = -13,5 \vec{j} \text{ N/C}$$

Por el principio de superposición, el campo resultante en el punto D es la suma vectorial de los campos creados en ese punto por cada carga.

$$\vec{E}_D = \vec{E}_{DA} + \vec{E}_{DB} + \vec{E}_{DC} = (-4,83 \vec{i} + 2,41 \vec{j}) \text{ [N/C]} + (4,83 \vec{i} + 2,41 \vec{j}) \text{ [N/C]} + (-13,5 \vec{j}) \text{ [N/C]} = -8,67 \vec{j} \text{ N/C}$$

*Análisis: Coincide con el dibujo. El campo resultante del cálculo está dirigido en el sentido negativo del eje Y.*

c) Para calcular la aceleración del protón, se calcula antes la fuerza eléctrica a partir del campo eléctrico, que es la fuerza sobre la unidad de carga positiva:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} \Rightarrow \vec{F} = q \cdot \vec{E}_D = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ [C]} \cdot (-8,67 \vec{j} \text{ [N/C]}) = -1,39 \cdot 10^{-18} \vec{j} \text{ N}$$

La aceleración se calcula aplicando la segunda ley de Newton:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{-1,39 \cdot 10^{-18} \vec{j} \text{ [N]}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ [kg]}} = -8,31 \cdot 10^8 \vec{j} \text{ m/s}^2$$

d) Al colocar un protón en el punto D(0, 1), el campo ejercerá una fuerza dirigida en el mismo sentido que el campo, sentido negativo del eje Y. La carga será empujada y pasará por el origen O(0, 0).

Como la fuerza electrostática es una fuerza conservativa, la energía mecánica se conserva.

$$\begin{aligned} (E_c + E_p)_O &= (E_c + E_p)_D \\ E_{cO} + q \cdot V_O &= E_{cD} + q \cdot V_D \end{aligned}$$

Hay que calcular los potenciales eléctricos en los puntos D y O.

El potencial eléctrico en un punto, debido a la presencia de varias cargas, es la suma de los potenciales producidos en ese punto por cada carga, como si el resto de las cargas no estuviese presente.

Para determinar el potencial eléctrico en un punto, se calculan los potenciales creados en ese punto por cada carga, y luego se suman.

La ecuación del potencial eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es:

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

$K$  es la constante de Coulomb.

Se calcula el potencial en el punto D, debido a la carga de +3 nC situada en el punto A:

$$V_{DA} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}]}{(2,24 [\text{m}])} = 12,1 \text{ V}$$

El potencial en el punto D debido a la carga de +3 nC situada en el punto B, vale lo mismo, ya que la distancia y la carga son las mismas:

$$V_{DB} = 12,1 \text{ V}$$

Se calcula el potencial en el punto D debido a la carga de -6 nC situada en el punto C:

$$V_{DC} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{-6,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}]}{(2,00 [\text{m}])} = -27,0 \text{ V}$$

El potencial eléctrico en un punto, debido a la presencia de varias cargas, es la suma algebraica de los potenciales debidos a cada carga.

$$V_D = V_{DA} + V_{DB} + V_{DC} = 12,1 [\text{V}] + 12,1 [\text{V}] + -27,0 [\text{V}] = -2,8 \text{ V}$$

Se hace el mismo proceso para calcular el potencial eléctrico en el origen O.

Se calcula el potencial en el punto O debido a la carga de +3 nC situada en el punto A:

$$V_{OA} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}]}{(2,00 [\text{m}])} = 13,5 \text{ V}$$

El potencial en el punto O, debido a la carga de +3 nC situada en el punto B, vale lo mismo, ya que la distancia y la carga son las mismas:

$$V_{OB} = 13,5 \text{ V}$$

Se calcula el potencial en el punto O debido a la carga de -6 nC situada en el punto C:

$$V_{OC} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{-6,00 \cdot 10^{-9} [\text{C}]}{(1,00 [\text{m}])} = -54,0 \text{ V}$$

Se calcula el potencial eléctrico en el punto O sumando los potenciales debidos a cada carga.

$$V_O = V_{OA} + V_{OB} + V_{OC} = 13,5 [\text{V}] + 13,5 [\text{V}] + (-54,0 [\text{V}]) = -27,0 \text{ V}$$

Sustituyendo los valores de los potenciales y teniendo en cuenta que en el punto D la velocidad es nula, la ecuación de conservación de la energía quedaría:

$$E_{cO} + q \cdot V_O = E_{cD} + q \cdot V_D$$

$$E_{cO} + 1,60 \cdot 10^{-19} [\text{C}] \cdot (-27,0 [\text{V}]) = 0 + 1,60 \cdot 10^{-19} [\text{C}] \cdot (-2,8 [\text{V}])$$

Despejando, se obtiene el valor de la energía cinética al pasar por el origen.

$$E_{cO} = 1,60 \cdot 10^{-19} [\text{C}] \cdot (27,0 - 2,8) [\text{V}] = 3,9 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

La velocidad del protón en el origen se obtiene de la expresión de la energía cinética:

$$E_{cO} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 E_{cO}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-18} [\text{J}]}{1,67 \cdot 10^{-27} [\text{kg}]}} = 6,8 \cdot 10^4 [\text{m/s}]$$

e)

El campo eléctrico es un campo conservativo, porque el trabajo que realiza la fuerza del campo, cuando una carga se mueve entre dos puntos, es independiente del camino seguido y solo depende de los puntos inicial y final. Se define una función escalar llamada energía potencial,  $E_p$ , asociada al campo vectorial de

fuerzas, de modo que el trabajo realizado por la fuerza del campo al mover una carga entre dos puntos es igual a la variación de la energía potencial entre esos dos puntos, cambiada de signo.

$$W = -\Delta E_p$$

También se define otra magnitud escalar, llamada potencial eléctrico, que es igual a la energía potencial de la unidad de carga.

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

El trabajo realizado por la fuerza del campo, cuando una carga mueve del punto A al punto B, es:

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p = -(E_{pB} - E_{pA}) = (E_{pA} - E_{pB}) = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q (V_A - V_B)$$

El trabajo que hace la fuerza del campo para llevar un protón desde el punto D hasta el origen es:

$$W_{D \rightarrow O} = q (V_D - V_O) = 1,60 \cdot 10^{-19} [C] \cdot (-2,8 - (-27,0)) [V] = 3,9 \cdot 10^{-18} J$$

Suponiendo que llega con la misma velocidad con la que sale, el trabajo de la fuerza resultante, igual a la variación de energía cinética, será nulo:

$$W(\text{resultante}) = W(\text{campo}) + W(\text{exterior}) = \Delta E_c = 0$$

El trabajo que hay que hacer es el opuesto al de la fuerza del campo.

$$W(\text{exterior}) = -W(\text{campo}) = -3,9 \cdot 10^{-18} J$$

*Análisis: El trabajo lo hace la fuerza del campo. Si la pregunta es el trabajo que hay que hacer, podemos suponer que es el trabajo necesario para que llegue al origen con velocidad nula. Como llega con una energía cinética, el trabajo será el opuesto al valor de la energía cinética.*

f) Para que el potencial en el origen se anule, debe cumplirse que:

$$V_O = V_{OA} + V_{OB} + V_{OC} + V_{OD} = 0$$

Se despeja el valor del potencial eléctrico que debe crear la carga que se colocará en el punto D.

$$V_{OD} = 0 - (-27,0 [V]) = 27,0 V$$

La carga que habría que colocar en el punto D, se obtiene de la ecuación del potencial eléctrico en un punto. La distancia del punto D(0,1) al origen es de 1,00 m.

$$V = K \frac{q}{r} \Rightarrow q = \frac{V \cdot r}{K} = \frac{27,0 [V] \cdot 1,00 [m]}{9,00 \cdot 10^9 [N \cdot m^2 \cdot C^{-2}]} = 3,00 \cdot 10^{-9} C = 3,00 nC$$

g) Para que la intensidad del campo electrostático en el origen sea nulo, debe cumplirse que:

$$\vec{E}_O = \vec{E}_{OA} + \vec{E}_{OB} + \vec{E}_{OC} + \vec{E}_{OD} = \vec{0}$$

La distancia del punto A(2, 0) al origen es:  $r_{AO} = 2,00 m$ .

El vector unitario del punto O, tomando como origen el punto A, es  $-\vec{i}$ , el vector unitario del eje X en sentido negativo.

Se calcula el campo electrostático en el origen, creado por la carga de +3 nC situada en el punto A:

$$\vec{E}_{OA} = 9,00 \cdot 10^9 [N \cdot m^2 \cdot C^{-2}] \cdot \frac{3,00 \cdot 10^{-9} [C]}{(2,00 [m])^2} (-\vec{i}) = -6,75 \vec{i} N/C$$

El campo electrostático en el origen, debido a la carga de +3 nC, situada en el punto B, es opuesto al creado por la carga situada en el punto A. Está dirigida en sentido contrario:

$$\vec{E}_{OB} = 6,75 \vec{i} N/C$$

La distancia del punto C(0, -1) al origen es:  $r_{CO} = 1,00 m$ .

El vector unitario del punto O, tomando como origen el punto C es  $\vec{j}$ , el vector unitario del eje Y.

Se calcula campo electrostático en el origen, creado por la carga de -6 nC situada en el punto C:

$$\vec{E}_{OC} = 9,00 \cdot 10^9 [N \cdot m^2 \cdot C^{-2}] \cdot \frac{-6,00 \cdot 10^{-9} [C]}{(1,00 [m])^2} \vec{j} = -54,0 \vec{j} N/C$$

La distancia del punto D(0, 1) al origen es:  $r_{DO} = 1,00$  m.

El vector unitario del punto O, tomando como origen el punto D es  $-\vec{j}$ , el vector unitario del eje Y en sentido negativo.

Se escribe la expresión del campo electrostático en el origen, creado por la carga  $q_2$  situada en el punto D, en función de la carga:

$$\vec{E}_{OD} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \cdot \frac{q_2}{(1,00 [\text{m}])^2} (-\vec{j}) = -9,00 \cdot 10^9 \cdot q_2 \vec{j} [\text{N} \cdot \text{C}^{-2}]$$

Se suman las expresiones y se iguala al vector  $\vec{0}$ .

$$-6,75 \vec{i} [\text{N/C}] + 6,75 \vec{i} [\text{N/C}] - 54,0 \vec{j} [\text{N/C}] - 9,00 \cdot 10^9 \cdot q_2 \vec{j} [\text{N} \cdot \text{C}^{-2}] = 0 \vec{i} + 0 \vec{j}$$

El valor de la carga se obtiene despejando  $q_2$ :

$$q_2 = \frac{-54,0 [\text{N/C}]}{9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{C}^{-2}]} = -6,00 \cdot 10^{-9} \text{ C} = -6,00 \text{ nC}$$

*Análisis: El valor podría haberse deducido inmediatamente, porque el punto D y el punto C están situados en el eje Y simétricamente respecto al origen. Las cargas en ambos deben de ser iguales para que su aportación al campo se anule, del mismo modo que se anula la aportación de las cargas situadas en A y B, en el eje X, que también son iguales. Fíjese en que la carga que anula el campo, no coincide con la que anula el potencial.*

Algunas de las respuestas y su cálculo pueden verse con la hoja de cálculo [Electrostática \(es\)](#).

En la hoja de cálculo, haga clic en la pestaña «Enunciado» de la parte inferior y escriba los datos en las celdas blancas de borde azul, y haga clic y elija las magnitudes y unidades en las celdas de color salmón:

Enunciado		Datos: K =	9,00·10 <sup>9</sup> N·m <sup>2</sup> ·C <sup>-2</sup>	ε' =	1
Dada la siguiente distribución de cargas, (en		nC			
(coordenadas en		m			
y los puntos D y G, calcula:					
a) El vector campo eléctrico en el punto	D				
b) El vector fuerza sobre					
una partícula de carga q =	1,60·10 <sup>-19</sup> C				
y masa m =	1,67·10 <sup>-27</sup> kg				
situada en ese punto.					
c) La aceleración de la partícula en ese punto.					
d) El trabajo necesario para desplazar la partícula					
anterior desde	el punto D hasta el punto G				
e) La velocidad con la que pasa por el punto	G				
si la velocidad en D es v(D) =	0 m/s				
f) La energía potencial del conjunto de cargas fijas					

Los resultados de los apartados a) b) c) d) y e) aparecen en las respuestas:

Respuestas		Cifras significativas: 3	
Componente x	Componente y	Módulo	Unidades
$\vec{E}(\text{D}) =$	0	-8,67	8,67 N/C
$\vec{F} =$	0	-1,39·10 <sup>-18</sup>	1,39·10 <sup>-18</sup> N
$\vec{a} =$	0	-8,31·10 <sup>8</sup>	8,31·10 <sup>8</sup> m/s <sup>2</sup>
$V(\text{D}) =$	-2,85	$V(\text{G}) =$	-27,0 V
$W(\text{ext.}) = -W(\text{campo D} \rightarrow \text{G}) =$		-3,86·10 <sup>-18</sup> J	

$$\begin{aligned}
 E_c(D) &= 0 & E_c(G) &= 3,86 \cdot 10^{-18} \text{ J} \\
 & & v(G) &= 6,80 \cdot 10^4 \text{ m/s} \\
 \text{Conjunto } E_p &= -1,25 \cdot 10^{-7} \text{ J}
 \end{aligned}$$

Si desea mayor detalle en los resultados o ver como se han hecho los cálculos, haga clic en la parte inferior en alguna de las pestañas «Campo», «Potencial» y/o «Energía\_Potencial».

Los restantes apartados no los resuelve esta hoja de cálculo. Puede comprobar si los resultados obtenidos son los correctos escribiendo el valor de la cuarta carga f)  $q = 3,00 \text{ nC}$ , o g)  $q_2 = -6,00 \text{ nC}$  y comprobando que el potencial, en el primer caso, o el vector intensidad de campo, en el segundo, son nulos.

Datos:

El vector campo eléctrico en el punto	G	$Q_3$	0	-1	-6
		$Q_4$	0	1	3
una partícula de carga $q =$					
y masa $m =$					
situada en ese punto.					
	G	Coord X (m)	0	Coord Y (m)	0

Resultados:

	Componente x	Componente y	Módulo Unidades	S.I.
$\vec{E}(G) =$	0	-81,0	81,0 N/C	
$V(G) =$	0		V	

Datos:

	$Q_4$	0	1	-6
--	-------	---	---	----

Resultados:

	Componente x	Componente y	Módulo Unidades	S.I.
$\vec{E}(G) =$	0	0	0 N/C	
$V(G) =$	-81,0		V	

2. En los vértices de un triángulo equilátero de 2,00 cm de lado se sitúan cargas puntuales de  $+3,00 \mu\text{C}$  cada una. Calcula:

- El campo electrostático en uno de los vértices.
- La fuerza que actúa sobre la carga situada en ese vértice.
- La carga que habría que colocar en el centro del triángulo para que el conjunto de las cargas quede en equilibrio.
- El potencial eléctrico en cualquier vértice, teniendo en cuenta la carga en el centro.
- La energía potencial electrostática del conjunto de las cuatro cargas.
- La energía puesta en juego para que el triángulo rote  $45^\circ$  alrededor de un eje que pasa por el centro y es perpendicular al plano del papel.
- El trabajo necesario para llevar la carga situada en el centro hasta el punto medio de un lado.
- Si la masa de la carga es de 0,250 g, y se suelta sin velocidad en el centro del lado, calcula su velocidad cuando pasa por el centro del triángulo.

Datos:  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ .

Problema basado en P.A.U. jun. 08, jun. 11 y sep. 14

**Rta.:** a)  $\vec{E} = 1,17 \cdot 10^8 \text{ N/C}$ , en la bisectriz hacia el exterior; b)  $\vec{F} = 351 \text{ N}$ ; c)  $q = -1,7320507 \mu\text{C}$

d)  $V = 1,35 \cdot 10^6 \text{ V}$ ; e)  $E_p = 0$ ; f)  $\Delta E = 0$ ; g)  $W(\text{ext.}) = -0,097 \text{ J}$ ; h)  $v = 28 \text{ m/s}$  hacia el vértice opuesto.

### Datos

Valor de cada carga fija  
Longitud del lado del triángulo equilátero  
Masa de la carga que se desplaza  
Constante de Coulomb

### Incógnitas

Campo electrostático en un vértice  
Fuerza que actúa sobre la carga situada en ese vértice  
Valor de la carga que equilibre a las otras tres  
Potencial eléctrico en un vértice

### Cifras significativas: 3

$Q = 3,00 \mu\text{C} = 3,00 \cdot 10^{-6} \text{ C}$   
 $L = 2,00 \text{ cm} = 0,0200 \text{ m}$   
 $m = 0,250 \text{ g} = 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$   
 $K = 9,00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

$\vec{E}$   
 $\vec{F}$   
 $q$   
 $V$

Energía potencial del conjunto de las cuatro cargas	$E_p$
Energía para que el triángulo rote $45^\circ$	$\Delta E$
Trabajo para llevar la carga del centro hasta el punto medio de un lado	$W_{O \rightarrow D}$
La velocidad cuando pasa por el centro del triángulo	$v$
<b>Otros símbolos</b>	
Distancia	$r$
<b>Ecuaciones</b>	
Campo eléctrico en un punto a una distancia, $r$ , de una carga puntual, $Q$	$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$
Principio de superposición	$\vec{E}_A = \sum \vec{E}_{A_i}$
Potencial eléctrico en un punto a una distancia, $r$ , de una carga puntual, $Q$	$V = K \frac{Q}{r}$
Potencial eléctrico en un punto debido a varias cargas	$V = \sum V_i$
Trabajo de la fuerza eléctrica al mover una carga, $q$ , del punto A al punto B	$W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$
Campo eléctrico	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q}$
Energía potencial electrostática de una carga, $q$ , en un punto A	$E_{pA} = q \cdot V_A$
Energía potencial electrostática de una interacción entre dos cargas puntuales, $Q$ y $q$ , a una distancia, $r$ , una de la otra	$E_p = K \frac{Q \cdot q}{r}$
Energía potencial electrostática de un conjunto de cargas	$E_p = \sum E_{p_i} = \frac{1}{2} \sum E_{p_i} q$
Energía cinética de un cuerpo de masa $m$ que se desplaza con velocidad $v$	$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
Principio de la conservación de la energía entre dos puntos A y B	$(E_c + E_p)_A = (E_c + E_p)_B$

**Solución:**

a) Se hace un dibujo situando las cargas en los vértices A y B del lado horizontal, que se elige como base, y el punto C será el otro vértice.

Se dibujan los vectores del campo en el vértice C, un vector por cada carga, prestando atención al sentido. Los campos creados por las cargas situadas en los puntos A y B son de repulsión, porque las cargas son positivas.

Como sus valores son iguales, porque las cargas y las distancias son iguales, los vectores serán de la misma medida.

Se dibuja la suma vectorial, que campo resultante,  $\vec{E}_C$ .

Las componentes horizontales de los campos creados por las cargas se anulan, y la resultante irá en el sentido positivo del eje Y. El valor de la resultante será la suma de las componentes verticales de cada campo, y, como son dos, medirá el doble de la componente vertical de uno de ellos.

El principio de superposición dice que la intensidad de campo electrostático en un punto, debido a la presencia de varias cargas, es la suma vectorial de los campos producidos en ese punto por cada carga, como si el resto de las cargas no estuviese presente.

Para determinar el campo en un punto, se calculan los campos creados en ese punto por cada carga, y luego se suman los vectores.

La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales,  $Q$  y  $q$ , separadas por una distancia,  $r$ , viene dada por la ley de Coulomb, en la que  $K$  es la constante de Coulomb y  $\vec{u}_r$  el vector unitario en la línea que une las cargas.

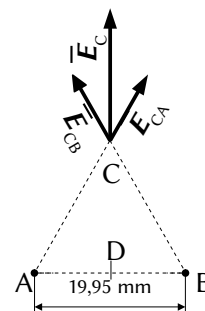
$$\vec{F}_E = K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r$$

El campo eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es la fuerza sobre la unidad de carga positiva situada en ese punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} = \frac{K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r}{q} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

La distancia entre los puntos A y C es el lado del triángulo:  $r = L = 2,00 \text{ cm} = 0,0200 \text{ m}$ .

Cuando se conoce el ángulo  $\alpha$  que forma un vector con el eje X, el vector unitario se calcula con la expresión:  $\vec{u}_r = \cos \alpha \vec{i} + \sin \alpha \vec{j}$ . El vector unitario del punto C, tomando como origen el punto A es:





$$\vec{u}_{AC} = \cos 60^\circ \vec{i} + \sin 60^\circ \vec{j} = 0,500 \vec{i} + 0,866 \vec{j}$$

Se calcula la intensidad de campo electrostático en el punto C, debido a la carga de  $3 \mu\text{C}$  situada en A:

$$\vec{E}_{CA} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0200 [\text{m}])^2} (0,500 \vec{i} + 0,866 \vec{j}) = (3,38 \cdot 10^7 \vec{i} + 5,85 \cdot 10^7 \vec{j}) \text{ N/C}$$

El campo electrostático en el punto C, debido a la carga de  $3 \mu\text{C}$  situada en el punto B, es simétrico al del punto A. Los valores de sus componentes son los mismos, pero el signo de la componente horizontal es opuesto, porque está dirigida en sentido contrario:

$$\vec{E}_{CB} = (-3,38 \cdot 10^7 \vec{i} + 5,85 \cdot 10^7 \vec{j}) \text{ N/C}$$

Por el principio de superposición, la intensidad de campo electrostático resultante en el punto C es la suma vectorial de las intensidades de campo debidas a cada carga, excepto la que se encuentra en el punto.

$$\vec{E}_C = \vec{E}_{CA} + \vec{E}_{CB} = (3,38 \cdot 10^7 \vec{i} + 5,85 \cdot 10^7 \vec{j}) [\text{N/C}] + (-3,38 \cdot 10^7 \vec{i} + 5,85 \cdot 10^7 \vec{j}) [\text{N/C}] = 1,17 \cdot 10^8 \vec{j} \text{ N/C}$$

*Análisis: La dirección del campo resultante es vertical hacia arriba, como se ve en el dibujo.*

Una respuesta general independiente de cómo se hayan elegido los vértices sería: el campo electrostático en el tercer vértice vale  $1,17 \cdot 10^8 \text{ N/C}$  y está dirigido según la bisectriz del ángulo hacia el exterior del triángulo.

b) Como la intensidad del campo electrostático en un punto es la fuerza sobre la unidad de carga positiva colocada en ese punto, se puede calcular la fuerza electrostática sobre la carga de  $3 \mu\text{C}$  a partir del vector intensidad de campo electrostático:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} = 3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}] \cdot 1,17 \cdot 10^8 \vec{j} [\text{N/C}] = 351 \vec{j} \text{ N}$$

Una respuesta general, independiente de cómo se hayan elegido los vértices, sería:

La fuerza electrostática sobre la carga situada en un vértice vale  $351 \text{ N}$  y está dirigido según la bisectriz del ángulo, hacia el exterior del triángulo.

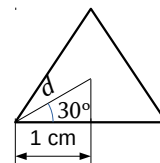
c) Para calcular la carga que habría que colocar en el centro del triángulo para que el conjunto quede en equilibrio, se busca la carga que, situada en el centro del triángulo, ejerza un campo electrostático en el vértice C que anule el que producen las cargas situadas en los otros vértices.

$$\vec{E}_{CO} = -(\vec{E}_{CA} + \vec{E}_{CB})$$

Se calcula primero la distancia del centro del triángulo al vértice:

$$\cos 30^\circ = \frac{1 [\text{cm}]}{d}$$

$$d = \frac{1 [\text{cm}]}{0,866} = 1,15 \text{ cm} = 0,0115 \text{ m}$$



Llamando  $q$  a la carga situada en el centro O, debe cumplirse que el campo electrostático creado por ella sea opuesto al que producen las cargas situadas en los otros vértices:

$$\vec{E}_{CO} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{q}{(0,0115 [\text{m}])^2} \vec{j} = -1,17 \cdot 10^8 \vec{j} [\text{N/C}]$$

$$q = \frac{-1,17 \cdot 10^8 [\text{N/C}] \cdot (0,0115 [\text{m}])^2}{9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}]} = -1,73 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

d)

El potencial eléctrico en un punto, debido a la presencia de varias cargas, es la suma de los potenciales producidos en ese punto por cada carga, como si el resto de las cargas no estuviese presente.

Para determinar el potencial eléctrico en un punto, se calculan los potenciales creados en ese punto por cada carga, y luego se suman.

La ecuación del potencial eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es:

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

$K$  es la constante de Coulomb.

Se calculan los potenciales en el punto C, debidos a cada una de las cargas:

$$V_{CA} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0200 [\text{m}])} = 1,35 \cdot 10^6 \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_{CA} = 1,35 \cdot 10^6 \text{ V}$$

$$V_{CO} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{-1,73 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0115 [\text{m}])} = -1,35 \cdot 10^6 \text{ V}$$

El potencial eléctrico es la suma:

$$V_C = V_{CA} + V_{CB} + V_{CO} = 1,35 \cdot 10^6 [\text{V}] + 1,35 \cdot 10^6 [\text{V}] - 1,35 \cdot 10^6 [\text{V}] = 1,35 \cdot 10^6 \text{ V}$$

e, f) La energía potencial de cada interacción entre dos cargas viene dada por la expresión:

$$E_{pi} = K \frac{Q \cdot q}{r}$$

La energía total electrostática es la suma de las energías de las seis interacciones: AB, AC, BC, AO, BO y CO.

Las tres primeras valen lo mismo, porque las cargas y las distancias son iguales:

$$E_{AB} = E_{AC} = E_{BC} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}] \cdot 3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{0,0200 [\text{m}]} = 4,05 \text{ J}$$

Y las tres últimas también valen lo mismo, porque las cargas y las distancias vuelven a ser iguales:

$$E_{AO} = E_{BO} = E_{CO} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}] \cdot (-1,73 \cdot 10^{-6} [\text{C}])}{0,0115 [\text{m}]} = -4,05 \text{ J}$$

$$E = E_{AB} + E_{AC} + E_{BC} + E_{AO} + E_{BO} + E_{CO} = 3 \cdot 4,05 [\text{J}] + 3 \cdot (-4,05 [\text{J}]) = 0$$

*Análisis: Si se calculase la energía total como la suma de las energías potenciales de las seis cargas, el resultado daría el doble, porque se estarían contando las interacciones dos veces. Por ejemplo la interacción AB aparece en el cálculo de la energía potencial de la carga en A y también en el de la carga en B.*

Como al girar  $45^\circ$ , las distancias relativas no cambian, la energía de la nueva disposición es la misma, y la energía total requerida es cero.

g) Se llama punto D al centro del lado AB,

El campo eléctrico es un campo conservativo, porque el trabajo que realiza la fuerza del campo, cuando una carga se mueve entre dos puntos, es independiente del camino seguido y solo depende de los puntos inicial y final. Se define una función escalar llamada energía potencial,  $E_p$ , asociada al campo vectorial de fuerzas, de modo que el trabajo realizado por la fuerza del campo al mover una carga entre dos puntos es igual a la variación de la energía potencial entre esos dos puntos, cambiada de signo.

$$W = -\Delta E_p$$

También se define otra magnitud escalar, llamada potencial eléctrico, que es igual a la energía potencial de la unidad de carga.

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

El trabajo realizado por la fuerza del campo, cuando una carga mueve del punto A al punto B, es:

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p = -(E_{pB} - E_{pA}) = (E_{pA} - E_{pB}) = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q (V_A - V_B)$$

Se calculan los potenciales en el punto O debidos a cada carga, excepto la que se mueve. Son todos iguales, porque las cargas y las distancias son iguales:

$$V_{OA} = V_{OB} = V_{OC} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0115 [\text{m}])} = 2,34 \cdot 10^6 \text{ V}$$

El potencial eléctrico en el punto O es la suma:

$$V_O = V_{OA} + V_{OB} + V_{OC} = 3 \cdot 2,34 \cdot 10^6 [\text{V}] = 7,01 \cdot 10^6 \text{ V}$$

Se calculan los potenciales en el punto D, debidos a cada carga, excepto la que se mueve.

El potencial en el punto D, debido a cada una de las cargas del lado AB es:

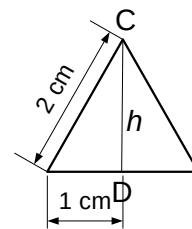
$$V_{DA} = V_{DB} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0100 [\text{m}])} = 2,70 \cdot 10^6 \text{ V}$$

La distancia del vértice C al centro D del lado opuesto vale:

$$h = \sqrt{(2,00 [\text{cm}])^2 - (1,00 [\text{cm}])^2} = \sqrt{3,00 [\text{cm}]^2} = 1,73 \text{ cm} = 0,0173 \text{ m}$$

Se calcula el potencial en el punto D, debido a la carga situada en el vértice C:

$$V_{DC} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0173 [\text{m}])} = 1,56 \cdot 10^6 \text{ V}$$



El potencial eléctrico en el punto D es la suma:

$$V_D = V_{DA} + V_{DB} + V_{DC} = 2 \cdot 2,70 \cdot 10^6 [\text{V}] + 1,56 \cdot 10^6 [\text{V}] = 6,96 \cdot 10^6 \text{ V}$$

El trabajo realizado por las fuerzas del campo electrostático cuando se mueve una carga  $q = -1,73 \mu\text{C}$  desde el punto O al D es:

$$W_{O \rightarrow D} = q (V_O - V_D) = -1,73 \cdot 10^{-6} [\text{C}] \cdot (7,01 \cdot 10^6 - 6,96 \cdot 10^6) [\text{V}] = -0,08 \text{ J}$$

*Análisis: Se pierden dos cifras significativas al restar. Si se usasen 6 cifras significativas, el resultado sería:*

$$W_{O \rightarrow D} = q (V_O - V_D) = -1,73205 \cdot 10^{-6} \cdot (7,01481 \cdot 10^6 - 6,95885 \cdot 10^6) = -0,09693 \text{ J.}$$

Suponiendo que llega con la misma velocidad con la que sale, el trabajo de la fuerza resultante, igual a la variación de energía cinética, será nulo:

$$W(\text{resultante}) = W(\text{campo}) + W(\text{exterior}) = \Delta E_c = 0$$

El trabajo que hay que hacer es el opuesto al de la fuerza del campo.

El trabajo necesario para mover una carga  $q = -1,73 \mu\text{C}$  desde el punto O al D, suponiendo que llegue a D con la misma velocidad que tenía en O, es:

$$W(\text{exterior}) = -W(\text{campo}) = 0,08 \text{ J}$$

h) Como la fuerza electrostática es una fuerza conservativa, la energía mecánica se conserva.

$$\begin{aligned} (E_c + E_p)_O &= (E_c + E_p)_D \\ \frac{1}{2} m v_O^2 + q \cdot V_O &= \frac{1}{2} m v_D^2 + q \cdot V_D \\ -1,73 \cdot 10^{-6} [\text{C}] \cdot (7,01 \cdot 10^6 [\text{V}]) &= (2,50 \cdot 10^{-4} [\text{kg}] \cdot v_D^2) / 2 + (-1,73 \cdot 10^{-6} [\text{C}]) \cdot (6,96 \cdot 10^6 [\text{V}]) \\ v_D &= \sqrt{\frac{2 \cdot (-1,73 \cdot 10^{-6} [\text{C}]) \cdot (7,01 \cdot 10^6 - 6,96 \cdot 10^6) [\text{V}]}{2,50 \cdot 10^{-4} [\text{kg}]}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,09 [\text{J}]}{2,50 \cdot 10^{-4} [\text{kg}]}} = 3 \cdot 10^1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

*Análisis: Se pierden dos cifras significativas al restar. Si se trabajase con 6 cifras significativas, el resultado sería:  $v_D = 27,8 \text{ m/s}$ .*

Como la velocidad es un vector, hay que deducir la dirección y sentido.

Se puede deducir que la aceleración tiene la dirección del eje Y en sentido positivo, ya que pasa por el origen. Si un móvil parte del reposo, y la aceleración tiene dirección constante, el movimiento será rectilíneo en la línea de la aceleración. Por lo tanto, la dirección de la velocidad es la del eje Y en sentido positivo.

$$\vec{v}_D = 3 \cdot 10^1 \hat{j} \text{ m/s}$$

En general, el vector velocidad valdrá  $3 \cdot 10^1 \text{ m/s}$  en la dirección entre el centro del lado y el centro del triángulo, en el sentido del vértice opuesto al lado del que sale.

Algunas de las respuestas y su cálculo pueden verse con la hoja de cálculo [Electrostática \(es\)](#), aunque hay que ir por partes.

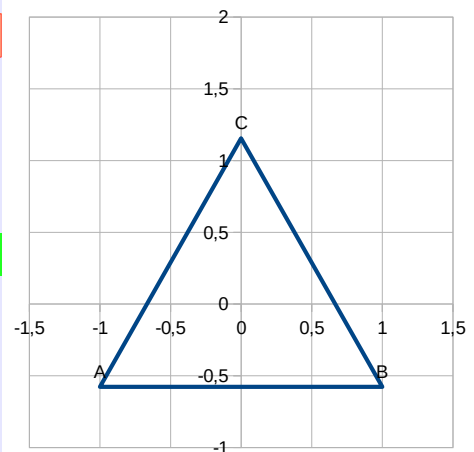
Primero habría que calcular las coordenadas. Haga clic en la pestaña «Coords». Escriba los datos en las celdas de color blanco y borde azul, y haga clic y elija las magnitudes y unidades en las celdas salmón:

Figura: **Triángulo equilátero**

Longitud de lado  cm

Situar el punto **Centro**  x (cm)  y (cm) cm

Girar  °



### RESULTADOS

Redondear a <input type="text" value="8"/> decimales	Coordenadas	
Punto	x (cm)	y (cm)
A	-1	-0,57735 027
B	1	-0,57735 027
C	0	1,15470 054

Seleccione las celdas con las coordenadas y cópielas (pulsando a un tiempo las teclas Ctrl y C). Haga clic en la pestaña «Enunciado» y haga clic a la derecha de  $Q_1$ . Elija en el menú: **Editar** → **Pegado especial** → **Pegar solo números**.

Escriba los datos en las celdas de color blanco y borde azul, y haga clic y elija las magnitudes y unidades en las celdas de color salmón:

**Enunciado** Datos:  $K = 9,00 \cdot 10^9$   $\epsilon' = 1$

Dada la siguiente distribución de cargas, (en  $\mu C$ )

	Coord X (cm)	Coord Y (cm)	Carga ( $\mu C$ )
$Q_1$	-1	-0,57735 027	3
$Q_2$	1	-0,57735 027	3
$Q_3$			
$Q_4$			

(coordenadas en cm)

y los puntos C y B, calcula:

a) El vector campo eléctrico en el punto **C**

b) El vector fuerza sobre una partícula de carga  $q = 3 \mu C$

y masa  $m =$

situada en ese punto.

	Coord X (cm)	Coord Y (cm)
<b>C</b>	0	1,15470 054

Los resultados son:

**Respuestas** Cifras significativas:

	Componente x	Componente y	Módulo	Unidades	S.I.
$\vec{E}(C) =$	0	$1,16913 \cdot 10^8$	$1,16913 \cdot 10^8$	N/C	
$\vec{F} =$	0	350,740	350,740	N	

$V(C) = 2,70000 \cdot 10^6$  V

Puntos del trabajo no definidos

Conjunto  $E_p = 12,1500$  J

Carga que equilibra  $Q = -1,73205 \cdot 10^{-6}$  C

en Coordenada x  Coordenada y  m

Para el apartado d), habrá que escribir el valor de la carga que equilibra y poner sus coordenadas en la pestaña «Enunciado».

**Enunciado** Datos:  $K = 9,00 \cdot 10^9$   $\epsilon' = 1$

Dada la siguiente distribución de cargas, (en  $\mu C$ )

	Coord X (cm)	Coord Y (cm)	Carga ( $\mu C$ )
$Q_1$	-1	-0,57735 026 919	3

(coordenadas en cm)

y los puntos D y G, calcula:

a) El vector campo eléctrico en el punto

C

b) El vector fuerza sobre

una partícula de carga  $q =$

y masa  $m =$

situada en ese punto.

$Q_2$	1	-0,57735 026 919	3
$Q_3$	0	1,15470 053 838	3
$Q_4$	0	0,00000 000 000	-1,7320507

	Coord X (cm)	Coord Y (cm)
C	0	1,15470 053 838

El nuevo resultado sería:

### Respuestas

Cifras significativas: 6

	Componente x	Componente y	Módulo Unidades
$\vec{E}(C) =$	0	0	0 N/C
$V(C) =$	1,35000·10 <sup>6</sup>		V

Para los restantes apartados, habrá que escribir la masa y la carga de la partícula que se desplaza, poner las coordenadas de los puntos medio G y D (centro de la base del triángulo) y elegir los puntos inicial y final en los apartados d) trabajo y e) velocidad. Pestaña «Enunciado».

### Enunciado

Datos:  $K = 9,00 \cdot 10^9$

$\epsilon' = 1$

Dada la siguiente distribución de cargas, (en  $\mu C$ )

(coordenadas en cm)

y los puntos D y G, calcula:

a) El vector campo eléctrico en el punto

D

b) El vector fuerza sobre

una partícula de carga  $q =$

y masa  $m =$

situada en ese punto.

	Coord X (cm)	Coord Y (cm)	Carga ( $\mu C$ )
$Q_1$	-1	-0,57735 026 919	3
$Q_2$	1	-0,57735 026 919	3
$Q_3$	0	1,15470 053 838	3
$Q_4$	0	0,00000 000 000	-1,7320507

	Coord X (cm)	Coord Y (cm)
D	0	-0,57735 026 919
G	0	0

d) El trabajo necesario para desplazar la partícula

anterior desde el punto D hasta el punto G

e) La velocidad con la que pasa por el punto

G

si la velocidad en D es  $v(D) =$

0 m/s

f) La energía potencial del conjunto de cargas fijas

Los nuevos resultados son:

$V(D) =$	6,95885·10 <sup>6</sup>	$V(G) =$	7,01481·10 <sup>6</sup> V
$W(\text{ext.}) = -W(\text{campo D} \rightarrow \text{G}) =$			-0,0969256 J
$E_c(D) =$	0	$E_c(G) =$	0,0969256 J
		$v(G) =$	27,8461 m/s
		Conjunto $E_p =$	0 J

3. Dos cargas eléctricas positivas ( $q_1$  y  $q_2$ ) están separadas una distancia de 1 m. Entre las dos hay un punto, situado a 20 cm de  $q_1$ , donde el campo eléctrico es nulo. Sabiendo que  $q_1 = 2 \mu C$ , calcula:

a) El valor de  $q_2$ .

b) El potencial en el punto en el que se anula el campo.

c) El trabajo realizado por la fuerza del campo para llevar una carga de  $-3 \mu C$  desde el punto en el que se anula el campo hasta el infinito.

Dato:  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ .

(A.B.A.U. extr. 18)

Rta.: a)  $q_2 = 32 \mu C$ ; b)  $V = 4,5 \cdot 10^5 \text{ V}$ ; c)  $W = -1,4 \text{ J}$ .

**Datos**Distancia entre las cargas  $q_1$  y  $q_2$ Distancia del punto P, en el que se anula el campo, a la carga  $q_1$ 

Valor de la carga situada en el punto 1

Valor de la carga situada en el punto P

Campo eléctrico en el punto P

Constante de Coulomb

**Incógnitas**Valor da carga  $q_2$ 

Potencial eléctrico en el punto P

Trabajo para trasladar una carga de  $-3 \mu\text{C}$  desde P hasta el infinito**Ecuaciones**Campo eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ 

Principio de superposición

Potencial eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ 

Potencial eléctrico en un punto debido a varias cargas

Trabajo de la fuerza eléctrica al mover una carga desde A hasta B

**Cifras significativas: 3**

$$r_{12} = 1,00 \text{ m}$$

$$r_{P1} = 20,0 \text{ cm} = 0,200 \text{ m}$$

$$q_1 = 2,00 \mu\text{C} = 2,00 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_2 = -3,00 \mu\text{C} = -3,00 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$\vec{E}_P = \vec{0}$$

$$K = 9,00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

$$q_2$$

$$V_P$$

$$W_{P \rightarrow \infty}$$

$$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

$$\vec{E}_A = \sum \vec{E}_{Ai}$$

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

$$V = \sum V_i$$

$$W_{A \rightarrow B} = q (V_A - V_B)$$

**Solución:**

a) Se hace un dibujo colocando las cargas sobre el eje horizontal, una en el origen, y la otra a 1 m de distancia, por ejemplo, en el semieje positivo. Se coloca el punto P a 20 cm del origen, entre ambas cargas.

Se dibuja en el punto P el vector campo eléctrico creado por la carga  $q_1$ , prestando atención al sentido, que es de repulsión porque la carga es positiva.

El principio de superposición dice que la intensidad de campo electrostático en un punto, debido a la presencia de varias cargas, es la suma vectorial de los campos producidos en ese punto por cada carga, como si el resto de las cargas no estuviese presente.

Para determinar el campo en un punto, se calculan los campos creados en ese punto por cada carga, y luego se suman los vectores.

La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales,  $Q$  y  $q$ , separadas por una distancia,  $r$ , viene dada por la ley de Coulomb, en la que  $K$  es la constante de Coulomb y  $\vec{u}_r$  el vector unitario en la línea que une las cargas.

$$\vec{F}_E = K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r$$

El campo eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es la fuerza sobre la unidad de carga positiva situada en ese punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} = \frac{K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r}{q} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

La distancia entre la carga  $q_1$  y el punto P es:  $r_{P1} = 20,0 \text{ cm} = 0,200 \text{ m}$ .

El vector unitario del punto P, tomando como origen el punto 1, es  $\vec{i}$ , el vector unitario del eje X.

Se calcula el campo en el punto P, debido a la carga de  $2 \mu\text{C}$  situada en el punto 1:

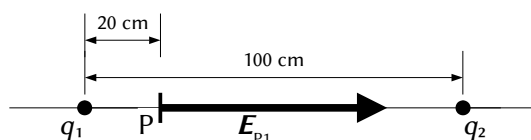
$$\vec{E}_{P1} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{2,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,200 [\text{m}])^2} \vec{i} = 4,50 \cdot 10^5 \vec{i} \text{ N/C}$$

El campo en el punto P debido a la carga  $q_2$ , situada a 1 m de distancia de la carga  $q_1$ , tiene que ser opuesta, para que el campo en el punto P sea nula.

$$\vec{E}_{P2} = -4,50 \cdot 10^5 \vec{i} \text{ N/C}$$

La distancia de  $q_2$  al punto P es:  $r_{P2} = 1,00 [\text{m}] - 0,200 [\text{m}] = 0,80 \text{ m}$

Se escribe la expresión del módulo del campo creado por la carga  $q_2$  en el punto P, y se sustituyen los datos:



$$|\vec{E}_{P2}| = K \frac{q_2}{r_{P2}^2} \Rightarrow 4,50 \cdot 10^5 = 9,00 \cdot 10^9 \frac{q_2}{0,80^2}$$

El valor de la carga se obtiene despejando  $q_2$ :

$$q_2 = \frac{4,50 \cdot 10^5 [\text{N} \cdot \text{C}^{-1}] \cdot (0,80 [\text{m}])^2}{9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}]} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ C} = 32 \mu\text{C}$$

*Análisis:* Como la distancia de  $q_2$  al punto P es 4 veces mayor que la de la carga  $q_1$ , el valor de la carga tendrá que ser  $4^2 = 16$  veces mayor.

b)

El potencial eléctrico en un punto, debido a la presencia de varias cargas, es la suma de los potenciales producidos en ese punto por cada carga, como si el resto de las cargas no estuviese presente.

Para determinar el potencial eléctrico en un punto, se calculan los potenciales creados en ese punto por cada carga, y luego se suman.

La ecuación del potencial eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es:

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

$K$  es la constante de Coulomb.

Se calculan los potenciales en el punto P debidos a cada una de las cargas:

$$V_{P1} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{2,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,200 [\text{m}])} = 9,00 \cdot 10^4 \text{ V}$$

$$V_{P2} = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{32 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,80 [\text{m}])} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ V}$$

El potencial eléctrico en el punto P es la suma:

$$V_P = V_{P1} + V_{P2} = 9,00 \cdot 10^4 [\text{V}] + 3,6 \cdot 10^5 [\text{V}] = 4,5 \cdot 10^5 \text{ V}$$

El campo eléctrico es un campo conservativo, porque el trabajo que realiza la fuerza del campo, cuando una carga se mueve entre dos puntos, es independiente del camino seguido y solo depende de los puntos inicial y final. Se define una función escalar llamada energía potencial,  $E_p$ , asociada al campo vectorial de fuerzas, de modo que el trabajo realizado por la fuerza del campo al mover una carga entre dos puntos es igual a la variación de la energía potencial entre esos dos puntos, cambiada de signo.

$$W = -\Delta E_p$$

También se define otra magnitud escalar, llamada potencial eléctrico, que es igual a la energía potencial de la unidad de carga.

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

El trabajo realizado por la fuerza del campo, cuando una carga mueve del punto A al punto B, es:

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p = -(E_{pB} - E_{pA}) = (E_{pA} - E_{pB}) = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q (V_A - V_B)$$

c) El potencial en el infinito es cero, porque se toma como origen. El trabajo que hace la fuerza del campo cuando se traslada una carga de  $-3 \mu\text{C}$  desde el punto P hasta el infinito es:

$$W_{P \rightarrow \infty} = q (V_P - V_\infty) = -3,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}] \cdot (4,5 \cdot 10^5 - 0) [\text{V}] = -1,4 \text{ J}$$

4. Una carga puntual  $Q$  ocupa la posición  $(0, 0)$  del plano  $XY$  en el vacío. En un punto A del eje  $X$  el potencial es  $V = -100 \text{ V}$  y el campo eléctrico es  $\vec{E} = -10 \hat{i} \text{ N/C}$  (coordenadas en metros):

a) Calcula la posición del punto A y el valor de  $Q$ .

b) Determina el trabajo necesario para llevar un protón desde el punto B(2, 2) hasta el punto A.

c) Haz una representación gráfica aproximada de la energía potencial del sistema en función de la distancia entre ambas cargas. Justifica la respuesta.

Dato: Carga del protón:  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ .

(P.A.U. sep. 11)

**Rta.:** a)  $\vec{r}_A = (10, 0) \text{ m}$ ;  $Q = -1,11 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ ; b)  $W = -4,05 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ .

**Datos**

Posición de la carga  $Q$   
 Potencial eléctrico en el punto A  
 Campo eléctrico en el punto A  
 Posición del punto B  
 Carga del protón  
 Constante de Coulomb

**Incógnitas**

Posición del punto A  
 Valor de la carga  $Q$   
 Trabajo necesario para llevar un protón del punto B al punto A

**Incógnitas**

Posición del punto A  
 Valor de la carga  $Q$   
 Trabajo necesario para llevar un protón del punto B al punto A

**Ecuaciones**

Campo eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$

Potencial eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$

Trabajo de la fuerza eléctrica al mover una carga del punto A al punto B  
 Energía potencial eléctrica de una interacción entre dos cargas,  $Q$  y  $q$ , situadas a una distancia,  $r$ , una de la otra.

**Cifras significativas: 3**

$\vec{r}_O = (0, 0) \text{ m}$   
 $V_A = -100 \text{ V}$   
 $\vec{E} = -10,0 \hat{i} \text{ N/C}$   
 $\vec{r}_B = (2,000, 2,000) \text{ m}$   
 $q_p = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
 $K = 9,00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

$\vec{r}_A$   
 $Q$   
 $W_{B \rightarrow A}$

$\vec{r}_A$   
 $Q$   
 $W_{B \rightarrow A}$

$$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

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

$$W_{A \rightarrow B} = q (V_A - V_B)$$

$$E_p = q \cdot V = K \frac{Q \cdot q}{r}$$

**Solución:**

La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales,  $Q$  y  $q$ , separadas por una distancia,  $r$ , viene dada por la ley de Coulomb, en la que  $K$  es la constante de Coulomb y  $\vec{u}_r$  el vector unitario en la línea que une las cargas.

$$\vec{F}_E = K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r$$

El campo eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es la fuerza sobre la unidad de carga positiva situada en ese punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} = \frac{K \frac{Q \cdot \cancel{q}}{r^2} \vec{u}_r}{\cancel{q}} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

a) Se sustituyen los datos en la ecuación del campo eléctrico:

$$-10,0 \hat{i} [\text{N/C}] = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

Tomando solo el módulo, queda:

$$10,0 [\text{N/C}] = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{|Q|}{r^2}$$

La ecuación del potencial eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es:

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

$K$  es la constante de Coulomb.

También se sustituye en la ecuación de potencial eléctrico:

$$-100 [\text{V}] = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{Q}{r}$$



Como en la ecuación del campo eléctrico aparece el valor absoluto de la carga,  $|Q|$ , se usa la ecuación del potencial en valores absolutos:

$$100 \text{ [V]} = 9,00 \cdot 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{|Q|}{r}$$

Se resuelve el sistema:

$$\begin{cases} 10,0 = 9,00 \cdot 10^9 \frac{|Q|}{r^2} \\ 100 = 9,00 \cdot 10^9 \frac{|Q|}{r} \end{cases}$$

Dividiendo la segunda ecuación entre la primera se obtiene:

$$\frac{100}{10,0} = \frac{\frac{9,00 \cdot 10^9 |Q|}{r}}{\frac{9,00 \cdot 10^9 |Q|}{r^2}} = r$$

$$r = 10,0 \text{ m}$$

Despejando el valor absoluto de la carga  $|Q|$  de la segunda ecuación:

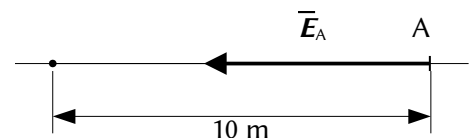
$$|Q| = \frac{100 \text{ [V]} \cdot r}{9,00 \cdot 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}]} = \frac{100 \text{ [V]} \cdot 10,0 \text{ [m]}}{9,00 \cdot 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}]} = 1,11 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

El potencial es negativo, por lo tanto, la carga debe ser negativa:

$$Q = -1,11 \cdot 10^{-7} \text{ C} = -11,1 \text{ } \mu\text{C}$$

Como el campo en el punto A va en sentido negativo del eje X,  $\vec{E}_A = -10,0 \hat{i} \text{ (N/C)}$ , el punto tiene que estar en el semieje positivo:

$$\vec{r}_A = (10,0, 0) \text{ m}$$



El campo eléctrico es un campo conservativo, porque el trabajo que realiza la fuerza del campo, cuando una carga se mueve entre dos puntos, es independiente del camino seguido y solo depende de los puntos inicial y final. Se define una función escalar llamada energía potencial,  $E_p$ , asociada al campo vectorial de fuerzas, de modo que el trabajo realizado por la fuerza del campo al mover una carga entre dos puntos es igual a la variación de la energía potencial entre esos dos puntos, cambiada de signo.

$$W = -\Delta E_p$$

También se define otra magnitud escalar, llamada potencial eléctrico, que es igual a la energía potencial de la unidad de carga.

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

El trabajo realizado por la fuerza del campo, cuando una carga mueve del punto A al punto B, es:

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_p = -(E_{pB} - E_{pA}) = (E_{pA} - E_{pB}) = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q (V_A - V_B)$$

b) Para calcular el potencial del punto B, hay que calcular primero la distancia del punto B a la carga  $Q$ :

$$r_{OB} = \sqrt{(2,00 \text{ [m]})^2 + (2,00 \text{ [m]})^2} = 2,83 \text{ m}$$

Se calcula el potencial eléctrico en el punto B:

$$V_B = 9,00 \cdot 10^9 \text{ [N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{|-1,11 \cdot 10^{-7} \text{ [C]}|}{2,83 \text{ [m]}} = -353 \text{ V}$$

Se calcula el trabajo que hace la fuerza del campo:

$$W_{A \rightarrow B} = q (V_A - V_B) = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ [C]} \cdot (-353 - (-100)) \text{ [V]} = -4,05 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

Suponiendo que llega con la misma velocidad con la que sale, el trabajo de la fuerza resultante, igual a la variación de energía cinética, será nulo:

$$W(\text{resultante}) = W(\text{campo}) + W(\text{exterior}) = \Delta E_c = 0$$

El trabajo que hay que hacer es el opuesto al de la fuerza del campo.

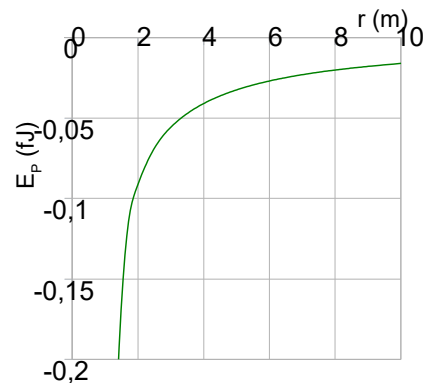
$$W(\text{exterior}) = -W(\text{campo}) = 4,05 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

c) La energía potencial de una interacción entre dos cargas viene dada por la expresión:

$$E_p = q \cdot V = K \frac{Q \cdot q}{r}$$

Es inversamente proporcional a la distancia entre ambas cargas. Como las cargas son de signo opuesto, la energía potencial es negativa y aumenta con la distancia, llegando a cero a una distancia infinita.

La gráfica de la energía potencial del sistema en función de la distancia entre ambas cargas se muestra a la derecha.



## ● Campo uniforme

- Dos láminas conductoras con igual carga y signo contrario están colocadas horizontalmente y separadas 5 cm. La intensidad del campo eléctrico en su interior es  $2,5 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$ . Una microgota de aceite cuya masa es  $4,90 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$ , y con carga negativa, está en equilibrio, suspendida en un punto equidistante de ambas placas.

- Razona cuál de las dos láminas está cargada positivamente.
- Determina la carga de la microgota.
- Calcula la diferencia de potencial entre las láminas conductoras.

Dato:  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

(P.A.U. sep. 15)

**Rta.:** b)  $q = 1,92 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ ; c)  $\Delta V = 1,25 \cdot 10^4 \text{ V}$ .

### **Datos**

Intensidad del campo eléctrico

Distancia entre las láminas conductoras

Masa de la microgota

Valor del campo gravitatorio terrestre

### **Incógnitas**

Carga de la microgota

Diferencia de potencial entre las láminas conductoras

### **Ecuaciones**

Fuerza sobre una carga puntual  $q$  en un campo electrostático uniforme  $\vec{E}$

Valor de la fuerza peso

Diferencia de potencial en un campo eléctrico constante

### **Cifras significativas: 3**

$$|\vec{E}| = 2,50 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$d = 5,00 \text{ cm} = 0,0500 \text{ m}$$

$$m = 4,90 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

$$q$$

$$\Delta V$$

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

$$P = m \cdot g$$

$$\Delta V = |\vec{E}| \cdot d$$

### **Solución:**

a, b) Peso:

$$P = m \cdot g = 4,90 \cdot 10^{-14} [\text{kg}] \cdot 9,80 [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] = 4,80 \cdot 10^{-13} \text{ N}$$

Cuando la microgota alcanza el equilibrio, la fuerza eléctrica equilibra a la fuerza peso.

$$F_E = q \cdot E = 4,80 \cdot 10^{-13} \text{ N}$$

Carga eléctrica:

$$q = \frac{F_E}{E} = \frac{4,80 \cdot 10^{-13} [\text{N/C}]}{2,5 \cdot 10^5 [\text{N}]} = 1,92 \cdot 10^{-18} \text{ C}$$

*Análisis: La carga eléctrica de la microgota es solo ligeramente mayor que la del electrón. Corresponde a la de  $1,92 \cdot 10^{-18} \text{ C}$  /  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 12$  electrones. Este resultado parece razonable.*

La fuerza eléctrica está dirigida hacia arriba, en sentido contrario al peso. Como la carga de la microgota es negativa, el campo eléctrico debe estar dirigido hacia abajo: la lámina superior es la positiva y la inferior la negativa.

c) La diferencia de potencial vale:

$$\Delta V = |\vec{E}| \cdot d = 2,50 \cdot 10^5 \text{ [N/C]} \cdot 0,0500 \text{ [m]} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ V}$$

La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#)

Cuando esté en el índice, mantenga pulsada la tecla «↑» (mayúsculas) mientras hace clic en la celda

[Partícula cargada moviéndose en un campo eléctrico uniforme](#)

del capítulo

**Electromagnetismo** Parabolico [Partícula cargada moviéndose en un campo eléctrico uniforme](#)

Haga clic en las celdas de color salmón y elija las opciones como se muestra. Escriba los datos en las celdas de color blanco y borde azul.

Intensidad de campo eléctrico	$E =$	<input type="text" value="2,5·10&lt;sup&gt;5&lt;/sup&gt;"/>	N/C	Sentido	<input type="text" value="↓"/>
Distancia entre las placas	$d =$	<input type="text" value="5"/>	cm		
Longitud del campo eléctrico	$L =$	<input type="text"/>	cm		
Partícula	Carga $q =$	<input type="text"/>			
	Masa $m =$	<input type="text" value="4,90·10&lt;sup&gt;-14&lt;/sup&gt;"/>	kg		
Velocidad	Módulo $ v_0  =$	<input type="text"/>	m/s		
	Dirección $\varphi =$	<input type="text"/>			
Altura del punto de entrada	$h_0 =$	<input type="text"/>	cm		
Desplazamiento vertical	$\Delta y =$	<input type="text" value="0"/>	cm		
Aceleración de la gravedad	$g =$	<input type="text" value="9,8"/>	m/s <sup>2</sup>		

Los resultados son:

b)	Carga (12 e)	$q =$	$-1,92 \cdot 10^{-18} \text{ C}$
c)	$\Delta V$ placas	$\Delta V =$	$1,25 \cdot 10^4 \text{ V}$

2. Una esfera pequeña, de masa 2 g y carga  $+3 \mu\text{C}$ , cuelga de un hilo de 6 cm de longitud entre dos placas metálicas verticales y paralelas separadas entre sí una distancia de 12 cm. Las placas poseen cargas iguales pero de signo contrario. Calcula:

- El campo eléctrico entre las placas para que el hilo forme un ángulo de  $45^\circ$  con la vertical.
- La tensión del hilo en ese momento.
- Si las placas se descargan, ¿cuál será la velocidad de la esfera al pasar por la vertical?

Dato:  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

(A.B.A.U. ord. 17)

**Rta.:** a)  $E = 6,54 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ ; b)  $T = R = 0,0277 \text{ N}$ ; c)  $v = 0,587 \text{ m/s}$ .

### Datos

Masa de la esfera

Carga de la esfera

Longitud del hilo

Ángulo que forma el hilo con la vertical

Valor del campo gravitatorio terrestre

### Incógnitas

Valor del campo eléctrico

Tensión del hilo

Velocidad de la esfera al pasar por la vertical

### Otros símbolos

Fuerza resultante de las fuerzas eléctrica y peso

Altura del punto de equilibrio

### Cifras significativas: 3

$m = 2,00 \text{ g} = 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$

$q = 3,00 \mu\text{C} = 3,00 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

$L = 6,00 \text{ cm} = 0,0600 \text{ m}$

$\alpha = 45^\circ$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$E$

$T$

$v$

$\vec{R}$

$h$

**Ecuaciones**

Campo eléctrico

Fuerza peso

Energía potencial de la fuerza peso

Energía cinética de una masa,  $m$ , que se mueve con una velocidad,  $v$ 

Principio de la conservación de la energía entre dos puntos A y B

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

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$(E_c + E_p)_A = (E_c + E_p)_B$$

**Solución:**

a) Se dibuja un esquema situando las fuerzas.

Cuando la esfera alcanza el equilibrio, la tensión,  $\vec{T}$ , equilibra a la resultante,  $\vec{R}$ , de las fuerzas peso,  $\vec{P}$ , y eléctrica,  $\vec{F}_E$ .

Se calcula el valor de la fuerza peso:

$$P = m \cdot g = 2,00 \cdot 10^{-3} [\text{kg}] \cdot 9,81 [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] = 0,0196 \text{ N}$$

Como el ángulo entre la resultante y la vertical es de  $45^\circ$  y  $\tan 45^\circ = 1,00$ , la fuerza eléctrica vale lo mismo que el peso.

$$F_E = P \cdot \tan 45^\circ = P = 0,0196 \text{ N}$$

Se calcula el campo eléctrico:

$$E = \frac{F_E}{q} = \frac{0,0196 \text{ N}}{3,00 \cdot 10^{-6} \text{ C}} = 6,54 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

b) Como la fuerza eléctrica y el peso son perpendiculares, la fuerza resultante vale:

$$|\vec{R}| = \sqrt{(0,0196 [\text{N}])^2 + (0,0196 [\text{N}])^2} = 0,0277 \text{ N}$$

El valor de la tensión es el mismo que el de la fuerza resultante:

$$T = R = 0,0277 \text{ N}$$

c) Al descargarse las láminas solo actúa la fuerza peso, que es una fuerza conservativa. La energía mecánica se conserva entre la posición inicial y el punto más bajo de la trayectoria.

La altura del punto de equilibrio, respecto al punto más bajo, puede calcularse del triángulo:

$$h = L - L \cos \alpha = L (1 - \cos \alpha) = 0,0600 [\text{m}] (1 - \cos 45^\circ) = 0,0176 \text{ m}$$

Se calcula la energía potencial del peso en el punto de partida, tomando como origen de energías el punto más bajo:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 2,00 \cdot 10^{-3} [\text{kg}] \cdot 9,81 [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \cdot 0,00240 [\text{m}] = 3,45 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

Se aplica el principio de conservación de la energía entre la posición inicial y el punto más bajo:

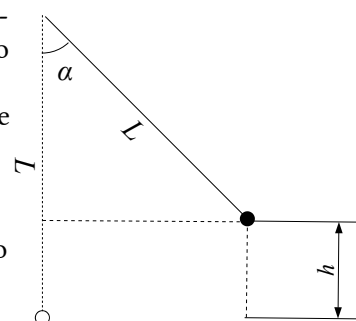
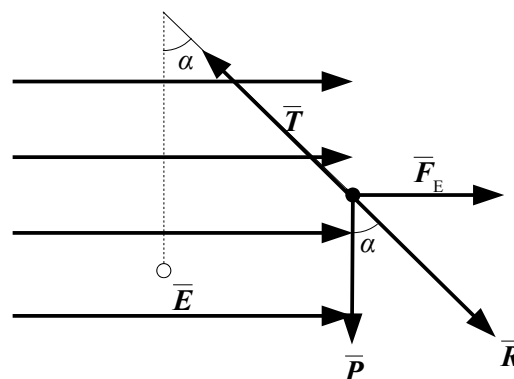
$$(E_c + E_p)_A = (E_c + E_p)_B$$

$$\left(\frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h\right)_A = \left(\frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h\right)_B$$

$$0 + 3,45 \cdot 10^{-4} [\text{J}] = (2,00 \cdot 10^{-3} [\text{kg}] \cdot v^2 / 2) + 0$$

La velocidad se calcula despejando:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,45 \cdot 10^{-4} [\text{J}]}{2,00 \cdot 10^{-3} [\text{kg}]}} = 0,587 \text{ m/s}$$

La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#)

Cuando esté en el índice, mantenga pulsada la tecla «↑» (mayúsculas) mientras hace clic en la celda

[Péndulo en campo eléctrico](#)

del capítulo

[Electromagnetismo](#) Pendulo\_Elec[Péndulo en campo eléctrico](#)

Haga clic en las celdas de color salmón y elija las opciones como se muestra. Escriba los datos en las celdas de color blanco y borde azul.

Sentido del campo eléctrico	→	
Intensidad de campo eléctrico	$E =$	N/C
Distancia entre placas	$d =$	12 cm
Masa oscilante	$m =$	2 g
Carga	$q =$	3 $\mu\text{C}$
Longitud del hilo	$L =$	6 cm
Ángulo	$\varphi =$	45 °
Aceleración de la gravedad	$g =$	9,81 m/s <sup>2</sup>

Los resultados son:

a)	Campo eléctrico	$E =$	6,54·10 <sup>3</sup> N/C
	Diferencia de potencial	$\Delta V =$	785 V
b)	Tensión del hilo	$T =$	0,0277 N
c)	Velocidad máxima	$v =$	0,587 m/s

## ● Esferas

1. Una esfera conductora de radio 4 cm tiene una carga de +8  $\mu\text{C}$  en equilibrio electrostático. Calcula cuánto valen en puntos que distan 0, 2 y 6 cm del centro de la esfera:

- El módulo de la intensidad del campo electrostático.
- El potencial eléctrico.
- Representa las magnitudes anteriores en función de la distancia al centro de la esfera.

DATO:  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

(A.B.A.U. ord 18)

Rta.: a)  $|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = 0$ ;  $|\vec{E}_3| = 2,00 \cdot 10^7 \text{ N/C}$ ; b)  $V_1 = V_2 = 1,80 \cdot 10^6 \text{ V}$ ;  $V_3 = 1,20 \cdot 10^6 \text{ V}$

### Datos

Carga de la esfera

Radio de la esfera

Distancias al centro de la esfera:

- punto interior 1
- punto interior 2
- punto exterior

Constante de Coulomb

### Incógnitas

Intensidad del campo eléctrico en los puntos 1, 2 y 3

Potencial eléctrico en los puntos 1, 2 y 3

### Ecuaciones

Campo eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$

$$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

Potencial eléctrico en un punto a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$

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

### Solución:

a) El módulo de la intensidad del campo eléctrico en los puntos 1 y 2, que se encuentran en el interior a 0 y 2 cm del centro de la esfera, es nulo porque el conductor se encuentra en equilibrio y todas las cargas se encuentran en la superficie de la esfera.

El módulo de la intensidad del campo eléctrico en el punto 3, a 6 cm del centro de la esfera, es el mismo que si la carga fuera puntual.

La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales,  $Q$  y  $q$ , separadas por una distancia,  $r$ , viene dada por la ley de Coulomb, en la que  $K$  es la constante de Coulomb y  $\vec{u}_r$  el vector unitario en la línea que une las cargas.

### Cifras significativas: 3

$$Q = 8,00 \mu\text{C} = 8,00 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$R = 4,00 \text{ cm} = 0,0400 \text{ m}$$

$$r_1 = 0 \text{ cm} = 0 \text{ m}$$

$$r_2 = 2,00 \text{ cm} = 0,0200 \text{ m}$$

$$r_3 = 6,00 \text{ cm} = 0,0600 \text{ m}$$

$$K = 9,00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

$$\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$$

$$V_1, V_2, V_3$$

$$\vec{F}_E = K \frac{Q \cdot q}{r^2} \vec{u}_r$$

El campo eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es la fuerza sobre la unidad de carga positiva situada en ese punto:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} = \frac{K \frac{Q \cdot \cancel{q}}{r^2} \vec{u}_r}{\cancel{q}} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

$$|\vec{E}_3| = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{8,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0600 [\text{m}])^2} = 2,00 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

b) El potencial eléctrico en los puntos 1 y 2 es el mismo que el potencial en la superficie de la esfera, que vale lo mismo que el creado por una carga puntual,  $Q$ , situada en el centro de la esfera:

La ecuación del potencial eléctrico en un punto situado a una distancia,  $r$ , de una carga puntual,  $Q$ , es:

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

$K$  es la constante de Coulomb.

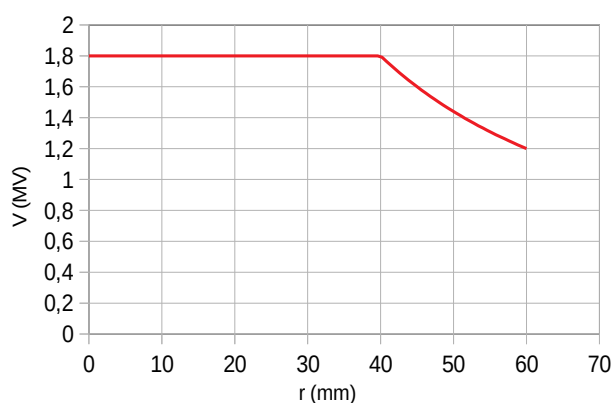
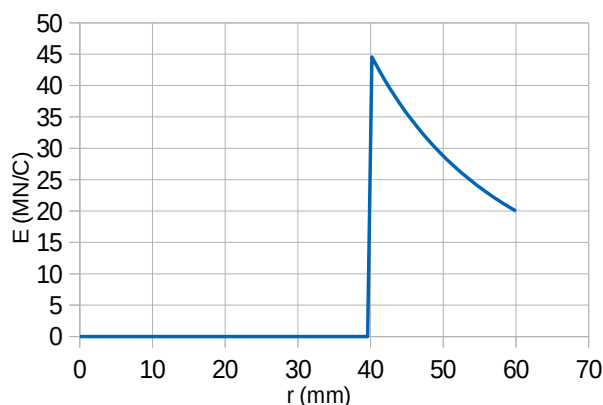
$$V_1 = V_2 = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{8,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0400 [\text{m}])} = 1,80 \cdot 10^6 \text{ V}$$

El potencial eléctrico en el punto 3 es el mismo que si la carga fuera puntual.

$$V_3 = 9,00 \cdot 10^9 [\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}] \frac{8,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}]}{(0,0600 [\text{m}])} = 1,20 \cdot 10^6 \text{ V}$$

c) La gráfica de la izquierda representa la variación del valor campo eléctrico con la distancia al centro de la esfera. El campo vale cero para distancias inferiores al radio de la esfera, es máxima para el radio, y disminuye de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia para valores mayores.

La gráfica de la derecha representa la variación del potencial eléctrico con la distancia al centro de la esfera. El potencial es constante para distancias inferiores o iguales al radio de la esfera y disminuye de forma inversamente proporcional a la distancia para valores mayores.



La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#)

Cuando esté en el índice, mantenga pulsada la tecla «↑» (mayúsculas) mientras hace clic en la celda

[Esferas concéntricas](#)

del capítulo

**Electromagnetismo** Esferas

[Esferas concéntricas](#)

Haga clic en las celdas de color salmón y elija las opciones como se muestra. Escriba los datos en las celdas de color blanco y borde azul.

Constante	$K =$	9,00·10 <sup>9</sup> N·m <sup>2</sup> /C <sup>2</sup>	$\epsilon' =$	1
Esfera		Interior		Exterior

Carga de la esfera	$Q =$		8		$\mu\text{C}$
Radio de la esfera	$R =$		4		cm
Distancia al centro del punto	$r =$	0	2	6	cm
		A	B	C	

Los resultados son:

	Punto	A	B	C
a)	Campo	0	0	$2,00 \cdot 10^7 \text{ N/C}$
b)	Potencial	$1,80 \cdot 10^6$	$1,80 \cdot 10^6$	$1,20 \cdot 10^6 \text{ V}$

Cuestiones y problemas de las [Pruebas de evaluación de Bachillerato para el acceso a la Universidad](#) (A.B.A.U. y P.A.U.) en Galicia.

[Respuestas](#) y composición de [Alfonso J. Barbadillo Marán](#).

Algunos cálculos se hicieron con una [hoja de cálculo](#) de [LibreOffice](#) u [OpenOffice](#) del mismo autor.

Algunas ecuaciones y las fórmulas orgánicas se construyeron con la extensión [CLC09](#) de Charles Lalanne-Cassou.

La traducción al/desde el gallego se realizó con la ayuda de [traducindote](#), de Óscar Hermida López.

Se procuró seguir las [recomendaciones](#) del Centro Español de Metrología (CEM).

Se consultó el chat de Bing y se usaron algunas respuestas en las cuestiones.

Actualizado: 26/08/23

## Sumario

### CAMPO ELECTROSTÁTICO

<i>Cargas puntuales.....</i>	<i>1</i>
1. Dos cargas eléctricas positivas de 3 nC cada una están fijas en las posiciones (2, 0) y (-2, 0) y una carga negativa de -6 nC está fija en la posición (0, -1). Calcula:.....	1
a) La energía electrostática del conjunto de las tres cargas.....	
b) El vector campo electrostático en el punto (0, 1).....	
c) La aceleración que experimentaría un protón situado en el punto (0, 1).....	
d) Se coloca un protón en el punto (0, 1), inicialmente en reposo y de manera que es libre de moverse. Razona si llegará hasta el origen de coordenadas y, en caso afirmativo, calcula la energía cinética que tendrá en ese punto y su velocidad.....	
e) Calcula el trabajo necesario para llevar al protón desde el punto (0, 1) hasta el origen.....	
f) Indica el signo y el valor de la carga que habría que situar en el punto (0, 1), en vez del protón, para que el potencial eléctrico en el origen se anulase.....	
g) Calcula la carga $q_2$ que habría que situar en el punto (0, 1), en vez del protón, para que la intensidad del campo electrostático en el origen sea nula.....	
2. En los vértices de un triángulo equilátero de 2,00 cm de lado se sitúan cargas puntuales de +3,00 $\mu\text{C}$ cada una. Calcula:.....	7
a) El campo electrostático en uno de los vértices.....	
b) La fuerza que actúa sobre la carga situada en ese vértice.....	
c) La carga que habría que colocar en el centro del triángulo para que el conjunto de las cargas quede en equilibrio.....	
d) El potencial eléctrico en cualquier vértice, teniendo en cuenta la carga en el centro.....	
e) La energía potencial electrostática del conjunto de las cuatro cargas.....	
f) La energía puesta en juego para que el triángulo rote $45^\circ$ alrededor de un eje que pasa por el centro y es perpendicular al plano del papel.....	
g) El trabajo necesario para llevar la carga situada en el centro hasta el punto medio de un lado.....	
h) Si la masa de la carga es de 0,250 g, y se suelta sin velocidad en el centro del lado, calcula su velocidad cuando pasa por el centro del triángulo.....	
3. Dos cargas eléctricas positivas ( $q_1$ y $q_2$ ) están separadas una distancia de 1 m. Entre las dos hay un punto, situado a 20 cm de $q_1$ , donde el campo eléctrico es nulo. Sabiendo que $q_1 = 2 \mu\text{C}$ , calcula:....	13
a) El valor de $q_2$ .....	
b) El potencial en el punto en el que se anula el campo.....	
c) El trabajo realizado por la fuerza del campo para llevar una carga de -3 $\mu\text{C}$ desde el punto en el que se anula el campo hasta el infinito.....	
4. Una carga puntual $Q$ ocupa la posición (0, 0) del plano XY en el vacío. En un punto A del eje X el potencial es $V = -100 \text{ V}$ y el campo eléctrico es $E = -10 \text{ i N/C}$ (coordenadas en metros):.....	15
a) Calcula la posición del punto A y el valor de $Q$ .....	
b) Determina el trabajo necesario para llevar un protón desde el punto B(2, 2) hasta el punto A.....	
c) Haz una representación gráfica aproximada de la energía potencial del sistema en función de la distancia entre ambas cargas. Justifica la respuesta.....	
<i>Campo uniforme.....</i>	<i>18</i>
1. Dos láminas conductoras con igual carga y signo contrario están colocadas horizontalmente y separadas 5 cm. La intensidad del campo eléctrico en su interior es $2,5 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$ . Una microgota de aceite cuya masa es $4,90 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$ , y con carga negativa, está en equilibrio, suspendida en un punto equidistante de ambas placas.....	18
a) Razona cuál de las dos láminas está cargada positivamente.....	
b) Determina la carga de la microgota.....	
c) Calcula la diferencia de potencial entre las láminas conductoras.....	
2. Una esfera pequeña, de masa 2 g y carga +3 $\mu\text{C}$ , cuelga de un hilo de 6 cm de longitud entre dos placas metálicas verticales y paralelas separadas entre sí una distancia de 12 cm. Las placas poseen cargas iguales pero de signo contrario. Calcula:.....	19
a) El campo eléctrico entre las placas para que el hilo forme un ángulo de $45^\circ$ con la vertical.....	
b) La tensión del hilo en ese momento.....	
c) Si las placas se descargan, ¿cuál será la velocidad de la esfera al pasar por la vertical?.....	
<i>Esferas.....</i>	<i>21</i>



1. Una esfera conductora de radio 4 cm tiene una carga de  $+8 \mu\text{C}$  en equilibrio electrostático. Calcula cuánto valen en puntos que distan 0, 2 y 6 cm del centro de la esfera:.....21
  - a) El módulo de la intensidad del campo electrostático.....
  - b) El potencial eléctrico.....
  - c) Representa las magnitudes anteriores en función de la distancia al centro de la esfera.....