Campo electrostático

Método y recomendaciones

● Cargas puntuales

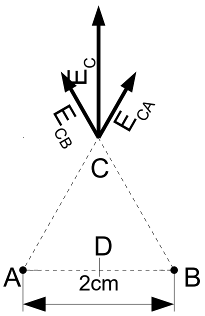
1. En los vértices de un triángulo equilátero de 2,00 cm de lado se sitúan cargas puntuales de +3,00 µC cada una. Calcula:
   a) El campo eléctrico en uno de los vértices.
   b) La fuerza que actúa sobre la carga situada en ese vértice.
   c) La carga que habría que colocar en el centro del triángulo para que el conjunto quede en equilibrio.
   d) El potencial electrostático 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° 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.

   Datos: $K = 9·10^9$ N·m²·C⁻². *Problema modelo basado en P.A.U. Jun. 08, Jun. 11 y Sep. 14*

   Rta.: a) $\overline{\boldsymbol{E}}$ = 1,17·10⁸ N/C, en la bisectriz hacia el exterior; b) $\overline{\boldsymbol{F}}$ = 351 N; c) q = −1,7320507 µC
   d) V = 1,35·10⁶ V; e) E_p = 0; f) ΔE = 0; g) W(ext.) = −0,097 J; h) v = 28 m/s hacia el vértice opuesto.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Valor de cada carga fija	Q = 3,00 µC = 3,00·10⁻⁶ C
Longitud del lado del triángulo equilátero	L = 2,00 cm = 0,0200 m
Masa de la carga que se desplaza	m = 0,250 g = 2,50·10⁻⁴ kg
Constante eléctrica	K = 9,00·10⁹ N·m²·C⁻²
Incógnitas	
Vector intensidad del campo eléctrico en un vértice	$\overline{\boldsymbol{E}}$
Vector fuerza que actúa sobre la carga situada en ese vértice	$\overline{\boldsymbol{F}}$
Carga que equilibre a las otras tres	q
Potencial electrostático en un vértice	V
Energía potencial del conjunto de las cuatro cargas	E_p
Energía para que el triángulo rote 45°	ΔE
Trabajo para llevar la carga del centro hasta el punto medio de un lado	$W_{O\to D}$
La velocidad cuando pasa por el centro del triángulo	v
Otros símbolos	
Distancia entre dos puntos A y B	r_{AB}
Ecuaciones	
Intensidad del campo electrostático en un punto creado por una carga puntual, Q, situada a una distancia, r	$\vec{E}=K\frac{Q}{r^2}\vec{u}_r \quad =\frac{\vec{F}}{q}$
Principio de superposición	$\vec{E}_A=\sum \vec{E}_{A\,i}$
Potencial electrostático en un punto creado por una carga puntual, Q, situada a una distancia, r	$V=K\frac{Q}{r}$
Potencial electrostático en un punto debido a varias cargas	$V = \sum V_i$
Trabajo que hace la fuerza del campo cuando se mueve una carga, q, desde un punto A hasta otro punto B	$W_{A\to B} = q\,(V_A - V_B)$
Energía potencial electrostática de una carga, q, en un punto A	$E_{p\,A} = q \cdot V_A$
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	$E_p = \sum E_{p\,i} = ½\sum E_{p\,q}$
Energía cinética de un cuerpo de masa m que se desplaza con velocidad v	$E_c = ½\ m \cdot v^2$
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 y el punto C será el otro vértice.
Se dibuja un vector por cada carga, prestando atención al sentido. Las intensidades de campo electrostático creadas por las cargas situadas en los puntos A y B son de repulsión (porque las cargas son positivas) y sus valores son iguales.
Se dibuja el vector suma vectorial, que es el vector intensidad de campo electrostático, $\overline{\boldsymbol{E}}_C$, resultante.
Como los vectores intensidad creados por las cargas de A y B son del mismo valor, sus componentes horizontales se anulan y la resultante será vertical y estará dirigida hacia el sentido positivo del eje *Y*. El valor de la resultante será la suma de las componentes verticales de cada carga, y, como son dos, el doble de la componente vertical de una de ellas.
Para determinar la intensidad de campo electrostático en un punto, se calcula la intensidad de campo electrostático creado por cada carga en ese punto, y luego se suman los vectores.
La ecuación del vector intensidad de campo electrostático creado por una carga puntual, *Q*, situada a una distancia, *r*, es:

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

La distancia entre los puntos A y C es el lado del triángulo: $r = L$ = 2,00 cm = 0,0200 m.
El vector unitario del punto C, $\overline{\boldsymbol{u}}_{AC}$, respecto a A, es:

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

La intensidad de campo electrostático $\overline{\boldsymbol{E}}_{CA}$ en el punto C, debida a la carga de 3 μC situada en A, es:

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

La intensidad de campo electrostático en el punto C, debida a la carga de 3 μC situada en el punto B es simétrica a la 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:

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

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.

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

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 eléctrico en el tercer vértice vale $1{,}17\cdot 10^8$ 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, podemos calcular la fuerza electrostática sobre la carga de 3 μC a partir del vector intensidad de campo electrostático:

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

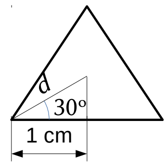
Una respuesta general, independiente de cómo se hayan elegido los vértices, sería:
La fuerza electrostática sobre la carga situada en un vértice vale 351 N y está dirigido según la bisectriz del ángulo hacia el exterior del triángulo.

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

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

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

$$\cos 30\,° = \frac{1\,[\mathrm{cm}]}{d}$$



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

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

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

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

d) Para calcular el potencial electrostático en un punto, se calcula cada uno de los potenciales creados en ese punto por cada carga situada en los vértices y luego se suman.
La ecuación del potencial, V, electrostático en un punto creado por una carga puntual, Q, situada a una distancia, r, es:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$E_{\mathrm{p\,i}} = K \frac{Q \cdot q}{r}$$

La energía total electrostática es la suma de las energías de las seis interacciones: A↔B, A↔C, B↔C, y A↔O, B↔O y C↔O.
Las tres primeras valen lo mismo, porque las cargas y las distancias son iguales:

$$E_{\mathrm{A \leftrightarrow B}} = E_{\mathrm{A \leftrightarrow C}} = E_{\mathrm{B \leftrightarrow C}} = 9{,}00 \cdot 10^{9}\ [\mathrm{N \cdot m^2 \cdot C^{-2}}] \frac{3{,}00 \cdot 10^{-6}\ [\mathrm{C}] \cdot 3{,}00 \cdot 10^{-6}\ [\mathrm{C}]}{0{,}0200\ [\mathrm{m}]} = 4{,}05\ \mathrm{J}$$

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

$$E_{\mathrm{A \leftrightarrow O}} = E_{\mathrm{B \leftrightarrow O}} = E_{\mathrm{C \leftrightarrow O}} = 9{,}00 \cdot 10^{9}\ [\mathrm{N \cdot m^2 \cdot C^{-2}}] \frac{3{,}00 \cdot 10^{-6}\ [\mathrm{C}] \cdot (-1{,}73 \cdot 10^{-6})\ [\mathrm{C}]}{0{,}0115\ [\mathrm{m}]} = -4{,}05\ \mathrm{J}$$

$$E = E_{\mathrm{A \leftrightarrow B}} + E_{\mathrm{A \leftrightarrow C}} + E_{\mathrm{B \leftrightarrow C}} + E_{\mathrm{A \leftrightarrow O}} + E_{\mathrm{B \leftrightarrow O}} + E_{\mathrm{C \leftrightarrow O}} = 3 \cdot 4{,}05\ [\mathrm{J}] + 3 \cdot (-4{,}05\ [\mathrm{J}]) = 0$$

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 A ↔ B aparece en el cálculo de la energía potencial de la carga en A y también en el cálculo de la energía potencial de la carga en B.

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

$$\Delta E = E_p'{}_T - E_{p\,T} = 0$$

g) Se llama punto D al centro del lado AB,
El trabajo realizado por las fuerzas del campo electrostático cuando se mueve una carga, q, desde el punto O, centro del triángulo, al punto D, centro de un lado, es la disminución de la energía potencial entre los puntos O y D. Como el potencial electrostático es la energía potencial de la unidad de carga, el trabajo realizado por las fuerzas del campo es igual al valor de la carga, q, que se desplaza, multiplicado por la diferencia de potencial entre los puntos de partida, O, y de llegada, D:

$$W_{\text{campo}} = W_{O\to D} = -(E_{p\,D} - E_{p\,O}) = E_{p\,O} - E_{p\,D} = q\,(V_O - V_D)$$

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:

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

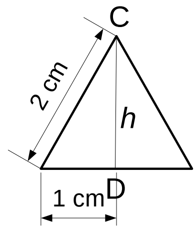
El potencial electrostático en el punto O es la suma:

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

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:

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

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:

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

El potencial electrostático 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:

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

Análisis: Se pierden dos cifras significativas al restar. Si se trabajase con 6 cifras significativas, el resultado sería: $W_{O\to D} = q\,(V_O - V_D) = -1{,}73205 \cdot 10^{-6} \cdot (7{,}01481 \cdot 10^6 - 6{,}95885 \cdot 10^6) = -0{,}09693$ J.

Suponiendo que salga de O y llegue a D con la misma velocidad, el trabajo de la fuerza resultante, igual a la variación de energía cinética, será nulo, y el trabajo que hay que hacer es el opuesto al de la fuerza del campo:

$$W(\text{exterior}) = W(\text{resultante}) - W(\text{campo}) = 0 - W(\text{campo}) = -W(\text{campo})$$

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.

$$(E_c + E_p)_O = (E_c + E_p)_D$$

$$\tfrac{1}{2}\, m\, v^2_O + q \cdot V_O = \tfrac{1}{2}\, m\, v^2_O + q \cdot V_D$$

$$-1{,}73 \cdot 10^{-6}\ [\text{C}] \cdot (\ 7{,}01 \cdot 10^6\ [\text{V}]) = (2{,}50 \cdot 10^{-4}\ [\text{kg}] \cdot v_D^2) / 2 + (-1{,}73 \cdot 10^{-6}\ [\text{C}]) \cdot (6{,}96 \cdot 10^6\ [\text{V}])$$

$$v_D=\sqrt{\frac{2\cdot\left(-1{,}73\cdot 10^{-6}\ [\mathrm{C}]\right)\cdot\left(7{,}01\cdot 10^{6}-6{,}96\cdot 10^{6}\right)[\mathrm{V}]}{2{,}50\cdot 10^{-4}\ [\mathrm{kg}]}}=\sqrt{\frac{2\cdot 0{,}09\ [\mathrm{J}]}{2{,}50\cdot 10^{-4}\ [\mathrm{kg}]}}=3\cdot 10^{1}\ \mathrm{m/s}$$

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

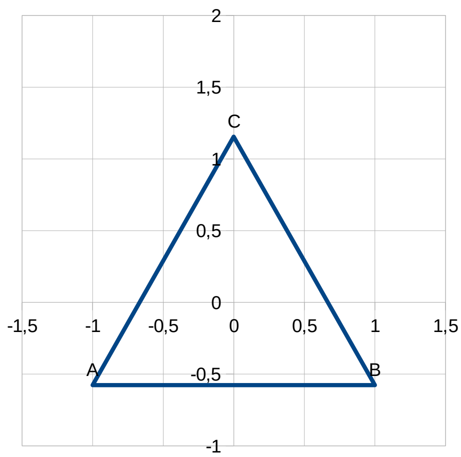
Como la velocidad es un vector, hay que deducir la dirección y sentido.
Del hecho de que pase por el origen, se puede deducir que la aceleración tiene la dirección del eje *Y* en sentido positivo. Si un móvil parte del reposo, y la aceleración tiene dirección constante, el movimiento será rectilíneo en la línea de la aceleración. Por lo tanto, la dirección de la velocidad es la del eje *Y* en sentido positivo

$$\bar{\boldsymbol{v}}_D = 3\cdot 10^{1}\ \bar{\mathbf{j}}\ \mathrm{m/s}$$

En general, el vector velocidad valdrá $3\cdot 10^1$ 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 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 de color salmón:

	Figura:	Triángulo equilátero		
	Longitud de	l lado	2	cm
		x (cm)	y (cm)	
Situar el punto	Centro			cm
	Girar	210	°	
RESULTADOS				
Redondear a		decimales	Coordenadas	
	Punto	x (cm)	y (cm)	
	A	−1	−0,57735026919	
	B	1	−0,57735026919	
	C	0	1,15470053838	



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 restante 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 =**	9,00·10⁹		ε' =	1		
Dada la siguiente distribución de cargas, (en	μC	)		Coord X (cm)	Coord Y (cm)	Carga (μC)
(coordenadas en	cm	)	Q_1	−1	−0,57735026919	3
y los puntos C y B, calcula:			Q_2	1	−0,57735026919	3
a) El vector campo eléctrico en el punto	C		Q_3	0	1,15470053838	3
b) El vector fuerza sobre			Q_4			
una partícula de carga *q* = 3	μC					
y masa m =				Coord X (cm)	Coord Y (cm)	
situada en ese punto.			C	0	1,15470053838	

Los resultados son:

	Respuestas		Cifras significativas:	6	
	Componente x	Componente y	Módulo	Unidades	S.I.
$\vec{E}$(C) =	0	$1{,}16913\cdot10^8$	$1{,}16913\cdot10^8$	N/C	
$\vec{F}$ =	0	350,740	350,740	N	
V(C) =	$2{,}70000\cdot10^6$			V	
	Puntos del trabajo no definidos				
		Conjunto E_p =	12,1500	J	
Carga que equilibra		Q =	$-1{,}73205\cdot10^{-6}$	C	
en	Coordenada x	Coordenada y			
M	0	0		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** =	$9{,}00\cdot10^9$	ε' =	1			
Dada la siguiente distribución de cargas, (en	μC	)		Coord X (cm)	Coord Y (cm)	Carga (μC)
(coordenadas en	cm	)	Q_1	−1	−0,57735 026 919	3
y los puntos D y G, calcula:			Q_2	1	−0,57735 026 919	3
a) El vector campo eléctrico en el punto	C		Q_3	0	1,15470 053 838	3
b) El vector fuerza sobre			Q_4	0	0,00000 000 000	−1,7320507
una partícula de carga q =						
y masa m =				Coord X (cm)	Coord Y (cm)	
situada en ese punto.			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) =	$1{,}35000\cdot10^6$			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** =	$9{,}00\cdot10^9$	ε' =	1			
Dada la siguiente distribución de cargas, (en	μC	)		Coord X (cm)	Coord Y (cm)	Carga (μC)
(coordenadas en	cm	)	Q_1	−1	−0,57735 026 919	3
y los puntos D y G, calcula:			Q_2	1	−0,57735 026 919	3
a) El vector campo eléctrico en el punto	D		Q_3	0	1,15470 053 838	3
b) El vector fuerza sobre			Q_4	0	0,00000 000 000	−1,7320507
una partícula de carga q = −1,7320507	μC					
y masa m = 0,25	g			Coord X (cm)	Coord Y (cm)	

situada en ese punto.

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

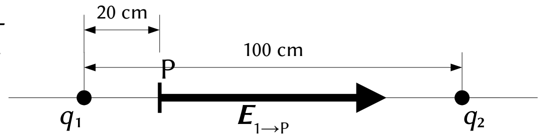
Los nuevos resultados son:

V(D) =	$6{,}95885 \cdot 10^6$	V(G) =	$7{,}01481 \cdot 10^6$ V
	W(ext.) = - W(campo D⟶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

2. 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 es igual a 2 µC, 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 µC desde el punto en el que se anula el campo hasta el infinito.
   Dato: $K = 9 \cdot 10^9$ N·m²·C⁻². *(A.B.A.U. Sep. 18)*
   Rta.: a) q_2 = 32 µC; b) $V = 4{,}5 \cdot 10^5$ V; c) W = −1,4 J.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Distancia entre las cargas q_1 y q_2	d = 1,00 m
Distancia del punto P a la carga q_1	d_{P1}= 20,0 cm = 0,200 m
Valor de la carga situada en el punto 1	q_1 = 2,00 µC = $2{,}00 \cdot 10^{-6}$ C
Valor de la carga situada en el punto P	q = −3,00 µC = $-3{,}00 \cdot 10^{-6}$ C
Campo eléctrico en el punto P	$\lvert \vec{E}_P \rvert = 0$
Constante eléctrica	$K = 9{,}00 \cdot 10^9$ N·m²·C⁻²
Incógnitas	
Valor da carga q_2	q_2
Potencial electrostático en el punto P	V_P
Trabajo para trasladar una carga de −3 µC desde P hasta el infinito	$W_{P\to\infty}$
Otros símbolos	
Distancia entre dos puntos A y B	r_{AB}
Ecuaciones	
Intensidad del campo electrostático en un punto creado por una carga puntual Q ubicada la una distancia r	$\vec{E} = K \dfrac{Q}{r^2} \vec{u}_r$
Principio de superposición	$\vec{E}_A = \sum \vec{E}_{A\,i}$
Potencial electrostático en un punto creado por una carga puntual, Q, situada a una distancia, r	$V = K \dfrac{Q}{r}$
Potencial electrostático en un punto debido a varias cargas	$V = \sum V_i$
Trabajo que hace la fuerza del campo cuando se mueve una carga q desde un punto A hasta otro punto B	$W_{A\to B} = q\,(V_A - V_B)$

Solución:



a) Se hace un dibujo del vector intensidad de campo electrostático creado por la carga q_1. Como la carga es positiva, el vector intensidad de campo electrostático está dirigido en el sentido positivo del eje *X*.
Para determinar la intensidad de campo electrostático en un punto, se calcula la intensidad de campo electrostático creado por cada carga en ese punto, y luego se suman los vectores.
La ecuación del vector intensidad de campo electrostático creado por una carga puntual, *Q*, situada a una distancia, *r*, es:

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

La distancia entre los puntos 1 y P es: d_{P1}= 20,0 cm = 0,200 m.
El vector unitario del punto P, respecto al punto 1, es el vector unitario del eje *X*, $\vec{\mathbf{i}}$.
La intensidad de campo electrostático en el punto P, debido a la carga de 2 µC situada en el punto 1, es:

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

La intensidad de campo electrostático en el punto P debido a la carga q_2 situada en el punto 2, a 1 m de distancia de la carga q_1, tiene que ser opuesta, para que la intensidad de campo electrostático en el punto P sea nula.

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

Teniendo en cuenta que la distancia de q_2 al punto P es d_{P2} = 1,00 [m]− 0,200 [m]= 0,80 m, se puede escribir para el módulo de la intensidad de campo electrostático:

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

Se despeja el valor de la carga q_2:

$$q_2 = 3{,}2\cdot 10^{-5}\ C = 32\ \mu C$$

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) Para calcular el potencial electrostático en un punto, se calcula cada uno de los potenciales creados en ese punto por cada carga, y luego se suman.
La ecuación del potencial, *V*, electrostático en un punto creado por una carga puntual, *Q*, situada a una distancia, *r*, es:

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

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

$$V_{P1}=9{,}00\cdot 10^9\ [N\cdot m^2\cdot C^{-2}]\frac{2{,}00\cdot 10^{-6}\ [C]}{(0{,}20\ [m])}=9{,}00\cdot 10^4\ V$$

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

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

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

c) El trabajo realizado por las fuerzas del campo electrostático cuando se mueve una carga, *q*, desde el punto P, donde se anula el campo, al infinito, es la disminución de la energía potencial entre esos puntos.
La energía potencial electrostática del infinito es nula, por definición. Como el potencial electrostático es la energía potencial de la unidad de carga, el trabajo realizado por las fuerzas del campo es igual al valor de la carga, *q*, que se desplaza, multiplicado por el potencial del punto de partida P:

$$W_{campo} = W_{P\to\infty} = -(E_{p\,\infty} - E_{p\,P}) = E_{p\,P} - E_{p\,\infty} = q \cdot V_P$$

El trabajo que hace la fuerza del campo para llevar la carga de −3 μC desde el punto P hasta el infinito es:

$$W_{P\to\infty} = q \cdot V_P = -3{,}00\cdot10^{-6}\ [C] \cdot 4{,}5\cdot10^{5}\ [V] = -1{,}4\ J$$

3. 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 $V = -100$ V y el campo eléctrico es $\overline{\boldsymbol{E}} = -10\ \overline{\mathbf{i}}$ 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: $1{,}6\cdot10^{-19}$ C; $K = 9\cdot10^{9}$ N·m²·C⁻². *(P.A.U. Sep. 11)*
   Rta.: a) $\overline{\boldsymbol{r}}_A = (10{,}0,\ 0)$ m; $Q = -1{,}11\cdot10^{-7}$ C; b) $W = -4{,}05\cdot10^{-17}$ J.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Posición de la carga Q	$\overline{\boldsymbol{r}}_O = (0,\ 0)$ m
Potencial en el punto A	$V = -100$ V
Campo eléctrico en el punto A	$\overline{\boldsymbol{E}} = -10{,}0\ \overline{\mathbf{i}}$ N/C
Posición del punto B	$\overline{\boldsymbol{r}}_B = (2{,}000,\ 2{,}000)$ m
Carga del protón	$q_p = 1{,}60\cdot10^{-19}$ C
Constante eléctrica	$K = 9{,}00\cdot10^{9}$ N·m²·C⁻²
Incógnitas	
Posición del punto A	$\overline{\boldsymbol{r}}_A$
Valor de la carga Q	Q
Trabajo necesario para llevar un protón de B a A	$W_{B\to A}$
Otros símbolos	
Distancia entre dos puntos A y B	r_{AB}
Ecuaciones	
Campo eléctrico creado por una carga puntual Q a una distancia r	$\vec{\boldsymbol{E}}=K\frac{Q}{r^2}\vec{\boldsymbol{u}}_r$
Potencial electrostático de un un punto que dista una distancia r de una carga Q	$V=K\frac{Q}{r}$
Trabajo que hace la fuerza del campo cuando se mueve una carga q desde un punto A hasta otro punto B	$W_{A\to B} = q\,(V_A - V_B)$
Energía potencial electrostática de una carga q en un punto A	$E_{p\,A} = q \cdot V_A$

Solución:

a) Se sustituyen los datos en las ecuaciones del campo:

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

$$-10{,}0\,\vec{\mathbf{i}}\ [N/C]=9{,}00\cdot10^{9}\ [N\cdot m^2\cdot C^{-2}]\frac{Q}{r^2}\vec{\boldsymbol{u}}_r$$

Tomando solo el módulo, queda:

$$10{,}0\ [N/C]=9{,}00\cdot10^{9}\ [N\cdot m^2\cdot C^{-2}]\frac{|Q|}{r^2}$$

También se sustituye en la ecuación de potencial electrostático:

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

$$-100\ [V]=9{,}00\cdot10^{9}\ [N\cdot m^2\cdot C^{-2}]\frac{Q}{r}$$

Como en la ecuación del campo aparece el valor absoluto de la carga $|Q|$, aplicamos valores absolutos a la ecuación del potencial, que queda:

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

Se resuelve el sistema:

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

Dividiendo la segunda ecuación entre la primera se obtiene:

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

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

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

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

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

Como la intensidad del campo electrostático en el punto es negativa, $\overline{\boldsymbol{E}}_r = -10{,}0\ \bar{\mathbf{i}}$ (N/C), el punto tiene que estar en el semieje positivo:

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

b) El trabajo realizado por las fuerzas del campo electrostático cuando se mueve una carga, q, desde el punto B al punto A, es la disminución de la energía potencial entre los puntos B y A. Como el potencial electrostático es la energía potencial de la unidad de carga, el trabajo realizado por las fuerzas del campo es igual al valor de la carga, q, que se desplaza, multiplicado por la diferencia de potencial entre los puntos de partida B y llegada A:

$$W_{\text{campo}} = W_{B\to A} = -(E_{p\,A} - E_{p\,B}) = E_{p\,B} - E_{p\,A} = q\,(V_B - V_A)$$

El trabajo que hace la fuerza del campo es

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

Se calcula a 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 en el punto B:

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

El trabajo de la fuerza del campo es:

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

Suponiendo que salga de B y llegue a A con la misma velocidad, el trabajo de la fuerza resultante, igual a la variación de energía cinética, será nulo, y el trabajo que hay que hacer es el opuesto al de la fuerza del campo:

$$W(\text{exterior}) = W(\text{resultante}) - W(\text{campo}) = 0 - W(\text{campo}) = -W(\text{campo})$$

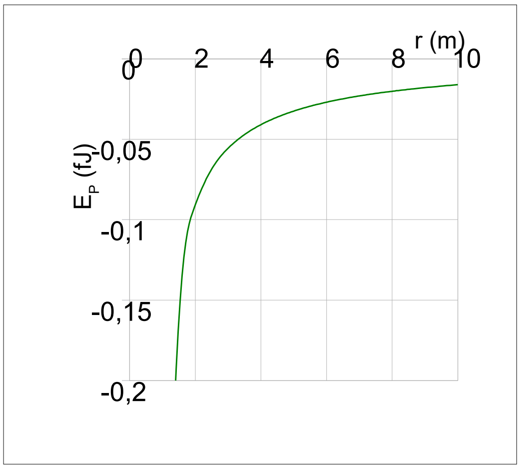
El trabajo necesario para llevar un protón desde el punto B al A, suponiendo que llegue a A con la misma velocidad que tenía en B, es:

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

c) La energía potencial de 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 hasta ser nula a una distancia infinita.



● Campo uniforme

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 $2{,}5 \cdot 10^5$ N·C⁻¹.
Una microgota de aceite cuya masa es $4{,}90 \cdot 10^{-14}$ kg, y con carga negativa, está en equilibrio suspendida en un punto equidistante de ambas placas.
a) Razona cual de las dos láminas está cargada positivamente.
b) Determina la carga de la microgota.
c) Calcula la diferencia de potencial entre las láminas conductoras.
Dato: g = 9,8 m·s⁻². *(P.A.U. Sep. 15)*
Rta.: b) $q = 1{,}92 \cdot 10^{-18}$ C; c) $\Delta V = 1{,}25 \cdot 10^4$ V.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Intensidad del campo eléctrico	$\lvert\overline{\boldsymbol{E}}\rvert = 2{,}50 \cdot 10^5$ N/C
Distancia entre las láminas conductoras	d = 5,00 cm = 0,0500 m
Masa de la microgota	$m = 4{,}90 \cdot 10^{-14}$ kg
Valor del campo gravitatorio terrestre	g = 9,80 m/s²
Incógnitas	
Carga de la microgota	q
Diferencia de potencial entre las láminas conductoras	ΔV
Ecuaciones	
Fuerza sobre una carga puntual q en un campo electrostático uniforme $\overline{\boldsymbol{E}}$	$\overline{\boldsymbol{F}}_E = q \cdot \overline{\boldsymbol{E}}$
Valor de la fuerza peso	$P = m \cdot g$
Diferencia de potencial en un campo eléctrico constante	$\Delta V = \lvert\overline{\boldsymbol{E}}\rvert \cdot d$

Solución:

a, b) Peso:

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

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 $1{,}92 \cdot 10^{-18}$ C / $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ 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:

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

La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo FisicaBachEs.ods
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 =	$2{,}5 \cdot 10^5$	N/C	Sentido	↓
Distancia entre las placas	d =	5	cm		
Longitud del campo eléctrico	L =		cm		
Partícula	Carga q =				
	Masa m =	$4{,}90 \cdot 10^{-14}$	kg		
Velocidad	Módulo $\lvert v_0 \rvert$ =		m/s		
	Dirección φ =				
Altura del punto de entrada	h_0 =		cm		
Desplazamiento vertical	Δy =	0	cm		
Aceleración de la gravedad	g =	9,8	m/s²		

Los resultados son:

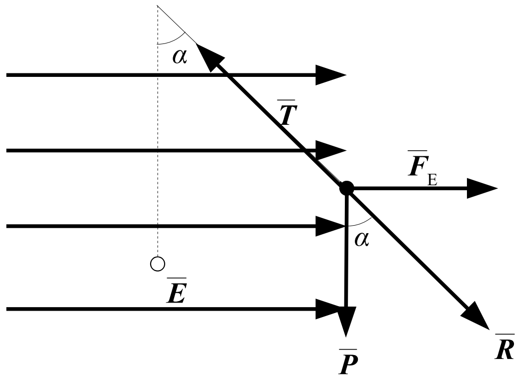
a)	Carga (12 e)	q =	$-1{,}92 \cdot 10^{-18}$	C
b)	ΔV placas	ΔV =	$1{,}25 \cdot 10^4$	V

2. Una esfera pequeña, de masa 2 g y carga +3 µC, cuelga de un hilo de 6 cm de longitud entre dos placas metálicas verticales y paralelas separadas entre si una distancia de 12 cm. Las placas poseen cargas iguales pero de signo contrario. Calcula:
   a) El campo eléctrico entre las placas para que el hilo forme un ángulo de 45° 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?
   Dato: $g = 9{,}81\ \text{m·s}^{-2}$. *(A.B.A.U. Jun. 17)*
   Rta.: a) $E = 6{,}54 \cdot 10^3$ N/C; b) $T = R = 0{,}0277$ N; c) $v = 0{,}587$ m/s.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Masa de la esfera	$m = 2{,}00\ \text{g} = 2{,}00 \cdot 10^{-3}\ \text{kg}$
Carga de la esfera	$q = 3{,}00\ \mu\text{C} = 3{,}00 \cdot 10^{-6}\ \text{C}$
Longitud del hilo	$L = 6{,}00\ \text{cm} = 0{,}0600\ \text{m}$
Ángulo que forma el hilo con la vertical	$\alpha = 45°$
Valor del campo gravitatorio terrestre	$g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$
Incógnitas	
Valor del campo eléctrico	E
Tensión del hilo	T
Velocidad de la esfera al pasar por la vertical	v
Ecuaciones	
Fuerza sobre una carga puntual q en un campo electrostático uniforme $\overline{\boldsymbol{E}}$	$\overline{\boldsymbol{F}}_E = q \cdot \overline{\boldsymbol{E}}$
Valor de la fuerza peso	$P = m \cdot g$
Energía potencial de la fuerza peso	$E_p = m \cdot g \cdot h$
Energía cinética	$E_c = ½\ m \cdot v^2$

Solución:

a) Se dibuja un esquema de fuerzas:



Cuando la esfera alcanza el equilibrio, la tensión equilibra a la resultante de las fuerzas peso y eléctrica.
Se calcula la fuerza peso:

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

Como el ángulo entre la resultante y la vertical es de 45° y tan 45° = 1,00, la fuerza eléctrica vale lo mismo que el peso:

$$F_E = P = 0{,}0196 \text{ N}$$

Se calcula el campo eléctrico:

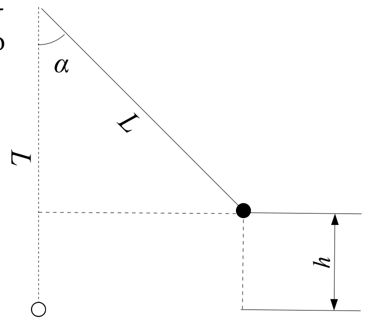
$$E = \frac{F_E}{q} = \frac{0{,}0196 \text{ [N]}}{3{,}00 \cdot 10^{-6} \text{ [C]}} = 6{,}54 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

Como son perpendiculares, la fuerza resultante vale:

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

b) 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 entra la posición inicial y el punto más bajo de la trayectoria.
La altura del punto de equilibrio respeto del punto más bajo pode calcularse del triángulo:

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

La energía potencial del peso en el punto de partida es:

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

Como la energía cinética es nula en ese punto, la energía mecánica valdrá lo mismo.

$$E = E_p = 3{,}45 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

En el punto más bajo la energía mecánica es la misma, y como no hay energía potencial, ese será el valor de la energía cinética. Por lo tanto, la velocidad valdrá:

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

La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo FisicaBachEs.ods
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	μC
Longitud del hilo	L =	6	cm
Ángulo	φ =	45	°

	Aceleración de la gravedad	g =	9,81	m/s²

Los resultados son:

a)	Campo eléctrico	E =	$6{,}54 \cdot 10^3$ N/C
	Diferencia de potencial	ΔV =	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 μC en equilibrio electrostático. Calcula cuánto valen en puntos que distan 0, 2 y 6 cm del centro de la esfera:
   a) El módulo de la intensidad del campo electrostático.
   b) El potencial electrostático.
   c) Representa las magnitudes anteriores en función de la distancia al centro de la esfera.
   DATO: $K = 9 \cdot 10^9$ N·m²·C⁻² *(A.B.A.U. Jun. 18)*
   Rta.: a) $|\overline{\boldsymbol{E}}_1| = |\overline{\boldsymbol{E}}_2| = 0$; $|\overline{\boldsymbol{E}}_3| = 2{,}00 \cdot 10^7$ N/C; b) $V_1 = V_2 = 1{,}80 \cdot 10^6$ V; $V_3 = 1{,}20 \cdot 10^6$ V

Datos		***Cifras significativas: 3***
Carga de la esfera		$Q = 8{,}00\ \mu C = 8{,}00 \cdot 10^{-6}$ C
Radio de la esfera		$R = 4{,}00$ cm $= 0{,}0400$ m
Distancias al centro de la esfera:	punto interior 1	$r_1 = 0$ cm $= 0$ m
	punto interior 2	$r_2 = 2{,}00$ cm $= 0{,}0200$ m
	punto exterior	$r_3 = 6{,}00$ cm $= 0{,}0600$ m
Constante eléctrica		$K = 9{,}00 \cdot 10^9$ N·m²·C⁻²
Incógnitas		
Intensidad del campo electrostático en los puntos 1, 2 y 3		$\overline{\boldsymbol{E}}_1$, $\overline{\boldsymbol{E}}_2$, $\overline{\boldsymbol{E}}_3$
Potencial electrostático en los puntos 1, 2 y 3		V_1, V_2, V_3
Ecuaciones		
Intensidad del campo electrostático en un punto creado por una carga puntual Q situada a una distancia r		$\vec{\boldsymbol{E}} = K \frac{Q}{r^2} \vec{\boldsymbol{u}}_r$
Potencial electrostático en un punto creado por una carga puntual Q situada a una distancia r		$V = K \frac{Q}{r}$

Solución:

a) La intensidad de campo electrostático 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 potencial electrostático en los puntos 1 y 2 es el mismo que en la superficie de la esfera:

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

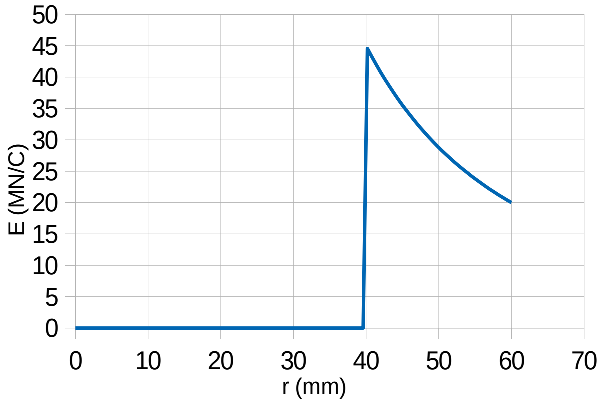
b) El módulo de la intensidad de campo electrostático en el punto 3 a 6 cm del centro de la esfera es el mismo que si la carga fuera puntual

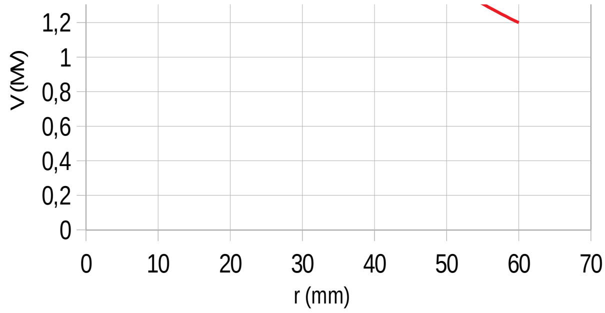
$$|\vec{E}_3|=9{,}00\cdot 10^9\ [\mathrm{N\cdot m^2\cdot C^{-2}}]\frac{8{,}00\cdot 10^{-6}\ [\mathrm{C}]}{(0{,}0600\ [\mathrm{m}])^2}=2{,}00\cdot 10^7\ \mathrm{N/C}$$

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

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

c) La gráfica de la variación de la intensidad del campo electrostático da una valor 0 para distancias inferiores al radio de la esfera, se hace máxima para el radio y disminuye inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro de la esfera.
La gráfica de la variación del potencial electrostático de la una valor constante para distancias inferiores al radio de la esfera y disminuye inversamente proporcional a la distancia al centro de la esfera.





La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo FisicaBachEs.ods
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 =	9,00·10⁹	N·m²/C²	ε' =	1
Esfera		Interior	Exterior		
Carga de la esfera	Q =		8		μC
Radio de la esfera	R =		4		cm
Distancia	r =	0	2	6	cm
al centro del punto		A	B	C	

Los resultados son:

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

Actualizado: 11/10/22

Sumario

CAMPO ELECTROSTÁTICO

Método y recomendaciones