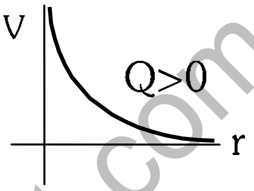
OPCION A

1. a) Defina las características del potencial eléctrico creado por una carga eléctrica puntual positiva.
b) ¿Puede ser nulo el campo eléctrico en algún punto intermedio del segmento que une a dos cargas puntuales del mismo valor q? Razónelo en función del signo de las cargas.

a) **Potencial electrostático en un punto** (*V*): Energía potencial eléctrica por unidad de carga positiva (por cada C) que almacenaría cualquier cuerpo con carga eléctrica que colocáramos en un punto del espacio.

$$V = \frac{Ep_e}{q} = \frac{K \cdot Q \cdot \cancel{q}}{r \cdot \cancel{q}} \qquad \boxed{V = \frac{K \cdot Q}{r}}$$



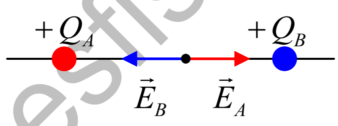
En el caso de que la carga Q que crea el campo sea positiva, también el potencial V será positivo en todo el espacio.
V depende del medio (a través de la constante eléctrica K) y disminuye con la distancia. V es independiente del valor de la carga de prueba *q* que coloquemos en el punto del espacio.
Unidades: J/C = Voltio (V)
(Con esto debe bastar, pero podría hablarse también de las superficies equipotenciales y la relación campo-potencial (la dirección y sentido del campo eléctrico es aquella en que el potencial disminuye más rápidamente.)

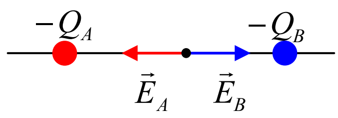
b) En este caso estamos ante el campo electrostático producido por dos cargas puntuales, con lo que aplicaríamos el principio de superposición. El campo total en un punto es la suma (vectorial) de los campos producidos por cada una de forma independiente. $\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B$

Para que el campo total sea nulo, tiene que cumplirse que $\vec{E}_A + \vec{E}_B = 0 \rightarrow \vec{E}_A = -\vec{E}_B$
Es decir, ambos campos deben:

- Tener el mismo módulo $\frac{K|Q_A|}{r_A^{\ 2}} = \frac{K|Q_B|}{r_B^{\ 2}}$ Como ambas cargas son iguales (q), deducimos que las distancias a las cargas también deben ser iguales.
- Ir en la misma dirección. Esto significa que el punto debe estar en la misma recta que une A y B.
- Ir en sentidos contrarios. Si las cargas son del mismo signo (ya sean positivas o negativas) este punto se encuentra en la zona entre las dos cargas, como puede observarse en los esquemas.

De todo lo anterior se deduce que el punto en el que el campo electrostático se anula existe, y está situado en el punto medio del segmento que une ambas cargas



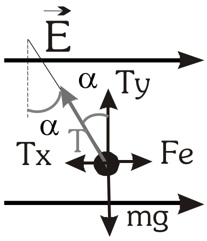


Por el contrario, si las cargas fueran de distinto signo, sería imposible que se cumplieran las tres condiciones al mismo tiempo, con cargas del mismo valor absoluto.

3. Una bolita de plástico de 2 g se encuentra suspendida de un hilo de 20 cm de longitud y, al aplicar un campo eléctrico uniforme y horizontal de 1000 N C^{-1}, el hilo forma un ángulo de 15° con la vertical. Considere g = 10 m·s^{-2}

a) Dibuje en un esquema el campo eléctrico y todas las fuerzas que actúan sobre la esfera y determine su carga eléctrica.

b) Explique cómo cambia la energía potencial de la esfera al aplicar el campo eléctrico.



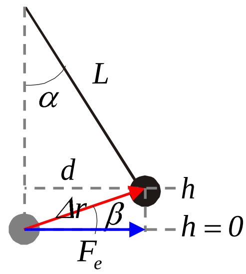
a) Nos encontramos ante una partícula cargada dentro de un campo electrostático.
La bolita cargada se desvía por acción de la fuerza electrostática $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$. No nos dicen si la carga es positiva o negativa (esto es un fallo del enunciado), así que la supondremos positiva, para poder hacer un esquema de fuerzas.
Las fuerzas que actúan sobre la bolita son la gravitatoria, la electrostática y la tensión del hilo (descompuesta en el esquema en Tx y Ty)

Aplicando la primera ley de Newton a la bolita en equilibrio, $\Sigma\vec{F} = 0$, llegamos a

$$\left.\begin{array}{ll} x: & Fe - Tx = 0 \rightarrow |q| \cdot E = T \cdot sen\alpha \\ y: & Ty - Fg = 0 \rightarrow m \cdot g = T \cdot cos\alpha \end{array}\right\} \frac{|q| \cdot E}{m \cdot g} = tg\alpha \rightarrow |q| = \frac{m \cdot g \cdot tg\alpha}{E}$$

Sustituyendo valores, obtenemos que $|q| = 5{,}36 \cdot 10^{-6}\ C$.

b) Esta pregunta puede llevar a confusión, ya que no especifica si se refiere sólo a energía potencial electrostática o a todas las energías potenciales, lo que incluiría la gravitatoria. Resolveremos el problema de la forma más general posible, calculando ambas.



A partir de la figura:
L = 0,2 m α = 15º d = L · senα = 0,05176 m
h = L – L · cosα = 0,2 – 0,19319 = 0,00681 m

La variación de energía potencial gravitatoria

$$\Delta Ep_g = Ep_{g2} - Ep_{g1} = mgh - 0 = 1{,}362 \cdot 10^{-4}\ J$$

Y la de energía potencial electrostática, la calculamos sabiendo que la fuerza electrostática es conservativa, con lo que $\Delta Ep_e = -W_{Fe}$

A su vez el trabajo eléctrico lo obtenemos teniendo en cuenta que la fuerza eléctrica es constante en todo momento, y podemos usar la expresión $W_{Fe} = \vec{F}_e \cdot \Delta\vec{r} = F_e \cdot \Delta r \cdot cos\,\beta$

Así, $\Delta Ep_e = -W_{Fe} = -\vec{F}_e \cdot \Delta\vec{r} = -F_e \cdot \Delta r \cdot cos\,\beta = -q \cdot E \cdot \Delta r \cdot cos\,\beta = -q \cdot E \cdot d = -2{,}774 \cdot 10^{-4}\ J$

Y la variación total de energía potencial es de $\Delta Ep = \Delta Ep_e + \Delta Ep_g = -1{,}412 \cdot 10^{-4}\ J$

(A partir de aquí ya no lo pide el problema, pero creo que enriquece la resolución)
Teniendo en cuenta que la energía mecánica se mantiene constante (la única fuerza no conservativa que actúa, la tensión del hilo, es en cada momento perpendicular al desplazamiento - es una fuerza centrípeta - por lo que no realizará trabajo) habrá un aumento neto en la energía cinética de la bola

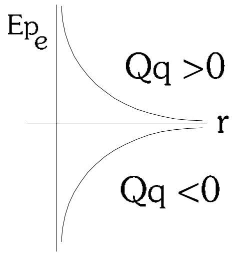
$$E_M = cte \quad \rightarrow \quad \Delta Ec = -\Delta Ep_e = 1{,}412 \cdot 10^{-4}\ J$$

<u>Conclusión:</u>
El trabajo positivo realizado por la fuerza electrostática hace que la energía potencial electrostática disminuya. Esta energía se transforma en energía cinética y además, conforme la bolita asciende, en energía potencial gravitatoria, hasta llegar a la situación de equilibrio.
Pero cuando llega a esta posición, todavía posee energía cinética, por lo que la bolita pasará de largo para frenar y detenerse un poco más allá (a partir de los 15º, Tx se hace mayor que la fuerza eléctrica y Ty menor que la gravitatoria, y la resultante frena el movimiento) y volver, realizando oscilaciones en torno a la posición de equilibrio de 15º.
(Algo parecido a lo que sucede con un muelle oscilante o un péndulo ordinario)

FÍSICA 2º BACHILLERATO. EXAMEN DE LOS TEMAS 1 Y 3. 3-2-05

OPCIÓN A:

1. a) Una partícula con carga q negativa se acerca a otra partícula Q. Su energía potencial disminuye. Razonar acerca de cómo varía el potencial creado por Q, qué signo tendrá el trabajo realizado, y si la interacción será atractiva o repulsiva.



- Por energía potencial electrostática entendemos la energía almacenada por una carga q en el interior de un campo electrostático. Viene dada por la expresión $Ep_e = q \cdot V$, donde V es el potencial electrostático en el punto. Si el campo electrostático es creado por una carga puntual Q, tendremos $Ep_e = \frac{K \cdot Q \cdot q}{r}$, con origen para $r \to \infty$. En la gráfica podemos ver cómo varía la Ep_e en función de la distancia, para cargas del mismo y diferente signo.

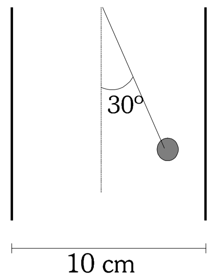
Vemos que, si al acercarse las partículas, la energía potencial disminuye, ambas cargas deben ser de signo contrario, por lo que el signo de Q es positivo. La interacción será, por tanto, atractiva.

- El potencial V es la energía almacenada por unidad de carga positiva que se coloque en un punto del campo electrostático. Para una carga puntual Q, viene dado por $V = \frac{KQ}{r}$. Para una carga positiva, V disminuye al aumentar r, por lo que al acercarse las dos partículas, V aumentará.
- Signo del trabajo: Como la fuerza electrostática es conservativa, $W_{Fe} = -\Delta Ep_e$. Al disminuir la energía potencial, su incremento es negativo y el trabajo, por tanto, será positivo.
- La interacción es atractiva, por lo ya visto antes. Además, puede razonarse atendiendo al signo del trabajo. El signo positivo indica que la fuerza electrostática favorece el desplazamiento, es decir, el acercamiento. La fuerza electrostática tiende a acercar ambas cargas.

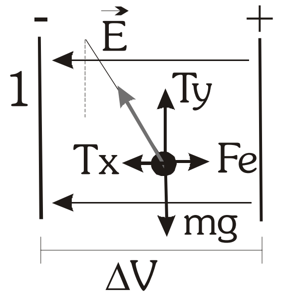
b) Energía potencial: características.

- La energía potencial es la *energía almacenada por un cuerpo cuando sobre éste actúa una fuerza conservativa*.
- Decimos que el cuerpo tiene almacenada una cierta energía potencial Ep_A en el punto A, y otra energía potencial Ep_B en el punto B. De esta forma, el trabajo realizado por la fuerza al desplazarse entre A y B, coincide con el cambio en dicha energía potencial. Así $W_{FC} = -\Delta Ep = Ep_A - Ep_B$ Podemos hacer esto gracias a que la fuerza es conservativa, es decir, el trabajo que realiza sólo depende de los puntos inicial y final, no del recorrido seguido. Sólo existe energía potencial asociada a fuerzas conservativas.
- Unidades de energía potencial: Julios (J) en el Sistema Internacional.
- Tipos de energía potencial:
  - Energía potencial gravitatoria (Ep_g): debida a la acción de la fuerza gravitatoria.
  - Energía potencial electrostática (Ep_e): debida a la acción de la fuerza electrostática entre cargas.
  - Energía potencial elástica (Ep_{el}): debida a la acción de la fuerza elástica (p.e. un muelle al comprimirlo o estirarlo).
- Origen de potencial: Observamos que definimos la energía potencial de forma que siempre calculamos diferencias de energía entre dos valores. De hecho, sabemos la diferencia, no el valor concreto en cada punto. Para tener un valor en cada punto, debemos establecer un <u>origen de potencial</u> , un punto en el que digamos que la energía potencial vale cero. Según el punto que se escoja obtendremos una fórmula para la Ep u otra.
- Cálculo de la Ep asociada a una fuerza conservativa: La expresión de la Ep se calcula a partir del trabajo realizado por la fuerza $W_{FC} = -\Delta Ep$ → $\int_A^B \vec{F}_C \cdot d\vec{r} = Ep_A - Ep_B$ Habrá que calcular la integral en general, y la fórmula que resulte será la que usemos, una vez hayamos escogido el origen de potencial.

2. Una bolita esférica de carga negativa y radio despreciable suspendida de un hilo de 5 cm, está situada entre las placas de un condensador plano. Al cargar el condensador con una diferencia de potencial de 10 kV, la esfera queda como indica la figura.
a) Realizar un esquema indicando dirección y sentido del campo eléctrico. Calcular la carga de la esfera
b) Calcular el trabajo realizado por la fuerza eléctrica.
(dato: masa de la esfera: 100 g)



a) Nos encontramos con una interacción electrostática, entre un condensador y una partícula cargada. Un condensador cargado crea un campo electrostático entre sus placas que podemos considerar constante en módulo, dirección y sentido. Es perpendicular a las placas y su sentido va desde la placa de mayor potencial a la de menor. El módulo del campo se calcula con la expresión $E = \frac{\Delta V}{d}$.



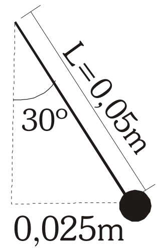
La bolita cargada se desvía por acción de la fuerza electrostática $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$. Como la carga es negativa, el campo y la fuerza van en sentidos contrarios. Así, la distribución del campo y las placas positiva y negativa son las que indica el dibujo.

Aplicando la primera ley de Newton a la bolita en equilibrio, $\Sigma\vec{F} = 0$, llegamos a

$$\left.\begin{array}{l} x: \quad Fe - Tx = 0 \rightarrow |q| \cdot E = T \cdot sen30^o \rightarrow \dfrac{|q| \cdot \Delta V}{d} = T \cdot sen30^o \\ y: \quad Ty - Fg = 0 \quad \rightarrow \quad m \cdot g = T \cdot cos\,30^o \end{array}\right\} \frac{|q| \cdot \Delta V}{m \cdot g \cdot d} = tg30^o \rightarrow |q| = \frac{m \cdot g \cdot d \cdot tg30^o}{\Delta V}$$

Sustituyendo valores, obtenemos que $|q| = 5{,}77 \cdot 10^{-6}\ C$. Así, $q = -5{,}77 \cdot 10^{-6}\ C$

b) Para calcular el trabajo realizado por la fuerza electrostática, tenemos en cuenta que ésta es constante, por lo que podremos calcular el trabajo mediante la expresión $W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} = F \cdot \Delta r \cdot cos\,\alpha$



La fuerza será, en módulo $F_e = q \cdot E = |q| \cdot \frac{\Delta V}{d} = 0{,}577N$

El desplazamiento, lo calculamos a partir del triángulo: $\Delta r = L \cdot sen30^o = 0{,}025m$

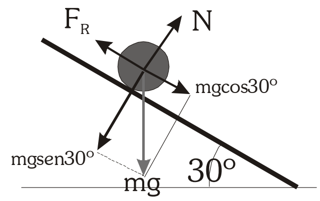
El ángulo que forman será de 0º.

Así, el trabajo realizado será $W = F \cdot \Delta r \cdot cos\,0^o = 0{,}0144\ J$

3. Un cuerpo de 5 kg se deja caer por un carril inclinado 30º con la horizontal, desde una altura de 5 m, llegando al suelo con una velocidad de 8 ms^{-1}. Allí choca con un resorte horizontal, comprimiéndolo 20 cm. Calcular:
a) Coeficiente de rozamiento.
b) Constante elástica del resorte.

Resolvemos este problema aplicando conceptos energéticos. Dividimos la resolución en dos partes:

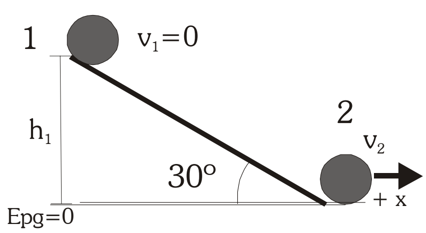
a) caída por la pendiente sin rozamiento.
b) Compresión del resorte, con rozamiento.



a) Análisis energético: Energías presentes:

$Ec = \frac{1}{2} m \cdot v^2$: Inicialmente es cero. Aumenta al caer por la pendiente.

Epg = m·g·h (origen en la aprte inferior de la pendiente h=0) Inicialmente tiene su valor máximo, disminuyendo hasta hacerse cero al caer por la pendiente.



$E_M = Ec + Epg$: No se mantiene constante, debido a que actúan una fuerza no conservativa (rozamiento) que realiza trabajo. La normal no realiza, al ser perpendicular al desplazamiento. Se cumplirá que

$$W_{FNC} = \Delta EM \quad \rightarrow \quad W_{FR} = E_{M2} - E_{M1}$$

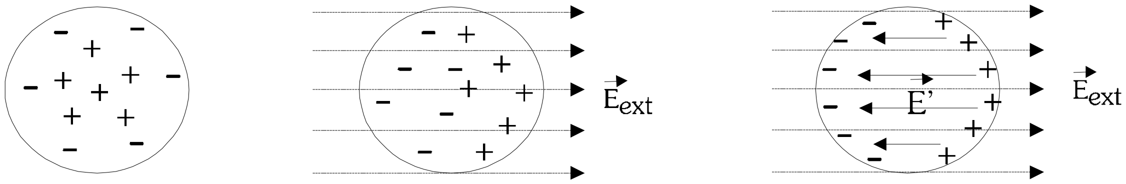
OPCIÓN B:

1. a) Comparar el comportamiento de un dieléctrico y un conductor al introducirlos en el interior de un campo electrostático. ¿Puede un dieléctrico transformarse en un conductor?

La diferencia básica entre un conductor y un dieléctrico estriba en que el conductor posee cargas móviles (electrones), mientras que en el dieléctrico (aislante) los electrones están confinados dentro de los átomos o moléculas, ya sea polar (con dipolos preexistentes) o apolar (sin dipolos). En situación de equilibrio, en ambos casos el campo en el interior es nulo.

Al introducir un conductor dentro de un campo eléctrico externo, $\vec{E}_{ext}$, los electrones móviles (carga negativa) se moverán en sentido contrario al campo. Esto produce una separación de carga + y - (dipolo), originándose un campo eléctrico $\vec{E}'$ dentro del conductor, que es igual y de sentido contrario al exterior.

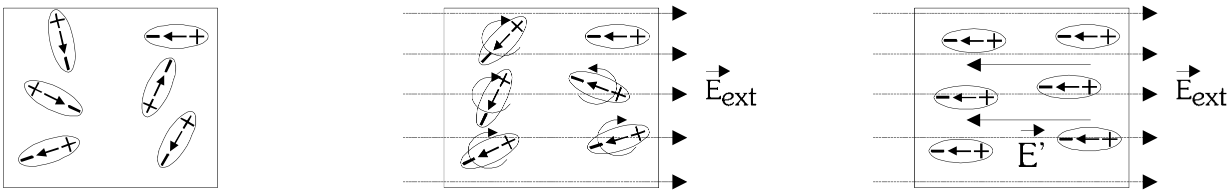
De este modo, el campo en el interior, al llegar a la situación de equilibrio: $\vec{E}_{int} = \vec{E}_{ext} + \vec{E}' = 0$



Sin embargo, al introducir un dieléctrico, las cargas no pueden separarse completamente. En una sustancia polar, los dipolos se deforman y orientan en el sentido del campo eléctrico, y en una apolar se forman dipolos instantáneos (inducidos). En ambos casos se crea un campo inducido que se opone al campo exterior, pero no llega a ser suficientemente intenso como para anularlo. El campo interior se hace más pequeño que el exterior, pero no se hace cero.

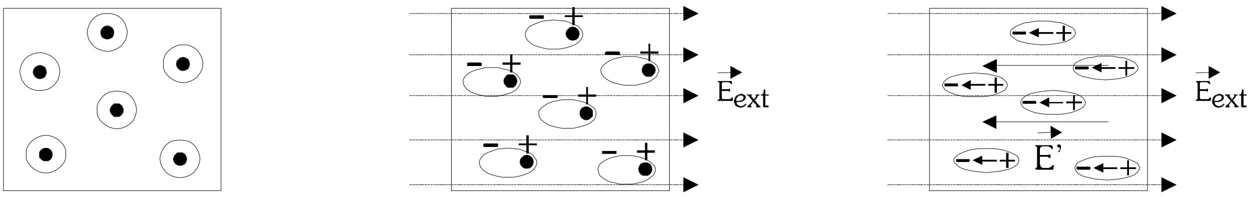
$\vec{E}_{int} = \vec{E}_{ext} + \vec{E}'$; en módulo $E_{int} = E_{ext} - E'$; $E_{int} < E_{ext}$

DIELÉCTRICO POLAR:



Al principio los dipolos están desordenados ($\mathbf{E}_{int} = 0$) — Se introduce $\mathbf{E}_{ext}$. Orientación de dipolos — Se origina **E'** en sentido contrario a $\mathbf{E}_{ext}$

DIELÉCTRICO APOLAR:



Al principio no existen dipolos ($\mathbf{E}_{int} = 0$) — Se introduce $\mathbf{E}_{ext}$. Separación de cargas. Formación de dipolos — Se origina **E'** en sentido contrario a $\mathbf{E}_{ext}$

<u>Ruptura del dieléctrico:</u>

Al polarizar el dieléctrico, las cargas positiva y negativa de cada molécula tienden a separarse. Cuanto mayor es el campo eléctrico externo, mayor estiramiento se producirá en la molécula. ¿Podremos aumentar indefinidamente el campo o existirá un límite? Pues ocurre lo segundo, es decir, llegará un momento (un valor máximo de $\vec{E}_{ext}$) en que las moléculas no podrán estirarse más y se romperán, quedando libres los electrones. Se habla entonces de *ruptura del material dieléctrico*. De hecho, se ha convertido en un conductor, y circulará corriente a través de él (es lo que ocurre cuando salta un rayo a través del aire en una tormenta, o una chispa entre dos cables muy próximos). El valor del campo $\vec{E}$ a partir del cual ocurre esto se denomina *campo de ruptura*. Para el aire seco es de $3 \cdot 10^6$ V/m aprox.

b) Supongamos el siguiente caso: aplicamos una fuerza F sobre un bloque situado en una superficie horizontal. ¿Es posible que dicha fuerza realice trabajo y al mismo tiempo mantenerse constante la energía cinética del bloque? Razonar.

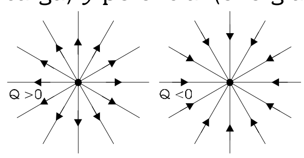
Trabajo: transferencia de energía por la acción de una fuerza realizada a lo largo de un desplazamiento.

Según el teorema trabajo-energía cinética (teorema de las fuerzas vivas), el trabajo total realizado sobre el cuerpo es igual a la variación de su energía cinética (energía debida al movimiento). $W_{TOT} = \Delta Ec$. Para que $Ec = cte \rightarrow W_{TOT} = 0$, por lo que si la fuerza aplicada es la única que actúa, es imposible que realice trabajo y que la energía cinética no cambie.

Sin embargo, si existe otra fuerza (u otras) aplicada sobre el cuerpo, de forma que realice un trabajo igual y de signo contrario al que realiza F (una fuerza igual y opuesta, por ejemplo), entonces el trabajo total será nulo y la energía cinética constante. Como consecuencia, sí es posible la situación que plantea la cuestión.

2. Tenemos dos esferas separadas 1 m. La primera, de radio 5 cm, tiene una carga de 3 μC, y la segunda, de radio 10 cm, tiene una carga de -6 μC. Calcular:
a) Punto del espacio (si existe) en el que el campo electrostático es nulo.
b) Punto del espacio (si existe) en el que el potencial electrostático es nulo.

Nos encontramos ante dos esferas cargadas que crean campo electrostático a su alrededor. El campo creado por una esfera puede calcularse considerando que toda la carga estuviera concentrada en su centro (es decir, considerando cargas puntuales). Así, las expresiones de campo electrostático (fuerza ejercida por unidad de carga) y potencial (energía almacenada por unidad de carga) son $\vec{E} = \frac{K \cdot Q}{r^2} \cdot \vec{u}_r$ $\qquad V = \frac{K \cdot Q}{r}$



Una carga positiva crea un campo hacia fuera, y una carga negativa hacia dentro.

El campo (o el potencial) total en cualquier punto se calcula aplicando el principio de superposición:

$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \qquad V = V_1 + V_2$

Los radios de las esferas no tienen utilidad en este problema

a) Para que el campo electrostático sea nulo en un punto, $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0 \rightarrow \vec{E}_1 = -\vec{E}_2$ Es decir, ambos campos deben ser iguales en módulo y dirección, pero en sentido contrario. Por tanto:

- Para que los campos vayan en la misma dirección, el punto, si existe, se encuentra en la misma línea que ambas cargas.
- Como ambas cargas son de distinto signo, el punto debe encontrarse a la izquierda o a la derecha de ambas esferas, ya que, como se indica en la figura, es en esas zonas donde los campos creados pueden tener sentido contrario. Además, debe encontrarse más cerca de la carga de menor valor absoluto (la 1 en este caso), para compensar este hecho. Así, el punto se encuentra a la izquierda, y se cumple la relación $r_2 = 1 + r_1$
- Para que los módulos sean iguales $E_1 = E_2 \rightarrow \frac{K \cdot |Q_1|}{r_1^2} = \frac{K \cdot |Q_2|}{r_2^2} \rightarrow r_2 = \sqrt{\frac{|Q_2|}{|Q_1|}} \cdot r_1 \qquad r_2 = \sqrt{2} \cdot r_1$

Resolviendo el sistema formado por ambas ecuaciones, obtenemos $r_1 = 2{,}41m \quad , \quad r_2 = 3{,}41m$

b) Para que el potencial electrostático sea nulo, $V = V_1 + V_2 = 0 \rightarrow \frac{K \cdot Q_1}{r_1} = -\frac{K \cdot Q_2}{r_2} \rightarrow r_2 = -\frac{Q_2}{Q_1} \cdot r_1$

Obtenemos, sustituyendo, $r_2 = 2 \cdot r_1$

Es la única condición. Cualquier punto del espacio que esté a doble distancia de la carga 2 que de la 1, tendrá potencial nulo. Al ser el potencial una magnitud escalar, no tenemos otra ecuación para la dirección o sentido.

Por ejemplo, un punto que cumple con esa condición se encuentra entre ambas cargas, de modo que $r_2 + r_1 = 1$

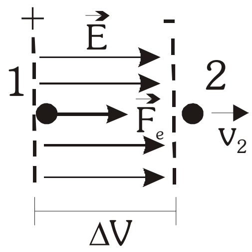
Con ambas ecuaciones, obtenemos $r_1 = 0{,}33m \quad , \quad r_2 = 0{,}66m$

3. Una partícula de 200 g y 2 ·10^{-3} C de carga es acelerada mediante una diferencia de potencial de 1250 V, y posteriormente choca contra un resorte de constante elástica 2000 N/m.
a) Describir las variaciones de energía que sufre la partícula. (Dibujar esquema)
b) Calcular la velocidad que adquiere la partícula al ser acelerada y cuánto se comprime el resorte.

Pasamos la masa al S.I: m = 0,2 kg

Resolvemos los apartados a y b conjuntamente.

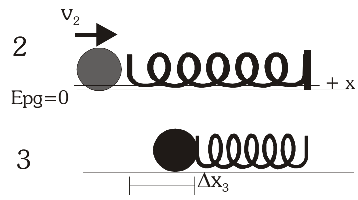
Todas las fuerzas que actúan sobre la partícula son conservativas, tanto la fuerza electrostática durante la aceleración, como la fuerza elástica durante la compresión del muelle. Por lo tanto, la energía mecánica de la partícula se mantendrá constante en todo momento.



- Durante la aceleración, se produce una transformación de energía potencial electrostática $Ep_e = q \cdot V$ (máxima en 1, mínima en 2) en energía cinética, que aumenta desde cero hasta su valor máximo al salir del campo eléctrico. En la figura están representados la dirección del campo electrostático (en el mismo sentido que el desplazamiento, ya que la carga es positiva) y de la fuerza que acelera la partícula.

$$E_M = cte \rightarrow \Delta Ec = -Ep_e \rightarrow \tfrac{1}{2} m v_2^2 - 0 = -q \cdot (V_2 - V_1) \quad \rightarrow \quad \tfrac{1}{2} m v_2^2 = |q \cdot \Delta V|$$

Sustituyendo y despejando, obtenemos $v_2 = 5\ m \cdot s^{-1}$



- Durante la compresión del resorte, la energía cinética disminuye, al tiempo que aumenta la energía potencial elástica, hasta alcanzar su valor máximo. Se produce una transformación íntegra de energía cinética en energía elástica.

$$E_M = cte \rightarrow \Delta Ec = -Ep_{el} \rightarrow 0 - \tfrac{1}{2} m v_2^2 = -(\tfrac{1}{2} K \Delta x_3^2 - 0) \quad \rightarrow \quad \tfrac{1}{2} K \Delta x_3^2 = \tfrac{1}{2} m v_2^2$$

Así, sustituyendo y despejando, obtenemos $\Delta x_3 = 0{,}05\ m$