

**EB.1** Vector campo eléctrico. Fuerza eléctrica

Considera los ocho puntos cuyas coordenadas se indican a continuación

$$A(0,1) \quad B(1,0) \quad C(0,-1) \quad D(-1,0)$$

$$M(1,1) \quad N(1,-1) \quad O(-1,-1) \quad P(-1,1)$$

estando todas las distancias expresadas en metros.

- Calcula el campo eléctrico que crea en cada uno de los ocho puntos una carga eléctrica  $Q = 2 \text{ C}$  situada en el origen del sistema de referencia  $(0,0)$ . Antes de empezar a hacer los cálculos, haz un diagrama representando la situación (que debe incluir: los ejes X e Y, los ocho puntos, la carga  $Q$ , y los ocho vectores campo)
- Calcula la fuerza que siente una carga eléctrica  $q = 1 \text{ C}$  cuando la colocamos en cada uno de los ocho puntos. Haz un diagrama representando la situación.
- Repite los apartados (a) y (b) suponiendo que cambiamos la carga del origen por otra  $Q' = -2 \text{ C}$ .
- Repite el apartado (b) suponiendo que cambiamos la carga del origen por otra  $Q' = -2 \text{ C}$ , y que en los ocho puntos vamos colocando una carga  $q' = -1 \text{ C}$ . ¿Cambian los resultados respecto de (b)? ¿Cuál es el motivo?

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

**EB.2** Potencial eléctrico. Energía potencial. Energía “de formación”

Considera los ocho puntos del problema **EB.1**. (Usa también de EB.1 el dato  $k$ ).

- Calcula el potencial eléctrico que crea en cada uno de los ocho puntos una carga eléctrica  $Q = 2 \text{ C}$  situada en el origen del sistema de referencia  $(0,0)$ . Haz un diagrama.
- Calcula la energía potencial eléctrica que adquiere una carga  $q = 1 \text{ C}$  cuando la colocamos en cada uno de los ocho puntos. Haz un diagrama representando la situación.
- Repite los apartados (a) y (b) suponiendo que cambiamos la carga del origen por otra  $Q' = -2 \text{ C}$ .
- Repite el apartado (b) suponiendo que cambiamos la carga del origen por otra  $Q' = -2 \text{ C}$ , y que en los ocho puntos vamos colocando una carga  $q' = -1 \text{ C}$ .
- Calcula las energías de formación de los siguientes dos sistemas de cargas: el sistema  $S_1$ , formado por la carga  $Q = 2 \text{ C}$  en el origen

## «6 problemas básicos de CAMPO ELÉCTRICO» (Nivel: 2º BACH.)

(0,0) y la carga  $q = 1 \text{ C}$  en el punto  $A$ , y el sistema  $S_2$ , formado de nuevo por la carga  $Q$  en el origen y ahora la carga  $q' = -1 \text{ C}$  en el punto  $M$ . Haz previamente un diagrama de ambas situaciones, y al final interpreta los signos de las energías.

**EB.3** Condensadores. Trabajo externo y trabajo del campo

Entre las dos placas de un condensador hay una diferencia de potencial de  $\Delta V_C = 30 \text{ V}$ , y la distancia que las separa es  $d = 60 \text{ cm}$ .

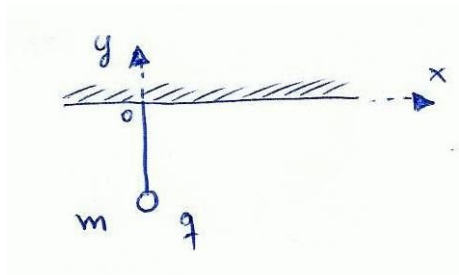
- ¿Cuánto vale el módulo del campo eléctrico entre las placas?
- Supongamos que un electrón está inicialmente en reposo junto a la placa negativa del condensador. Debido a la fuerza eléctrica, llega a la placa positiva. ¿Con qué velocidad llega? Haz un dibujo representando la situación.
- Tras el proceso del apartado (b), el electrón ha quedado en reposo, pegado a la placa positiva. Imagina que lo llevamos de nuevo a la negativa para volver a empezar el experimento, ¿cuál es el “trabajo externo”,  $W_{ext}$ , que tenemos que hacer? ¿Cuál es el trabajo que hace el campo,  $W_{elec}$ , en este desplazamiento? Haz un dibujo representando la situación, e interpreta los signos de ambos trabajos.

DATOS:  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$        $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

AYUDA: Aunque no es estrictamente necesario para resolver el problema, si te resulta más fácil así puedes suponer que el punto medio entre las placas está a potencial cero (es decir, que las placas están a  $V_- = -15 \text{ V}$  y  $V_+ = 15 \text{ V}$ ).

**EB.4** Cargas suspendidas

Una pequeña esfera de  $m = 250 \text{ g}$  y carga  $q$  cuelga verticalmente de un hilo, como se indica en la figura. Aplicamos un campo eléctrico  $\vec{E} = -10^3 \vec{i} \text{ N/C}$ , constante y uniforme, y  $q$  se desvía hacia la derecha y queda en reposo cuando el hilo forma un ángulo de  $37^\circ$  con la vertical.



- Dibuja el esquema de fuerzas en la posición de equilibrio, y a partir de este esquema deduce razonadamente el signo de  $q$ .
- Calcula la tensión del hilo (basta con que halles su módulo).
- Determina el valor de  $q$ .

DATOS:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

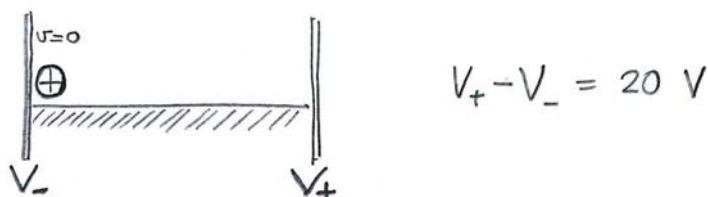
**EB.5 Más ejercicios de: condensadores y conservación de la energía**

- a) Un electrón está en reposo en la placa negativa de un condensador con  $\Delta V_C = 15 \text{ V}$ . ¿Con qué velocidad llega a la placa positiva?
- b) El electrón anterior sale de la placa negativa con  $v_0 = 2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ . ¿Con qué velocidad llega a la positiva?
- c) Un protón sale de una de las placas de un condensador estando inicialmente en reposo, y llega a la otra con  $v = 3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ . Halla: **c.1.-**  $\Delta V_C$ ; **c.2.-** Si  $d = 30 \text{ cm}$ , el módulo del vector  $\vec{E}$ ; **c.3.-** Dibuja las placas y el vector  $\vec{E}$ , e indica de qué placa salió el protón.
- d) Una partícula de  $q = -7 \text{ C}$  y  $m = 2 \text{ g}$  está en un punto  $A$  en reposo y llega a otro punto  $B$ , bajo la acción exclusiva de la  $\vec{F}_e$ , con  $v = 150 \text{ m/s}$ . Responde justificadamente: **d.1.-** ¿Qué punto está a mayor potencial?; **d.2.-** Calcula  $\Delta V$ ; **d.3.-** Repite para  $q = 4 \text{ C}$ .

DATOS:  $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$      $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$     ( $m_e, q_e$ : ver EB.3)

**EB.6 Más ejercicios de: condensadores y cálculo de trabajos**

En el laboratorio tenemos una superficie horizontal sin rozamiento, sobre la cual hay una partícula cargada de  $q = 5 \text{ C}$ . La superficie horizontal se encuentra, a su vez, entre las placas de un condensador de  $\Delta V_C = 20 \text{ V}$ , como se indica en la figura. La partícula se encuentra inicialmente en reposo junto a la placa negativa del condensador.



- a) Arrastramos la partícula, mediante una fuerza externa, hasta situarla en reposo junto a la placa positiva. **a.1.-** ¿Qué trabajo habrá hecho esta fuerza externa en el desplazamiento? **a.2.-** Indica también, justificadamente, si este trabajo es una energía inyectada en el sistema o quitada al sistema. Interpretalo.
- b) Ahora nuestra partícula está en reposo junto a la placa positiva, para lo cual nos vemos obligados a sujetarla con una fuerza externa, ya que se siente electrostáticamente repelida por esta placa y atraída por la

## «6 problemas básicos de CAMPO ELÉCTRICO» (Nivel: 2º BACH.)

otra. Podemos imaginar que la estamos sujetando directamente con la mano. Supongamos, ahora, que aflojamos un poco la fuerza externa, de modo que permitimos que la partícula inicie un desplazamiento suave y controlado hacia la placa negativa (podemos volver a visualizarlo pensando, por ejemplo, que la acompañamos con la mano, y así impedimos que su velocidad crezca demasiado). Al final logramos depositarla en reposo junto a la placa negativa.

**b.1.-** ¿Qué trabajo habrá hecho la fuerza externa en el desplazamiento? **b.2.-** Indica también, justificadamente, si este trabajo es una energía inyectada en el sistema o quitada al sistema. Interpretalo.

- c)** Dejamos nuestro laboratorio y nos preocupamos por otra cuestión. Queremos que un protón, inicialmente en reposo en un punto  $A$ , a potencial  $V_A = 5 \text{ V}$ , llegue al punto  $B$ , a potencial  $V_B = 7 \text{ V}$  también en reposo. **c.1.-** ¿Cuál es el trabajo que hay que hacer? **c.2.-** Interpreta su signo.
- d)** Imaginemos para un electrón el mismo desplazamiento  $A \rightarrow B$  del apartado anterior. **d.1.-** ¿Cuál es el trabajo que hay que hacer? **d.2.-** Interpreta su signo.
- e)** Calcula: **e.1.-** El trabajo que hace el campo en los apartados (a) y (b). **e.2.-** Interpreta sus signos.
- f)** Calcula: **f.1.-** El trabajo que hace el campo en los apartados (c) y (d). **f.2.-** Interpreta sus signos.

DATOS:  $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$        $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

## Respuestas

**EB.1** [a]  $\vec{E}_A = 1,8 \cdot 10^{10} \vec{j} \text{ N/C} = -\vec{E}_C$ ;     $\vec{E}_B = 1,8 \cdot 10^{10} \vec{i} \text{ N/C} = -\vec{E}_D$ ;  
 $\vec{E}_M = (6'36, 6'36) \cdot 10^9 \text{ N/C} = -\vec{E}_O$ ;  $\vec{E}_N = (6'36, -6'36) \cdot 10^9 \text{ N/C} = -\vec{E}_P$ .

[b]  $\vec{F}_A = 1,8 \cdot 10^{10} \vec{j} \text{ N} = -\vec{F}_C$ ;     $\vec{F}_B = 1,8 \cdot 10^{10} \vec{i} \text{ N} = -\vec{F}_D$ ;  
 $\vec{F}_M = (6'36, 6'36) \cdot 10^9 \text{ N} = -\vec{F}_O$ ;  $\vec{F}_N = (6'36, -6'36) \cdot 10^9 \text{ N} = -\vec{F}_P$ .

[c] Los vectores campo y fuerza en cada punto son los mismos que los de los apartados (a) y (b) multiplicados por  $-1$ . Observación: el vector campo que crea una carga negativa siempre apunta hacia ella (al contrario que en apartado (a), con una carga positiva); la fuerza entre dos cargas de distinto signo siempre es de tipo atractivo.

[d] Los resultados son iguales a los de (b). El motivo es que las distancias y los  $\vec{u}_r$  son los mismos, y el resultado del producto de cargas también:  $Q \cdot q = (-Q') \cdot (-q') = Q' \cdot q'$ . La interpretación es que dos cargas del mismo signo siempre se repelen, sean positivas o negativas.

## «6 problemas básicos de CAMPO ELÉCTRICO» (Nivel: 2º BACH.)

**EB.2** [a]  $V_A = V_B = V_C = V_D = 1,8 \cdot 10^{10}$  V;  $V_M = V_N = V_O = V_P = 1,27 \cdot 10^{10}$  V.

[b]  $E_P(A) = E_P(B) = E_P(C) = E_P(D) = 1,8 \cdot 10^{10}$  J;  
 $E_P(M) = E_P(N) = E_P(O) = E_P(P) = 1,27 \cdot 10^{10}$  J.

[c] Los potenciales y energías potenciales en cada punto son los mismos que los de los apartados (a) y (b) multiplicados por  $-1$ .

[d] Los resultados son iguales a los de (b). El motivo es que las distancias son las mismas, y el resultado del producto de cargas también:  $Q \cdot q = (-Q') \cdot (-q') = Q' \cdot q'$ .

[e]  $E_f^{(1)} = 1,8 \cdot 10^{10}$  J; interpretación: «al ser una energía de formación positiva, concluimos que es la energía que hay que suministrar para formar el sistema». (Intuitivamente: como las cargas se repelen, hay que “arrastrarlas”).

$E_f^{(2)} = -1,27 \cdot 10^{10}$  J; interpretación: «al ser una energía de formación negativa, concluimos que su valor absoluto  $|E_f^{(2)}| = 1,27 \cdot 10^{10}$  J es la energía que se libera cuando se forma el sistema». (Intuitivamente: como las cargas se atraen, hay que “frenarlas”, y el rozamiento “calienta el suelo”).

**EB.3** [a]  $E = 50$  N/C = 50 V/m.

[b]  $v_{final} = 3,25 \cdot 10^6$  m/s.

[c]  $W_{ext} = 4,8 \cdot 10^{-18}$  J;  $W_{elec} = -4,8 \cdot 10^{-18}$  J.

INTERPRETACIONES: El signo positivo del  $W_{ext}$  indica que «hay que aplicar una  $\vec{F}_{ext}$  que va a favor del movimiento». Esto se debe a que se trata de un desplazamiento hacia  $E_P$  crecientes, y por tanto no tendría lugar espontáneamente. Por eso,  $\vec{F}_{ext}$  ha de compensar a  $\vec{F}_e$  para “arrastrar” el electrón hasta la posición final. «El valor de  $W_{ext}$  es la energía que se está “inyectando” en el sistema» (la que el electrón gana). El signo negativo del  $W_{elec}$  indica que « $\vec{F}_e$  no va a favor del movimiento», y por tanto este desplazamiento no podría tener lugar de manera espontánea, como ya se ha dicho.

**EB.4** [a] Para que se incline a la derecha, necesitamos que  $\vec{F}_e$  vaya hacia la derecha. Como  $\vec{F}_e = q\vec{E}$ , entonces una  $q < 0$  hace que  $\vec{F}_e$  se oponga al campo y una  $q > 0$  hace que  $\vec{F}_e$  tenga el sentido del campo. El campo apunta hacia la izquierda. Por lo tanto, necesariamente ha de ser  $q < 0$ .

[b]  $T = 3,07$  N.

[c]  $q = -1,85 \cdot 10^{-3}$  C.

**EB.5** [a]  $v = 2,30 \cdot 10^6$  m/s.

[b]  $v = 3,05 \cdot 10^6$  m/s.

[c.1]  $\Delta V_C = 4,78 \cdot 10^4$  V; [c.2]  $E = 1,59 \cdot 10^5$  V/m; [c.3]  $\vec{E}$  apunta hacia la placa de llegada, pues siempre es perpendicular a ambas placas y va de la positiva hacia la negativa.

«6 problemas básicos de CAMPO ELÉCTRICO» (Nivel: 2º BACH.)

[d.1]  $B$ , ya que las cargas negativas se mueven espontáneamente hacia potenciales crecientes; [d.2]  $\Delta V = V_B - V_A = 3,21 \text{ V}$ ; [d.3]  $A$  a mayor potencial, pues las cargas positivas se mueven espontáneamente hacia potenciales decrecientes;  $\Delta V = V_B - V_A = -5,63 \text{ V}$ .

**EB.6 [a.1]**  $W_{ext} = 100 \text{ J}$ ; [a.2] Un  $W_{ext} > 0$  es una energía inyectada en el sistema. Interpretación:  $\vec{F}_{ext}$  "arrastra", es decir: va a favor del movimiento.

[b.1]  $W_{ext} = -100 \text{ J}$ ; [b.2] Un  $W_{ext} < 0$  es una energía quitada del sistema. Esto se interpreta porque  $\vec{F}_{ext}$  "frena", es decir: se opone al movimiento.

[c.1]  $W_{ext}^{A \rightarrow B} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ; [c.2]  $W_{ext} > 0$  significa que la  $\vec{F}_{ext}$  que hay que hacer será a favor del movimiento ("arrastrando").

[d.1]  $W_{ext}^{A \rightarrow B} = -3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ; [d.2]  $W_{ext} < 0$  significa que la  $\vec{F}_{ext}$  que hay que hacer será en contra del movimiento ("frenando").

[e.1]  $W_{elec}^{apdo (a)} = -100 \text{ J}$ ;  $W_{elec}^{apdo (b)} = 100 \text{ J}$ ; [e.2] Interpretamos:

- En apartado (a),  $W_{elec} < 0 \Rightarrow \vec{F}_{elec}$  se opone al movimiento, y por tanto éste no podría ser espontáneo (recordemos que las cargas positivas espontáneamente van hacia potenciales decrecientes, que no es el caso).
- En apartado (b),  $W_{elec} > 0 \Rightarrow \vec{F}_{elec}$  va a favor del movimiento, y por tanto éste podría ser espontáneo (recordemos que las cargas positivas espontáneamente van hacia potenciales decrecientes, que sí es el caso).

[f.1]  $W_{elec}^{apdo (c)} = -3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $W_{elec}^{apdo (d)} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ; [f.2] Interpretamos:

- En apartado (c),  $W_{elec} < 0 \Rightarrow \vec{F}_{elec}$  se opone al movimiento, y por tanto éste no podría ser espontáneo (recordemos que las cargas positivas espontáneamente van hacia potenciales decrecientes, que no es el caso).
- En apartado (d),  $W_{elec} > 0 \Rightarrow \vec{F}_{elec}$  va a favor del movimiento, y por tanto éste podría ser espontáneo (recordemos que las cargas negativas espontáneamente van hacia potenciales crecientes, que sí es el caso).



signos:

INTERPRETACIÓN del SIGNO del TRABAJO		
CASO GENERAL ( $W_F, \vec{F}$ "cualquiera")	$W$ que "HAY que HACER" ( $W_{ext}, \vec{F}_{ext}$ )	$W$ que "HACE el CAMPO" ( $W_{elec}, \vec{F}_{elec}$ )
$\oplus$ $\vec{F}$ "arrastra" (a favor del movimiento)	$ W_{ext} $ es la energía <u>inyectada</u> al sistema	el movimiento <u>podría ser espontáneo</u>
$\ominus$ $\vec{F}$ "frena" (en contra del movimiento)	$ W_{ext} $ es la energía <u>quitada</u> al sistema	el movimiento <u>no podría ser espontáneo</u>