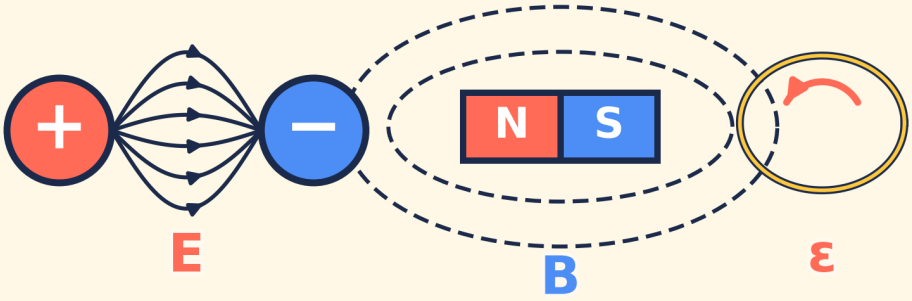
Electromagnetismo

Cuaderno de teoría · Física de 2.º de Bachillerato

Campo eléctrico · Campo magnético · Inducción · Preparado para Selectividad





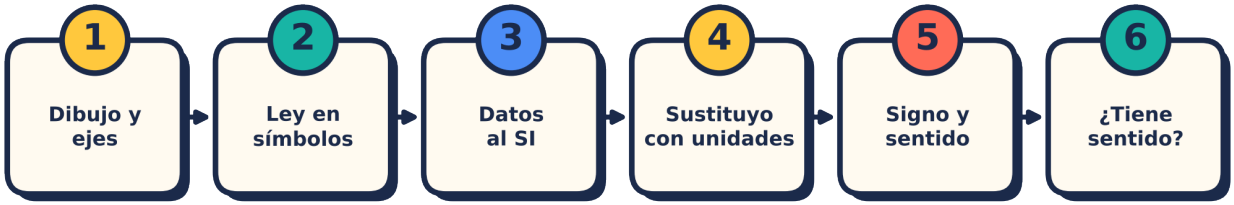


CÓMO USARLO

¡Hola! Soy el **Dr. Julio** y voy a acompañarte. Este volumen reúne la **teoría** (primera parte) y el **cuaderno práctico** (segunda parte) de electromagnetismo: cada capítulo termina indicando qué ejercicios practicar. Todo está explicado con palabras sencillas, dibujos y ejemplos resueltos. Más material en **www.megajulios.com**.

Rutina para bordar Selectividad

Antes de calcular nada, repite siempre estos seis pasos. Los puntos de un examen se ganan sobre todo en los pasos 1, 2, 5 y 6.



Las cuatro preguntas guía

Casi cualquier problema de este bloque se resuelve contestando estas cuatro preguntas en este orden:

¿Quién crea el campo?	¿Se suma como vector o escalar?	¿Qué fuerza actúa?	¿Cambia el flujo?
carga · corriente o flujo variable	E, B: vectores V: escalar	qE · $qv\times B$ · $IL\times B$	si no cambia, no hay fem



PISTA

Si te atascas, vuelve a estas cuatro preguntas: **casi siempre la respuesta está en una de ellas.**

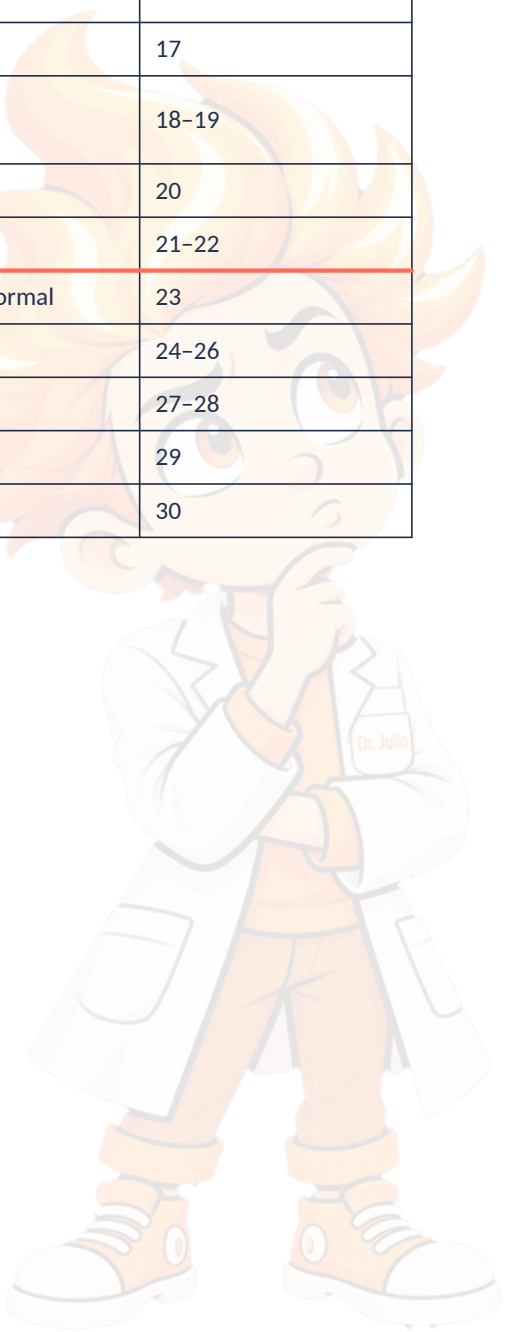
CONSTANTES

Constantes de uso frecuente: $k = 9{,}0\cdot10^{9}\ \mathrm{N\,m^2\,C^{-2}}$ · $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}\ \mathrm{C^2\,N^{-1}\,m^{-2}}$ · $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}\ \mathrm{T\,m\,A^{-1}}$ · $e = 1{,}60\cdot10^{-19}\ \mathrm{C}$ · $m_e = 9{,}11\cdot10^{-31}\ \mathrm{kg}$ · $m_p = 1{,}67\cdot10^{-27}\ \mathrm{kg}$.

Mapa del cuaderno

Tres partes y diecisiete capítulos. A la derecha, qué ejercicios del cuaderno de práctica trabajan cada uno.

Cap.	Tema	Idea clave	Cuaderno de práctica
1.1	Ley de Coulomb	Cargas del mismo signo se repelen; la fuerza cae con $1/r^2$	Ejercicios 1–2
1.2	Campo eléctrico y superposición	El campo es un vector: se descompone y se suma	3–5
1.3	Puntos de campo nulo	Dónde se cancelan dos campos	6–7
1.4	Potencial, trabajo y energía	Escalares: se suman con su signo	8–9
1.5	Campo uniforme (placas)	Aceleración constante y trayectoria parabólica	10–11
1.6	Flujo y ley de Gauss	Solo cuenta la carga encerrada	12
2.1	Campo creado por corrientes	Hilo, espira y solenoide; mano derecha	13–15
2.2	Superposición y campo magnético nulo	Sumar sentidos antes que números	16
2.3	Fuerza de Lorentz	Siempre perpendicular a la velocidad	17
2.4	Movimiento en un campo magnético	Órbita circular: $r = mv/(\|q\|B)$	18–19
2.5	Campos cruzados	Selector de velocidades: $v = E/B$	20
2.6	Fuerza sobre conductores	$F = I\,L\,B \operatorname{sen}\theta$; dos hilos paralelos	21–22
3.1	Flujo magnético	Importa la orientación: ángulo con la normal	23
3.2	Faraday-Lenz	La espira se opone al cambio de flujo	24–26
3.3	Espiras que entran y salen	Tres etapas: entrar, dentro, salir	27–28
3.4	Fem de movimiento	Barra móvil y freno magnético	29
3.5	Generadores	Girar para producir corriente alterna	30





1 Campo eléctrico

Coulomb · campo · potencial · placas · Gauss

1.1 · Ley de Coulomb

Cómo se empujan o se tiran dos cargas puntuales

Dos cargas se atraen si tienen signo contrario y se repelen si lo tienen igual; la fuerza cae con el cuadrado de la distancia.

DEFINICIÓN

Ley de Coulomb



La fuerza entre dos **cargas puntuales** es proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Actúa sobre la recta que las une y cumple la 3.ª ley de Newton: fuerzas iguales en módulo y de sentidos opuestos.

$$F = k\frac{|q_1\,q_2|}{r^2} \qquad k = 9{,}0\cdot 10^9\ \mathrm{N\,m^2\,C^{-2}}$$

Úsala con cargas en C y distancias en m; el módulo es siempre positivo, el signo solo decide atracción o repulsión.

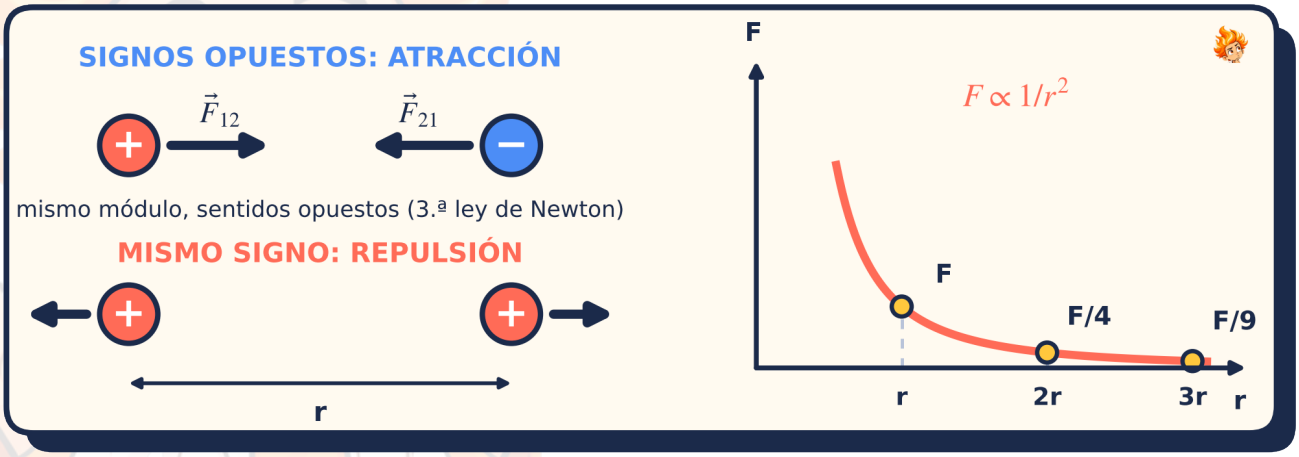


Figura 1.1 · a la izquierda, el sentido según los signos; a la derecha, F baja a F/4 si duplicas r y a F/9 si la triplicas.

Cómo se aplica

1. Dibuja las cargas y la recta que las une; marca la distancia *r*.
2. Convierte a SI: μC = 10^{-6} C, nC = 10^{-9} C, cm → m.
3. Calcula el módulo con valores absolutos de las cargas.
4. Dibuja sobre cada carga una flecha: hacia la otra si se atraen, alejándose si se repelen.
5. Si hay tres o más cargas, suma las fuerzas como vectores (ver 1.2).

EJEMPLO

Ejemplo. Dos cargas, q_1 = +5,0 µC y q_2 = −2,0 µC, están a 0,30 m. ¿Con qué fuerza interactúan?



$$F = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{(5{,}0 \cdot 10^{-6})(2{,}0 \cdot 10^{-6})}{(0{,}30)^2} = 1{,}0 \text{ N}$$

Signos opuestos: **atracción** de 1,0 N sobre cada carga, dirigida hacia la otra.

ERROR COMÚN

Radar de errores



- Usar una distancia que no está en metros.
- Perder los prefijos µ y n.
- Dar una fuerza «positiva o negativa» sin decir dirección y sentido.
- Olvidar que la fuerza sobre q_1 y sobre q_2 tiene el mismo módulo.

ENTRENA CON

Ejercicios 1–2 del cuaderno práctico.

1.2 · Campo eléctrico y superposición

El espacio guarda las instrucciones de la fuerza

El campo es la fuerza por unidad de carga; con varias cargas, dibuja cada campo y suma componente a componente.

DEFINICIÓN

Campo eléctrico



Es la fuerza que sentiría una carga de prueba q_0 positiva colocada en el punto, dividida por su carga. Sale de las cargas positivas y entra en las negativas. Si la carga que lo sufre es negativa, la fuerza tiene sentido contrario al campo.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad E = \frac{k|q|}{r^2} \qquad \vec{F} = q\,\vec{E}$$

Principio de superposición: el campo total es la suma **vectorial** de los campos de cada carga.

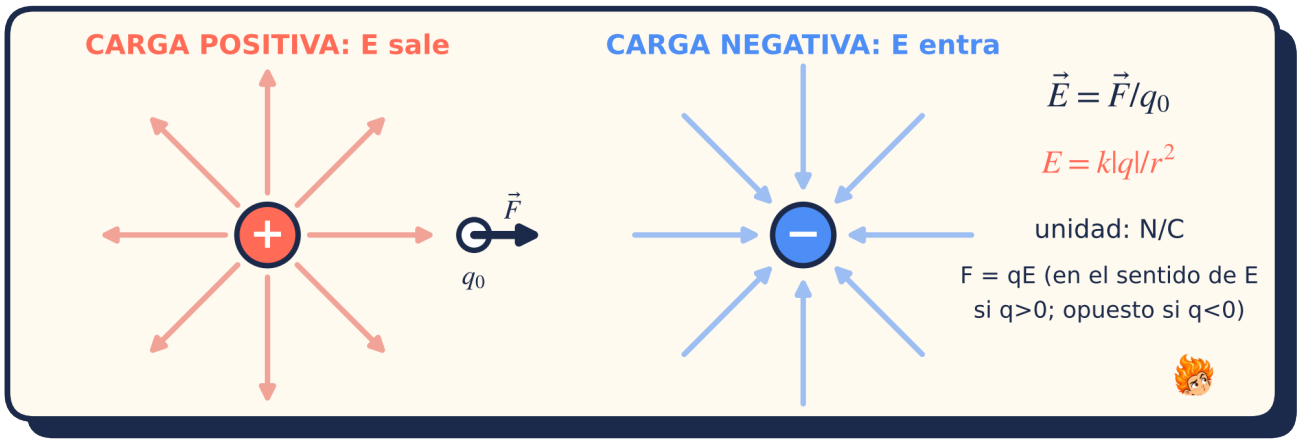


Figura 1.2 · líneas de campo de dos cargas y fuerza sobre la carga de prueba.

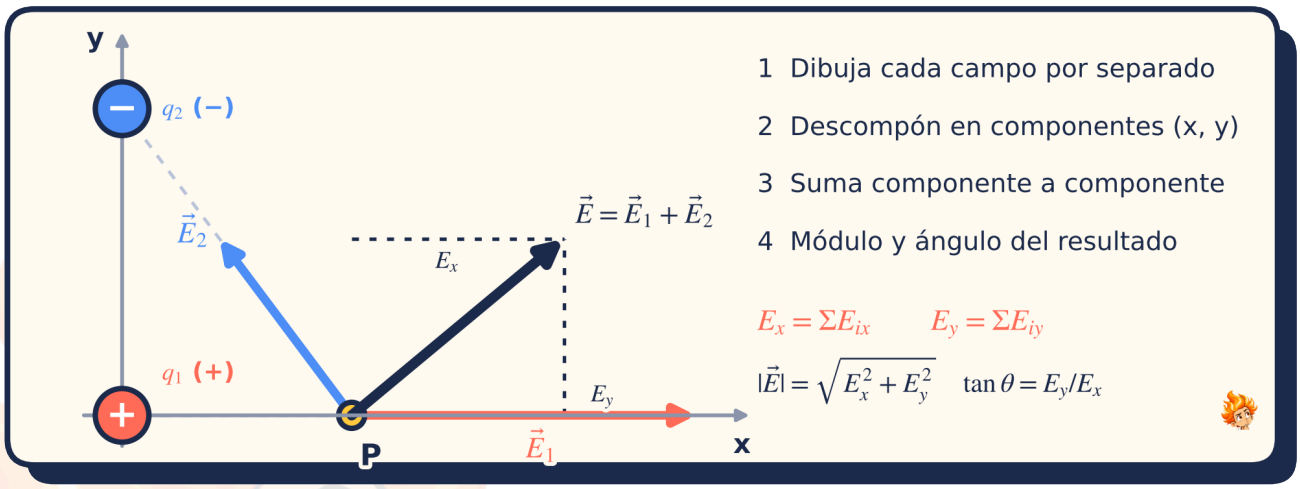


Figura 1.3 · suma vectorial en un punto P: dibuja, descompón, suma y calcula módulo y ángulo.

Cómo se aplica

1. Marca el punto P y dibuja cada campo con su sentido (¿qué carga lo crea y de qué signo es?).
2. Calcula el módulo de cada uno con $E = k|q|/r^2$, usando la distancia real a P.
3. Descompón cada vector en *x* e *y* con ayuda del triángulo.
4. Suma componentes: $E_x = \Sigma E_{ix}$, $E_y = \Sigma E_{iy}$.
5. Da módulo, ángulo y, si lo piden, el vector con **i**, **j**.

EJEMPLO

Ejemplo. q_1 = +9,0 nC en el origen y q_2 = −16 nC en (0; 0,40) m. Campo en P (0,30; 0) m.

E_1 = 900 N/C hacia +x. La distancia de q_2 a P es 0,50 m, así que E_2 = 576 N/C, dirigido hacia q_2 (es negativa), con componentes (−0,6; 0,8)·576.

$$\vec{E} = (554\,\vec{i} + 461\,\vec{j})\ \text{N/C} \quad |\vec{E}| = \sqrt{554^2 + 461^2} \approx 721\ \text{N/C} \quad \theta = \arctan\frac{461}{554} \approx 40^\circ$$

ERROR COMÚN

Radar de errores



- Sumar módulos cuando los vectores no son paralelos.
- Arrastrar el signo de *q* dentro del módulo de *E*.
- Usar la distancia horizontal en lugar de la distancia real a P.
- Dibujar el campo de una carga negativa saliendo de ella.

ENTRENA CON

Ejercicios 3–5 del cuaderno práctico.

1.3 · Puntos de campo nulo

Una cancelación vectorial

Para que E = 0 los dos campos deben tener igual módulo, igual dirección y sentidos opuestos: decide primero la región y después plantea la ecuación.

DEFINICIÓN

Punto de campo nulo



Es un punto donde el campo total vale cero porque las contribuciones se cancelan. No es lo mismo que potencial nulo: ambos pueden darse por separado.

$$E_1 = E_2 \Rightarrow \frac{k\,q_1}{x^2} = \frac{k\,q_2}{(d-x)^2} \Rightarrow \frac{x}{d-x} = \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}$$

d es la distancia entre las cargas y *x* la del punto a q_1 (en la región entre ellas).

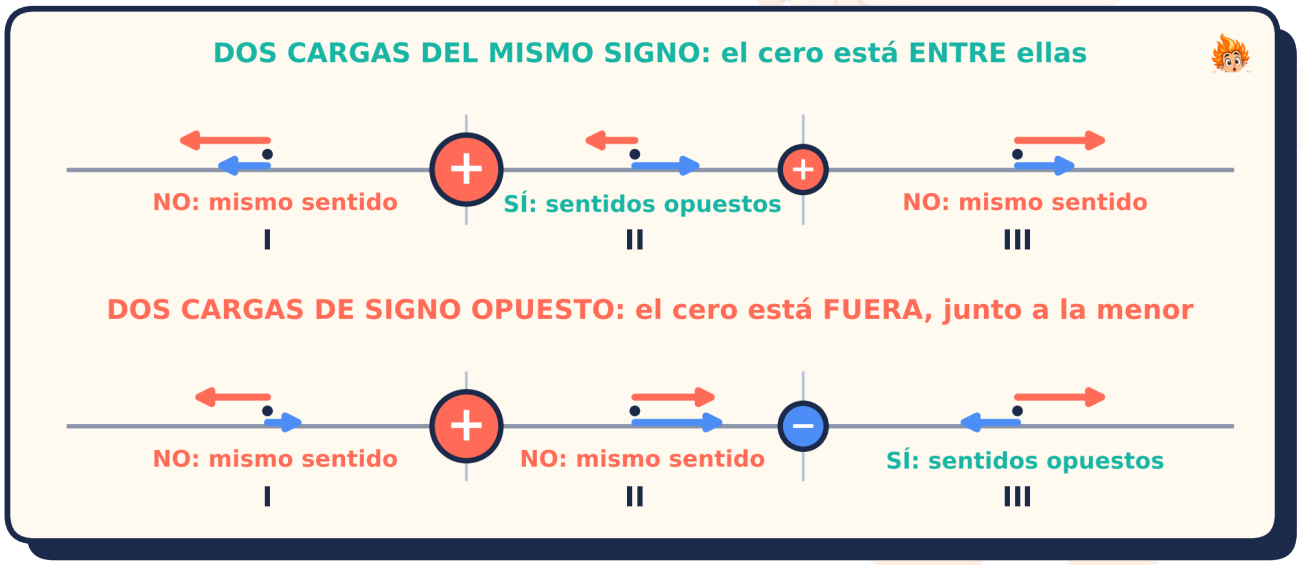


Figura 1.4 · prueba de sentidos en las tres regiones: misma carga → cero entre ellas; cargas opuestas → cero fuera, junto a la de menor valor.

Cómo se aplica

1. Dibuja las cargas sobre una recta y divide el eje en tres regiones: I, II y III.
2. En cada región, dibuja $\mathbf{E}_1$ y $\mathbf{E}_2$ en un punto de prueba: solo vale donde sean opuestos.
3. Plantea $E_1 = E_2$ con la distancia al punto como incógnita.
4. Resuelve y comprueba que la raíz cae en la región elegida; descarta la otra.

EJEMPLO

Ejemplo. +9,0 nC en $x = 0$ y +4,0 nC en $x = 0{,}50$ m. Mismo signo: el cero está entre ambas.



$$\frac{x}{0{,}50 - x} = \sqrt{\frac{9}{4}} = 1{,}5 \;\Rightarrow\; x = 0{,}30 \text{ m}$$

Comprobación: $E_1 = 9{\cdot}10^{9}{\cdot}9{\cdot}10^{-9}/0{,}30^2 = 900$ N/C $= E_2$. Está más cerca de la carga menor.

ERROR COMÚN



Radar de errores

- Igualar módulos antes de decidir la región.
- Aceptar raíces que pertenecen a otro intervalo.
- Confundir $E = 0$ con $V = 0$.
- Olvidar que, con cargas opuestas, el cero está fuera y no entre ellas.

ENTRENA CON

Ejercicios 6–7 del cuaderno práctico.

1.4 · Potencial, trabajo y energía

Escalares que cuentan una historia energética

El potencial es un número con signo: se suma sin vectores, y el trabajo del campo es $q{\cdot}(V_A - V_B)$.

DEFINICIÓN



Potencial eléctrico

Es la energía potencial por unidad de carga en un punto, con $V = 0$ en el infinito. Una **superficie equipotencial** une puntos de igual V y es perpendicular al campo. El campo apunta hacia donde el potencial baja.

$$V = \frac{k\,q}{r} \qquad V_{total} = \Sigma\, V_i \qquad U = qV$$

$$W_{campo} = q\,(V_A - V_B) = -\Delta U \qquad W_{externo} = -W_{campo}$$

W_{campo} positivo: la carga gana energía cinética sola. Negativo: hay que empujarla desde fuera.



ESCALARES: se suman con su signo

$$V = \frac{kq}{r} \qquad V_{total} = \Sigma V_i$$

$$U = qV \qquad W_{campo} = q\,(V_A - V_B) = -\Delta U$$

- W campo > 0: la carga gana energía cinética
- W campo < 0: la aporta un agente externo
- q > 0 baja hacia V menor; q < 0, al revés

Figura 1.5 · equipotenciales de una carga positiva y fórmulas de potencial, energía y trabajo.

Cómo se aplica

1. Escribe V_A y V_B con signo (en voltios); si hay varias cargas, suma números.
2. Calcula $W_{campo} = q(V_A - V_B)$ con el signo de q.
3. Interpreta: ¿quién ha puesto la energía? $W_{externo} = -W_{campo}$.
4. Si solo actúa el campo: $\Delta E_c = W_{campo}$.

EJEMPLO

Ejemplo. $Q = +4{,}0$ nC. Se lleva $q = -3{,}0$ nC de $r_A = 0{,}20$ m a $r_B = 0{,}50$ m.

$$V_A = \frac{kQ}{r_A} = 180\ \text{V} \qquad V_B = 72\ \text{V} \qquad W_{campo} = (-3{,}0 \cdot 10^{-9})(180 - 72) = -3{,}2 \cdot 10^{-7}\ \text{J}$$

$W_{campo} < 0$: la carga negativa es atraída, alejarla cuesta energía, que debe aportar un agente externo ($+3{,}2 \cdot 10^{-7}$ J).

ERROR COMÚN

Radar de errores

- Sumar potenciales como vectores.
- Intercambiar W_{campo} y $W_{externo}$.
- Olvidar el signo de la carga de prueba en $U = qV$.
- Pensar que una carga negativa baja hacia el potencial menor.

ENTRENA CON

Ejercicios 8–9 del cuaderno práctico.

1.5 · Campo eléctrico uniforme

Placas que aceleran y desvían

Entre placas el campo es constante: una película con aceleración constante y otra sin aceleración.

DEFINICIÓN

Campo uniforme

Entre dos placas paralelas cargadas el campo es igual en todos los puntos, perpendicular a las placas y dirigido de la positiva a la negativa. La fuerza es $q\mathbf{E}$, así que una carga positiva acelera con **E** y una negativa, contra él.

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} \qquad \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \qquad \tfrac{1}{2}mv^2 = |q|\,|\Delta V|$$

Convierte siempre cm → m y kV → V.

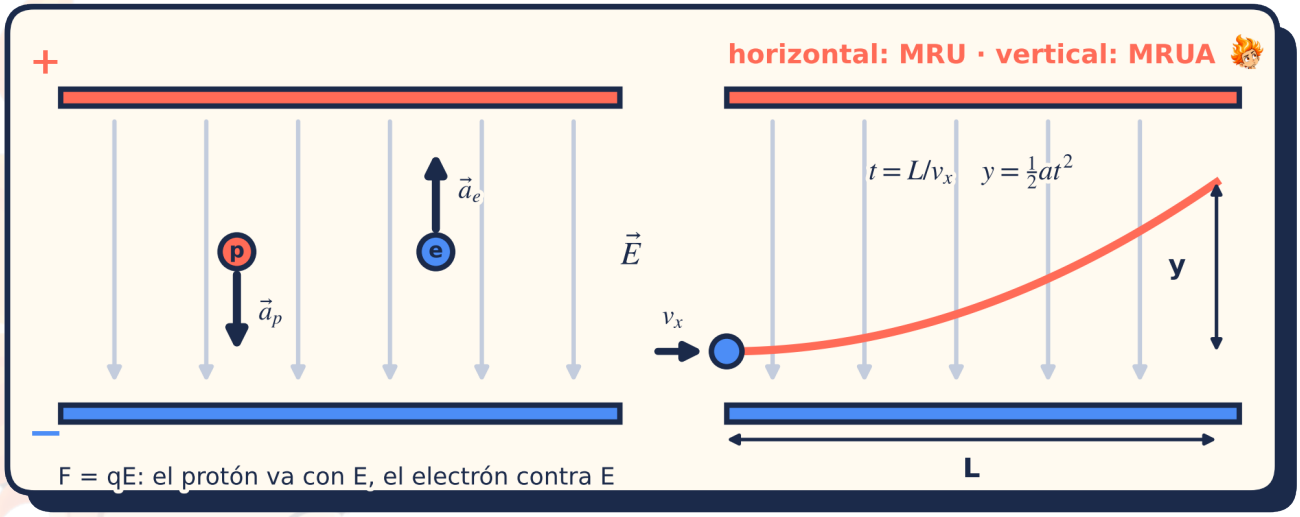


Figura 1.6 · protón y electrón entre placas, y trayectoria parabólica al entrar perpendicularmente al campo.

Cómo se aplica

1. Dibuja las placas, el sentido de **E** y el signo de la carga.
2. Calcula $E = |\Delta V|/d$ y la aceleración $a = |q|E/m$, con su sentido.
3. Si entra en paralelo: MRUA. Si entra perpendicular: MRU en x y MRUA en y, con el mismo t.
4. Para velocidades finales, puedes usar energía: $\tfrac{1}{2}mv^2 = |q|\,|\Delta V|$.

EJEMPLO

Ejemplo. Un electrón parte del reposo en la placa negativa; las placas están a 500 V y separadas 2,0 cm.

$$E = \frac{500}{0{,}020} = 2{,}5 \cdot 10^4 \text{ V/m} \qquad v = \sqrt{\frac{2eV}{m_e}} = 1{,}3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

El campo apunta hacia la placa negativa, pero el electrón acelera en sentido contrario: hacia la positiva.

ERROR COMÚN

Radar de errores



- No convertir cm o kV.
- Hacer que el electrón acelere en el sentido de **E**.
- Usar el tiempo de un eje distinto en cada componente.
- Aplicar fórmulas de campo uniforme a una carga puntual.

ENTRENA CON

Ejercicios 10–11 del cuaderno práctico.

1.6 · Flujo eléctrico y ley de Gauss

Contar líneas sin seguirlas una a una

Solo importa la carga encerrada: las cargas de fuera deforman el campo pero no cambian el flujo neto.

DEFINICIÓN

Flujo y ley de Gauss



El **flujo** mide cuántas líneas de campo atraviesan una superficie; depende del ángulo entre **E** y la normal. En una superficie cerrada, el flujo total solo depende de la carga neta del interior.

$$\Phi_E = E\,S\cos\theta \qquad \Phi_E = \frac{Q_{int}}{\varepsilon_0}\ \text{(superficie cerrada)}$$

$\Phi = ES\cos\theta$ solo si E es uniforme en la superficie.

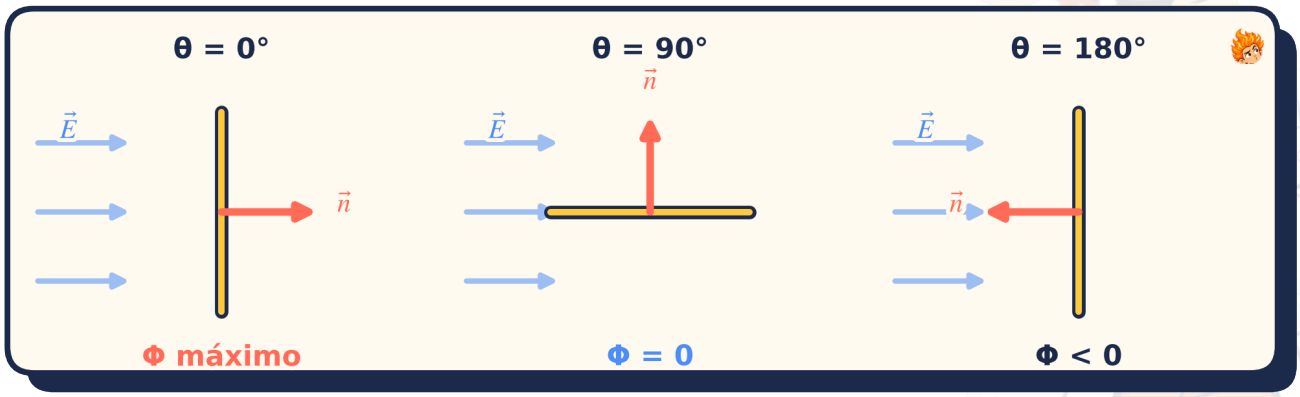


Figura 1.7 · el flujo es máximo, nulo o negativo según el ángulo entre E y la normal.

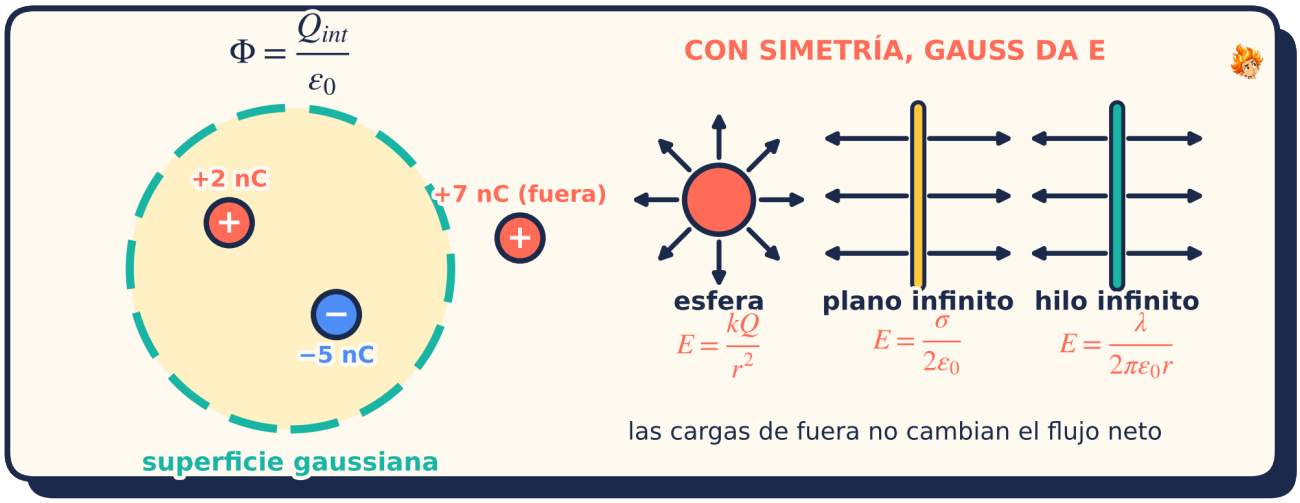


Figura 1.8 · carga encerrada y campos de las tres simetrías (esfera, plano infinito, hilo infinito).

Cómo se aplica

1. Decide si la superficie es cerrada y rodea las cargas del interior.
2. Suma solo las cargas encerradas, con su signo.
3. Aplica $\Phi = Q_{int}/\varepsilon_0$.
4. Si hay simetría (esfera, plano, hilo), elige la superficie adecuada y despeja *E* con las fórmulas de la figura.

EJEMPLO

Ejemplo. Una superficie cerrada contiene +2,0 nC y −5,0 nC; fuera hay una carga de +7,0 nC.



$$\Phi = \frac{(+2{,}0 - 5{,}0)\cdot 10^{-9}}{8{,}85\cdot 10^{-12}} = -3{,}4\cdot 10^{2}\ \mathrm{N\,m^2/C}$$

Flujo neto **entrante**. Los +7,0 nC exteriores no cuentan.

ERROR COMÚN

Radar de errores



- Incluir cargas exteriores en Q_{int}.
- Aplicar $\Phi = ES$ a cualquier superficie.
- Confundir flujo nulo con campo nulo.
- Usar Gauss para obtener *E* sin simetría.

ENTRENA CON

Ejercicio 12 del cuaderno práctico.



2 Campo magnético

Corrientes · fuerza de Lorentz · selector · conductores

Parte 2 · Campo magnético. Aquí aprenderás qué campo crean las corrientes, cómo actúa ese campo sobre cargas en movimiento y sobre cables, y cómo se combinan campo eléctrico y magnético. La clave en todos los capítulos: **primero el dibujo y el sentido, después los números**.

EN ESTA PARTE

2.1 Campo de corrientes · **2.2** Campo nulo · **2.3** Fuerza de Lorentz · **2.4** Movimiento en B · **2.5** E y B cruzados · **2.6** Conductores y entre hilos

2.1 · Campo creado por corrientes

La regla de la mano derecha

Una corriente rodea al conductor de campo magnético: el pulgar sigue a la corriente y los dedos dibujan las líneas de B.

DEFINICIÓN

Campo magnético B

Magnitud vectorial que describe la influencia magnética en cada punto. Se mide en **teslas (T)**. Lo crean las cargas **en movimiento**, es decir, las corrientes (y los imanes); una carga en reposo no crea campo magnético.

Hilo rectilíneo largo. Las líneas de campo son circunferencias centradas en el hilo; el módulo baja como 1/r, de modo que a doble distancia el campo se reduce a la mitad:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

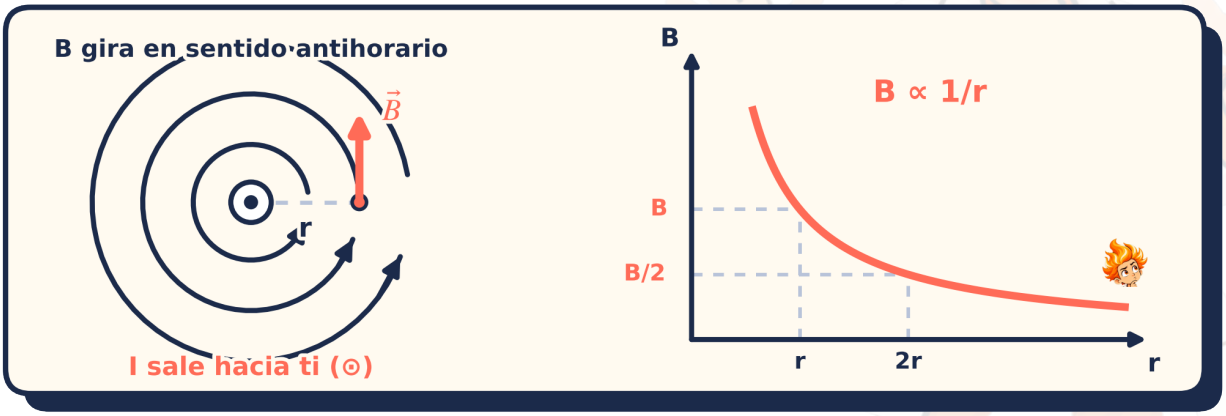


Figura 1 · Alrededor de un hilo, B es tangente a una circunferencia y decae como 1/r.

Espira y solenoide. En el centro de N espiras circulares de radio R, y dentro de un solenoide largo con n espiras por metro (lejos de sus extremos):

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2R}$$

$$B = \mu_0 n I \qquad n = \frac{N}{L}$$

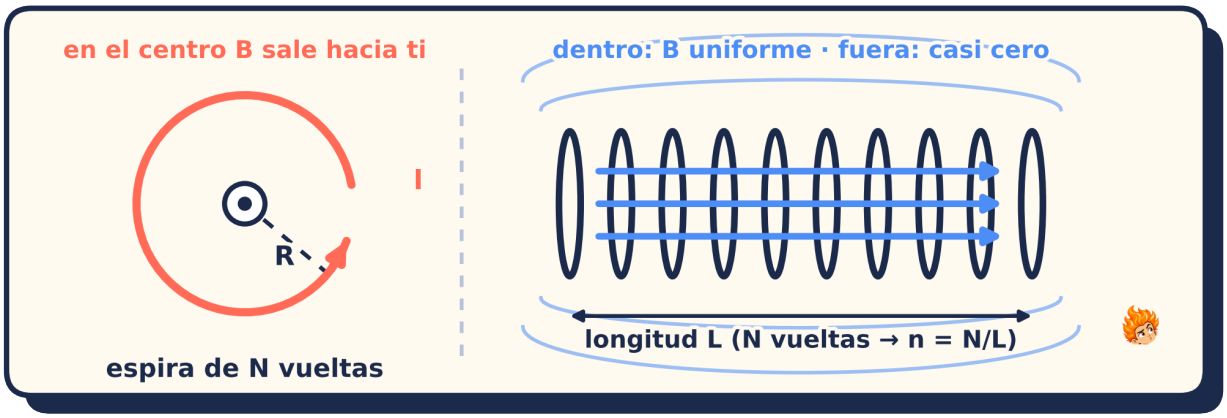


Figura 2 · La espira concentra el campo en su eje; el solenoide lo hace uniforme en su interior.

Cómo se aplica

1. **Dibuja** el conductor y marca el punto donde quieres el campo, con la **distancia perpendicular** al hilo.
2. **Elige el modelo**: hilo, espira (centro) o solenoide (interior). Escribe la ley en forma simbólica.
3. **Pasa a SI**: centímetros a metros, radio (no diámetro) y n = N/L.
4. **Sentido con la mano derecha**: pulgar según la corriente, dedos abrazan el conductor y señalan B. Con corriente hacia ti () el campo gira en sentido antihorario.
5. **Interpreta**: compara con el campo terrestre (≈ $5 \cdot 10^{-5}$ T) para ver si el orden de magnitud tiene sentido.

EJEMPLO RESUELTO



Un hilo vertical lleva 30 A hacia arriba. Calcula B a 15 cm y su sentido. Un solenoide con 500 espiras/m lleva 1,5 A: ¿cuánto vale B dentro?

Hilo: $B = \mu_0 I/(2\pi r) = (4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 30)/(2\pi \cdot 0{,}15) =$ **$4{,}0 \cdot 10^{-5}$ T**. Visto desde arriba, B gira en sentido antihorario.

Solenoide: $B = \mu_0 nI = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 1{,}5 =$ **$9{,}4 \cdot 10^{-4}$ T** (casi 20 veces el campo terrestre).

RADAR DE ERRORES



Usar el **diámetro** como radio de la espira.

Confundir **N** (vueltas totales) con **n = N/L** (vueltas por metro).

Medir la distancia desde el extremo del hilo en vez de **perpendicularmente**.

Dejar la distancia en centímetros dentro de la fórmula.

ENTRENA CON

Ejercicios 13, 14 y 15 del cuaderno práctico.

2.2 · Superposición y campo magnético nulo

Sumar sentidos antes que números

Cada hilo crea su propio campo; en un punto se suman como vectores. Para que se anulen deben apuntar en sentidos opuestos y tener el mismo módulo.

DEFINICIÓN

Superposición magnética

El campo total en un punto es la suma vectorial de los campos de cada conductor: $\mathbf{B = B_1 + B_2}$. Conviene asignar a cada contribución un signo (+ o −) sobre un eje común antes de operar con números.

Con **mismos sentidos** de corriente, los campos se oponen **entre** los hilos; con **sentidos opuestos**, se oponen **fuera**. Un punto de campo nulo, si existe, siempre está más cerca del hilo que lleva **menos corriente**.

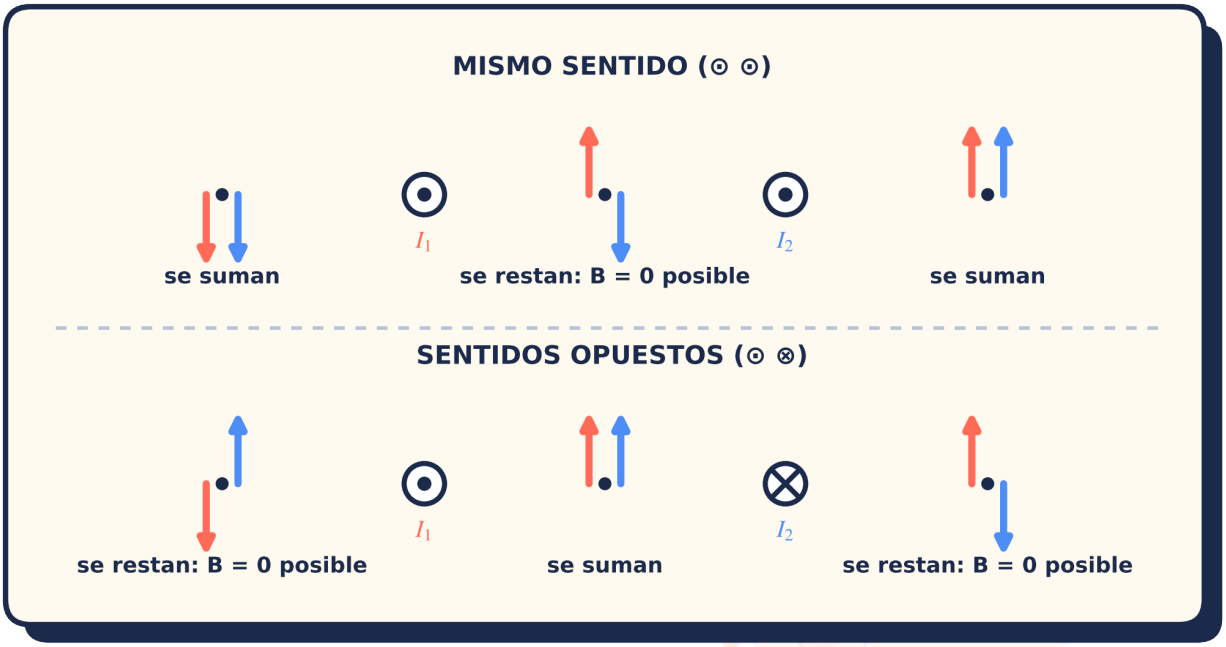


Figura 3 · Rojo: campo del hilo 1. Azul: campo del hilo 2. Solo donde apuntan en sentidos opuestos puede haber B = 0.

Cómo se aplica

1. **Dibuja** los hilos y su eje común, e indica cada corriente (o).
2. **Divide la recta en tres zonas** (izquierda, entre hilos, derecha) y decide, con la mano derecha, el sentido de cada B en cada zona.
3. **Quédate con la zona** donde los dos campos se oponen. Allí la condición es $B_1 = B_2$.
4. Como μ_0 y 2π se cancelan: $\mathbf{I_1/x_1 = I_2/x_2}$. Resuelve x.
5. **Comprueba** que la solución cae dentro de la zona elegida. Si no, ese tipo de punto no existe.

EJEMPLO RESUELTO



Dos hilos paralelos separados 0,40 m llevan 4,0 A y 2,0 A en sentidos opuestos. ¿Dónde es B = 0?

Los campos solo se oponen **fuera** de los hilos, y más cerca del de 2,0 A. Sea x la distancia a ese hilo, por el lado de fuera: $I_2/x = I_1/(x + 0{,}40) \rightarrow 2{,}0/x = 4{,}0/(x + 0{,}40) \rightarrow 2{,}0x + 0{,}80 = 4{,}0x \rightarrow$ **x = 0,40 m** (a 0,80 m del hilo de 4,0 A).

Comprobación: $\mu_0 \cdot 4{,}0/(2\pi \cdot 0{,}80) = \mu_0 \cdot 2{,}0/(2\pi \cdot 0{,}40) = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ T en cada hilo: se cancelan.

RADAR DE ERRORES



Sumar solo módulos sin pensar en el sentido de cada campo.

Usar el mismo sentido de B a ambos lados de un hilo: el campo cambia de sentido al cruzar el conductor.

Buscar el cero en una zona donde los dos campos van en el mismo sentido.

Mantener centímetros en la fórmula.

ENTRENA CON

Ejercicio 16 del cuaderno práctico.

2.3 · Fuerza de Lorentz

Una fuerza siempre lateral

Un campo magnético empuja de lado a las cargas que se mueven: la fuerza es perpendicular a v y a B.

DEFINICIÓN

Fuerza de Lorentz (parte magnética)

Fuerza que ejerce un campo magnético sobre una carga **en movimiento**. Es perpendicular a la velocidad y al campo, y su sentido se obtiene con el producto vectorial (mano derecha) para q > 0; si q < 0, el sentido se invierte.

$$\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B} \qquad F = |q|\,v\,B\,\operatorname{sen}\theta$$

θ es el ángulo entre v y B: la fuerza es **máxima** con v ⊥ B y **nula** si v ∥ B o si la carga está en reposo.

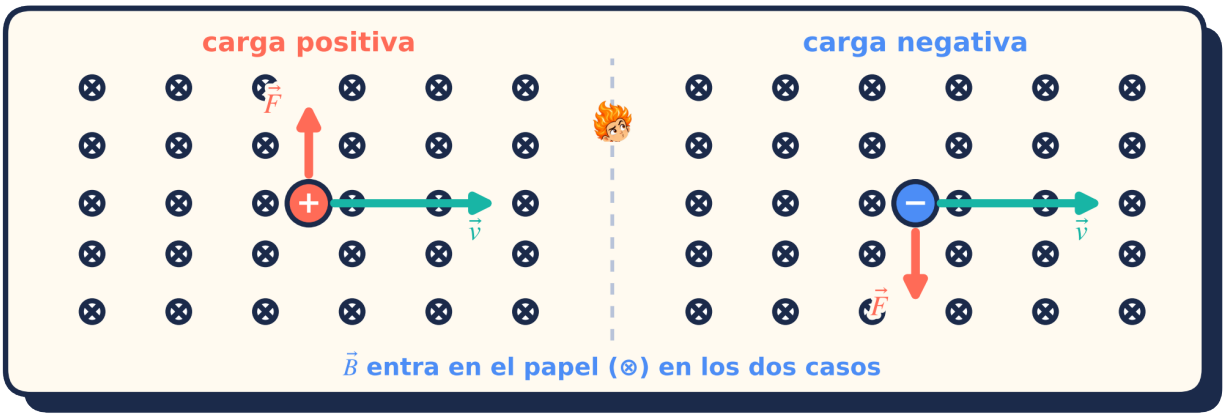


Figura 4 · Mismo v y mismo B: la carga positiva se desvía hacia un lado; la negativa, hacia el contrario.

PISTA

Productos vectoriales con componentes. Si el orden es cíclico (i→j→k) el resultado es positivo; si se invierte, negativo. Recuerda también que es +k (sale del papel) y es −k (entra).

i × j = k	**j × k = i**	**k × i = j**
j × i = −k	**k × j = −i**	**i × k = −j**

Cómo se aplica

1. **Dibuja** v y B con ejes, e indica si B es o .
2. **Resuelve el producto vectorial como si q fuese positiva** (mano derecha: dedos según v, giran hacia B, pulgar = F).
3. **Si q < 0, invierte** el sentido obtenido. El módulo se calcula con |q|.
4. **Usa sen θ** con θ entre v y B; si v B, sen θ = 1.
5. **Interpreta**: la fuerza no realiza trabajo, así que cambia la dirección de v pero no su módulo.

EJEMPLO RESUELTO



Un electrón con v = 3,0·10^{6} i m/s entra en B = 0,050 k T. Calcula F. ¿Y si v formase 30° con B?

$F = q\, v \times B = (-e)(v\,\mathrm{i}) \times (B\,\mathrm{k}) = -evB\,(\mathrm{i} \times \mathrm{k}) = -evB\,(-\mathrm{j}) = +evB\,\mathrm{j}$.

Módulo: 1,60·10^{-19} · 3,0·10^{6} · 0,050 = **2,4·10^{-14} N**, hacia **+j**. Con θ = 30°, F = 2,4·10^{-14} · sen 30° = **1,2·10^{-14} N**: la mitad.

RADAR DE ERRORES



Usar **cos θ** en vez de sen θ (θ es el ángulo entre v y B, no con la normal).

Meter el **signo de q** dentro del módulo: el módulo es siempre positivo.

Pensar que el campo magnético **cambia la rapidez**: solo cambia la dirección.

Confundir con al escribir B en componentes.

ENTRENA CON

Ejercicio 17 del cuaderno práctico.

2.4 · Movimiento en un campo magnético

Curvar sin cambiar la rapidez

Si la partícula entra perpendicular a B, la fuerza magnética hace de fuerza centrípeta y la trayectoria es una circunferencia.

DEFINICIÓN

Órbita en un campo magnético

Cuando v ⊥ B la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad en todo instante, así que no cambia su módulo: la partícula describe un **movimiento circular uniforme**. Igualando $|q|vB$ con mv^2/r se obtienen el radio y el periodo.

$$r = \frac{m\,v}{|q|\,B} \qquad T = \frac{2\pi\,m}{|q|\,B}$$

El periodo **no depende de la rapidez**: si v se duplica, el radio se duplica y la partícula tarda lo mismo en dar una vuelta (principio del ciclotrón).

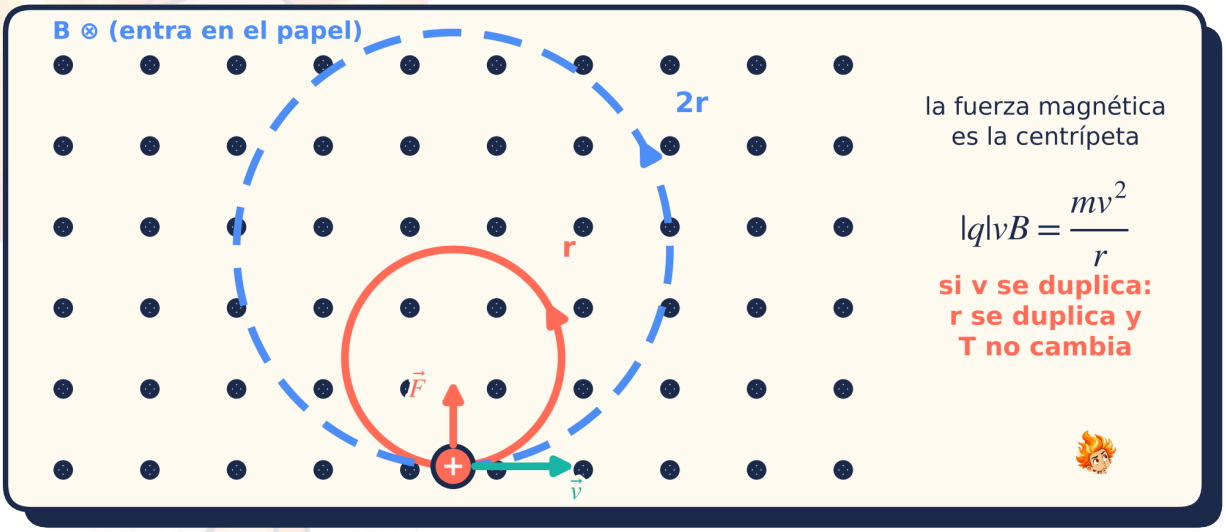


Figura 5 · La fuerza apunta siempre al centro. Con el doble de rapidez, el doble de radio y el mismo periodo.

Cómo se aplica

1. **Comprueba** que v ⊥ B (si no, la trayectoria sería una hélice).
2. **No inventes una fuerza nueva**: la fuerza centrípeta *es* la fuerza magnética. Escribe $|q|vB = mv^2/r$.
3. **Despeja** lo que pidan: r, T, m, q o v. Convierte todo a SI.
4. **Sentido de giro**: la fuerza apunta al centro de la curva; úsalo para deducir el signo de la carga o el sentido de B.
5. **Interpreta**: r crece con v y con m, y baja con $|q|$ y con B; T solo depende de m, $|q|$ y B.

EJEMPLO RESUELTO



Un electrón entra con v = 4,0·10^{6} m/s perpendicular a B = 1,0·10^{-3} T. Calcula el radio y el periodo. ¿Qué pasa si v se duplica?

$r = mv/(eB) = (9{,}11\cdot10^{-31} \cdot 4{,}0\cdot10^{6})/(1{,}60\cdot10^{-19} \cdot 1{,}0\cdot10^{-3}) =$ **2,3·10^{-2} m** (2,3 cm).

$T = 2\pi m/(eB) =$ **3,6·10^{-8} s**. Con 2v: el radio pasa a 4,6 cm y el periodo sigue siendo 3,6·10^{-8} s.

RADAR DE ERRORES



Sumar una **fuerza centrípeta nueva** en vez de identificarla con la magnética.

Usar q **con signo** en el radio: r siempre es positivo.

Confundir la velocidad con la aceleración centrípeta.

Olvidar que el periodo no depende de la rapidez.

ENTRENA CON

Ejercicios 18 y 19 del cuaderno práctico.

2.5 · Campos eléctrico y magnético cruzados

El pasillo de las partículas elegidas

Si la fuerza eléctrica y la magnética se oponen y valen lo mismo, la partícula pasa sin desviarse: solo atraviesa la que lleva la rapidez justa.

DEFINICIÓN

Selector de velocidades

Región con un campo eléctrico E y uno magnético B perpendiculares entre sí y a la velocidad. La partícula no se desvía si **qE = qvB**, es decir, si lleva la rapidez **v = E/B**. Esa condición **no depende de la carga ni de la masa**.

$$qE = q\,v\,B \;\Rightarrow\; v = \frac{E}{B} \qquad E = \frac{\Delta V}{d}$$

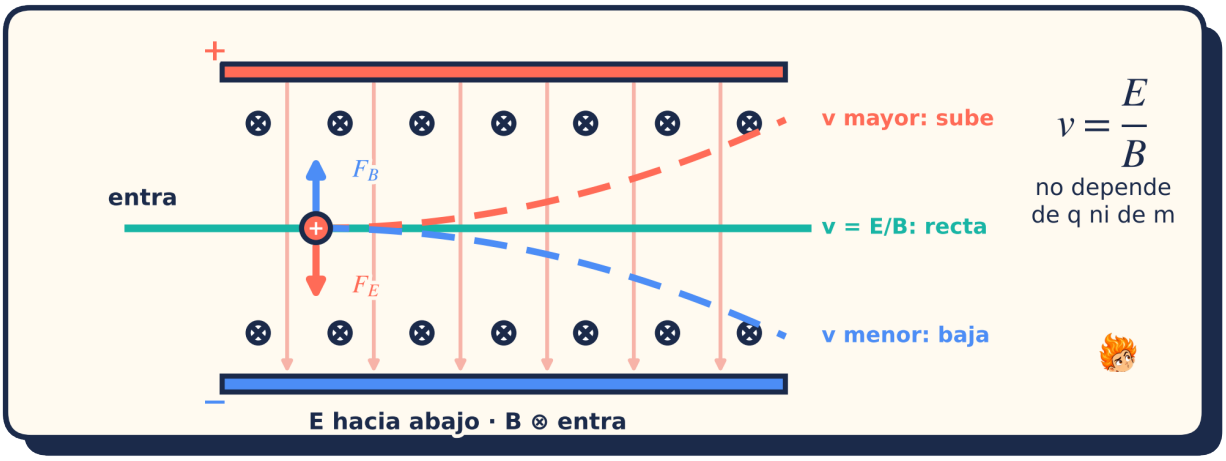


Figura 6 · Con v = E/B la trayectoria es recta; si v es mayor, domina F_B; si es menor, domina F_E.

Cómo se aplica

1. **Dibuja** v, E y B y las dos fuerzas sobre una carga **positiva**: $F_E = qE$ (en el sentido de E) y $F_B = qv \times B$.
2. **Comprueba que se oponen.** Si apuntan igual, no hay selector: habría que invertir un campo.
3. **Iguala módulos**: $qE = qvB \rightarrow v = E/B$. Si E sale de una diferencia de potencial, usa $E = \Delta V/d$.
4. **Para q < 0** se invierten las dos fuerzas a la vez: el equilibrio se conserva.
5. **Interpreta**: con v > E/B la partícula se desvía hacia donde empuja F_B; con v < E/B, hacia donde empuja F_E.

EJEMPLO RESUELTO



Las placas de un selector están a 300 V y separadas 2,0 cm; B = 0,050 T. ¿Qué rapidez atraviesa sin desviarse?

$E = \Delta V/d = 300 / 0{,}020 = 1{,}5 \cdot 10^4$ V/m (= N/C). $v = E/B = 1{,}5 \cdot 10^4 / 0{,}050 =$ **$3{,}0 \cdot 10^5$ m/s**. Un ion con $4{,}0 \cdot 10^5$ m/s se desviaría hacia donde empuja F_B.

RADAR DE ERRORES



Igualar módulos **sin comprobar** que las fuerzas se oponen.

Equivocarse en el producto **v × B** (sentido de F_B).

Pensar que la rapidez seleccionada **depende de q o de m**.

ENTRENA CON

Ejercicio 20 del cuaderno práctico.

2.6 · Fuerza sobre conductores

Corrientes que empujan corrientes

Un cable con corriente es un chorro de cargas en movimiento: dentro de un campo magnético recibe una fuerza lateral.

DEFINICIÓN

Fuerza sobre un conductor

Suma de las fuerzas de Lorentz sobre las cargas que lo recorren. L es un vector con el módulo de la **longitud que está dentro del campo** y el sentido de la corriente convencional.

$$\vec{F} = I\,\vec{L} \times \vec{B} \qquad F = I\,L\,B\,\operatorname{sen}\theta$$

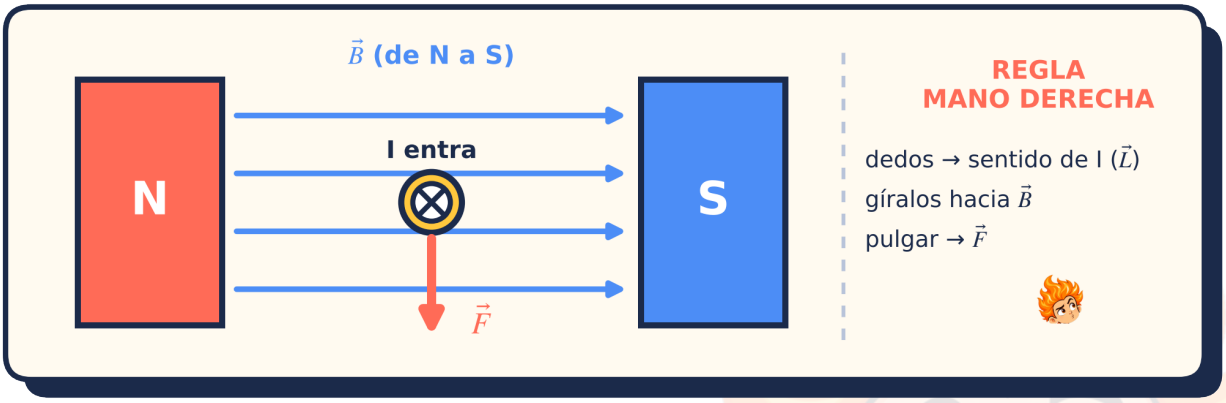


Figura 7 · Con B hacia la derecha e I entrando en el papel, la fuerza apunta hacia abajo. Si I se invierte, F también.

Entre dos hilos paralelos. El campo del hilo 1 actúa sobre la corriente del hilo 2 y viceversa; por la tercera ley, las dos fuerzas son iguales y opuestas. Por unidad de longitud:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0\, I_1\, I_2}{2\pi\, d}$$

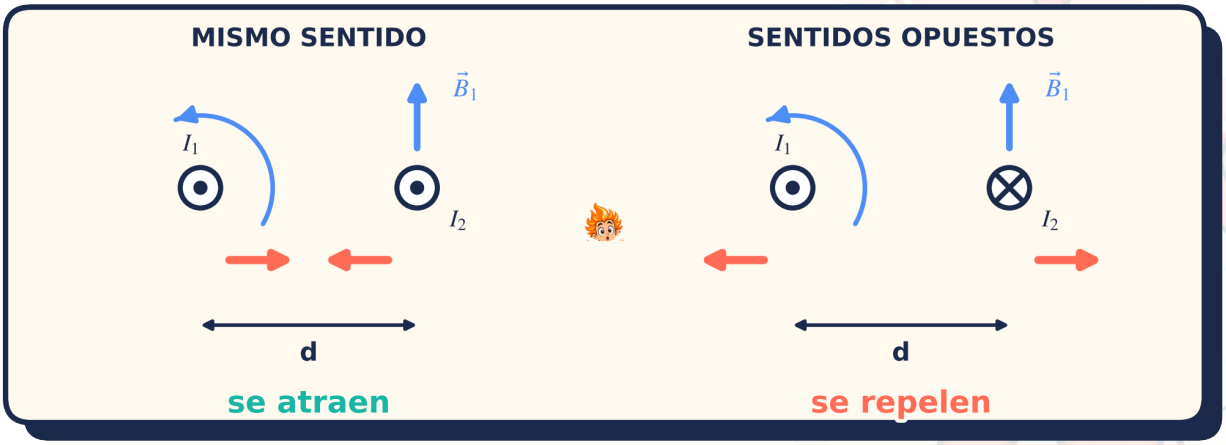


Figura 8 · Corrientes en el mismo sentido: se atraen. En sentidos contrarios: se repelen.

Cómo se aplica

1. **Dibuja L** en el sentido de la corriente convencional y marca el campo B en ese tramo.
2. **Usa solo la longitud activa**, la que está dentro del campo, y el ángulo θ entre L y B.

3. **Calcula** $F = I\,L\,B\,\text{sen}\,\theta$ (o $F/L = \mu_0 I_1 I_2/(2\pi d)$ para dos hilos largos).
4. **Sentido**: mano derecha con L → B; para dos hilos, mismos sentidos atraen y opuestos repelen (compruébalo con el campo de un hilo sobre el otro).
5. **Interpreta**: la fuerza total sobre un tramo es F/L por su longitud.

EJEMPLO RESUELTO



Un tramo de cable de 0,20 m lleva 5,0 A y forma 30° con un campo de 0,30 T. Dos hilos largos paralelos con 10 A y 20 A están a 5,0 cm. Calcula ambas fuerzas.

Cable: $F = ILB\,\text{sen}\,\theta = 5{,}0 \cdot 0{,}20 \cdot 0{,}30 \cdot \text{sen}\,30° =$ **0,15 N**.

Hilos: $F/L = \mu_0 I_1 I_2/(2\pi d) = (4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 20)/(2\pi \cdot 0{,}050) =$ **$8{,}0 \cdot 10^{-4}$ N/m**. En un tramo de 1,5 m: $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ N. Si las corrientes van en el mismo sentido, la fuerza es de atracción.

RADAR DE ERRORES



Usar la **longitud total** del cable en vez de la que está en el campo.

Olvidar **sen θ** cuando el cable no es perpendicular a B.

Confundir la fuerza total con la **fuerza por unidad de longitud** F/L.

Memorizar «se atraen» sin revisar el **sentido de las corrientes**.

ENTRENA CON

Ejercicios 21 y 22 del cuaderno práctico.





3 Inducción

Parte 3 · Flujo, Faraday-Lenz, espiras, barras y generadores

Parte 3 · Inducción electromagnética. Un campo magnético que *cambia* en el tiempo a través de un circuito produce una fem. Aquí verás qué es el flujo, cómo lo regula la ley de Faraday-Lenz y qué ocurre cuando una espira entra en un campo, una barra se mueve o una bobina gira. La clave: **pregunta siempre qué está cambiando**: B, el área o el ángulo.

EN ESTA PARTE

3.1 Flujo magnético · **3.2** Faraday-Lenz · **3.3** Espiras que entran y salen · **3.4** Fem de movimiento · **3.5** Generadores

3.1 · Flujo magnético

La orientación importa

El flujo cuenta cuántas líneas de campo atraviesan la espira: depende de B, del área y de lo inclinada que esté.

DEFINICIÓN

Flujo magnético Φ

Medida de la cantidad de campo magnético que atraviesa una superficie. Se mide en **webers (Wb)**, con 1 Wb = 1 T·m². El ángulo θ es el que forma B con la **normal** (perpendicular) a la espira, **no con su plano**.

$$\Phi_B = B\,A\cos\theta \qquad 1\ \text{Wb} = 1\ \text{T}\,\text{m}^2$$

$$\Phi_{\text{total}} = N\,B\,A\cos\theta$$

Vale para un campo uniforme y una superficie plana. Con N espiras iguales, el flujo total es N veces el de una.

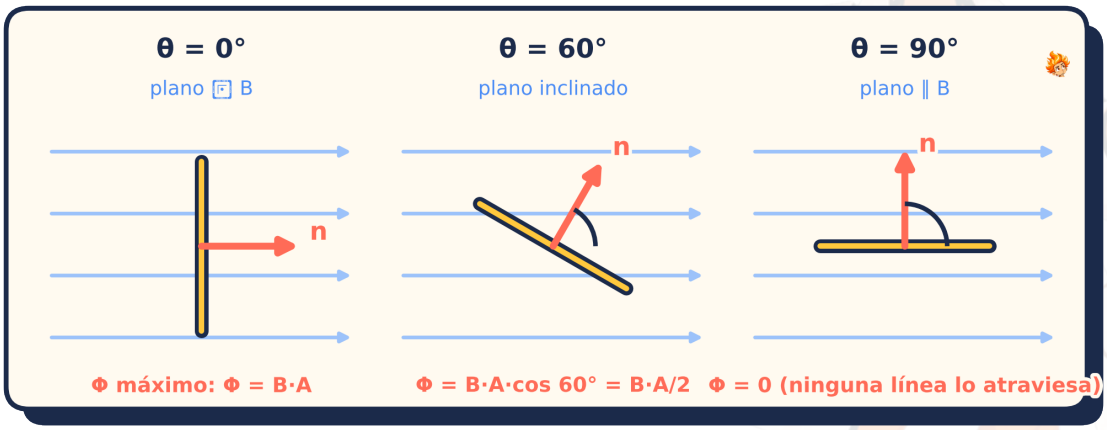


Figura 1 · Máximo con la espira de cara al campo, la mitad con 60° y cero cuando el campo la roza.

Cómo se aplica

1. **Dibuja la espira** y su **normal** n, aunque el enunciado no la muestre.
2. **Mide θ** entre B y n. Si te dan el ángulo con el plano, usa θ = 90° − ese ángulo.
3. **Pasa a SI**: el área en m² ($1\ cm^2 = 10^{-4}\ m^2$).
4. **Calcula** Φ = B·A·cos θ. El signo depende del sentido elegido para n: puede ser negativo.
5. **Interpreta**: Φ máximo si θ = 0°, nulo si θ = 90°, y cambia de signo si la espira se da la vuelta.

EJEMPLO RESUELTO



Una espira rectangular de 8,0 cm × 5,0 cm está en un campo de 0,30 T. El campo forma 40° con la normal. Calcula el flujo. ¿Y si 40° fuese el ángulo con el plano?

Área: $A = 0{,}080 \cdot 0{,}050 = 4{,}0 \cdot 10^{-3}\ m^2$. Con θ = 40°: $\Phi = 0{,}30 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 40° = \mathbf{9{,}2 \cdot 10^{-4}\ Wb}$.

Si 40° fuese con el plano, θ = 50° y $\Phi = 0{,}30 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 50° = 7{,}7 \cdot 10^{-4}$ Wb: el resultado cambia, por eso hay que fijarse en qué ángulo te dan.

RADAR DE ERRORES



Usar directamente el **ángulo con el plano** en el coseno.

No convertir **cm² a m²**.

Confundir **flujo** con campo magnético: el flujo depende también del área y del ángulo.

Olvidar el factor **N** en una bobina.

ENTRENA CON

Ejercicio 23 del cuaderno práctico.

3.2 · Ley de Faraday-Lenz

La espira protesta contra el cambio

Solo se induce fem si el flujo varía. Cuanto más rápido cambia, mayor es la fem; y la corriente inducida se opone a ese cambio.

DEFINICIÓN

Fuerza electromotriz inducida ε

Es proporcional a la rapidez con que cambia el flujo (ley de **Faraday**). El signo menos expresa la ley de **Lenz**: el campo creado por la corriente inducida se **opone a la variación** del flujo, no al campo en sí.

$$\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \qquad I = \frac{|\varepsilon|}{R}$$

ΔΦ y Δt son la variación del flujo y el intervalo de tiempo. Con un flujo **constante** la fem es cero, por grande que sea el campo.

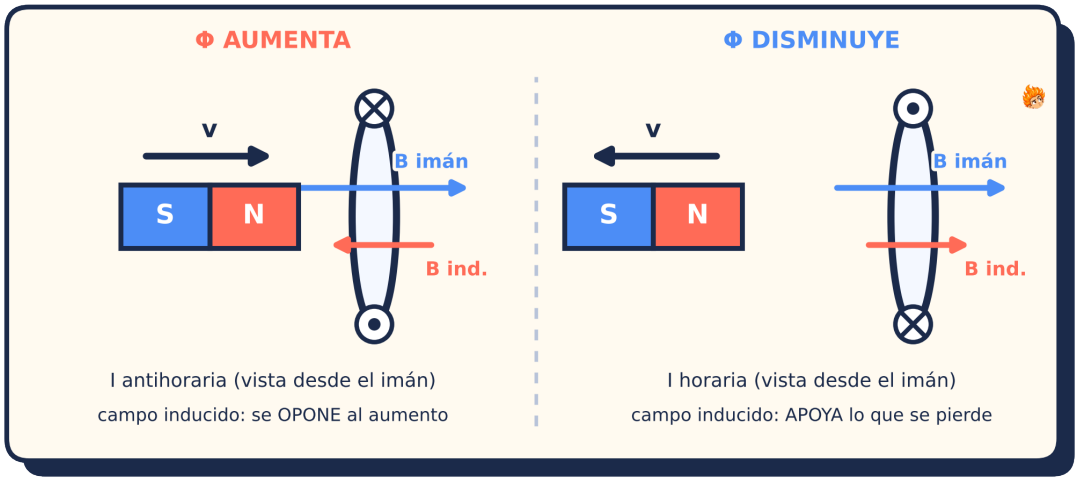


Figura 2 · Acercar el imán aumenta Φ: la espira crea un campo opuesto. Alejarlo lo disminuye: lo apoya.

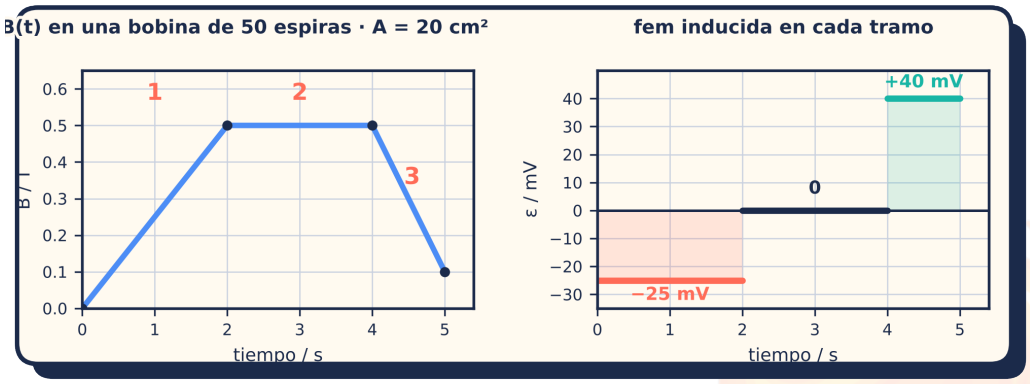


Figura 3 · En una gráfica de B frente a t, la fem sale de la pendiente de cada tramo; tramo plano, fem cero.

Cómo se aplica

1. **Identifica qué cambia**: B, el área o el ángulo. Si Φ es constante, no hay fem.
2. **Calcula ΔΦ** = $\Phi_{final} - \Phi_{inicial}$ en cada intervalo y la fem con $\varepsilon = -N\cdot\Delta\Phi/\Delta t$ (en módulo, $N\cdot|\Delta\Phi|/\Delta t$).
3. **Corriente** con $I = |\varepsilon|/R$, usando la resistencia del circuito.
4. **Sentido con Lenz**: ¿Φ aumenta o disminuye? El campo inducido va **contra** el aumento o **a favor** de lo que se pierde. Luego, mano derecha para hallar el sentido de I.
5. **Gráficas**: un tramo por cada pendiente distinta y el signo según suba o baje.

EJEMPLO RESUELTO

Una bobina de 200 espiras y 25 cm² de sección tiene su eje paralelo a un campo que crece de 0,10 T a 0,50 T en 0,20 s. Su resistencia es 5,0 Ω. Calcula la fem y la corriente.



$A = 25\cdot10^{-4}$ m². $\Delta\Phi = A\cdot\Delta B = 25\cdot10^{-4}\cdot 0{,}40 = 1{,}0\cdot10^{-3}$ Wb por espira.

$|\varepsilon| = N\cdot\Delta\Phi/\Delta t = 200\cdot 1{,}0\cdot10^{-3} / 0{,}20 =$ **1,0 V**. $I = \varepsilon/R = 1{,}0 / 5{,}0 =$ **0,20 A**. Como Φ aumenta, el campo inducido apunta en sentido contrario a B.

RADAR DE ERRORES



Pensar que un campo intenso **sin variar** induce corriente.

Olvidar multiplicar por **N**.

Decidir el sentido de I **antes** de ver si Φ aumenta o disminuye.

Creer que la corriente se opone al campo y no a su **variación**.

ENTRENA CON

Ejercicios 24, 25 y 26 del cuaderno práctico.

3.3 · Espiras que entran y salen

Tres etapas, tres comportamientos

Al entrar o salir de un campo cambia el área atravesada; con la espira entera dentro de un campo uniforme, el flujo no cambia y no hay corriente.

DEFINICIÓN

Fem por etapas

Una espira rectangular que se mueve con velocidad constante a través de una zona con campo pasa por tres etapas: **entrada** (el área enlazada crece), **interior** (constante) y **salida** (decrece). Solo hay fem en la entrada y en la salida, y con signos opuestos.

Si la espira tiene lado ℓ perpendicular a la velocidad v y el campo es B, el área enlazada cambia a razón $\ell \cdot v$ y la fem vale, en módulo, $|\varepsilon| = B \cdot \ell \cdot v$ mientras entra o sale. El tiempo que dura cada etapa es el lado paralelo a v dividido entre v.

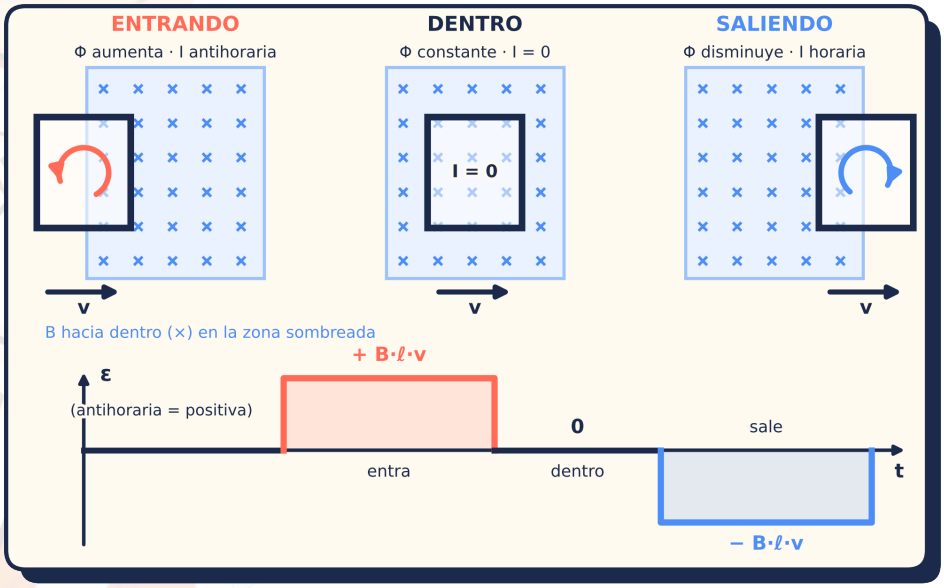


Figura 4 · Tres fotogramas y su gráfica ε–t: pulso positivo al entrar, cero dentro y pulso negativo al salir.

Cómo se aplica

1. **Congela tres fotogramas**: entrando, dentro, saliendo. Pregunta en cada uno si cambia Φ.
2. **Identifica ℓ**: el lado **perpendicular** a la velocidad (el que corta las líneas de campo).
3. **Calcula la fem** con B·ℓ·v, y la corriente con I = ε/R.
4. **Duración** de cada pulso: t = (lado paralelo a v)/v.
5. **Signos con Lenz**: al entrar, Φ aumenta y I se opone; al salir, Φ disminuye y I tiene el sentido contrario.

EJEMPLO RESUELTO



Una espira cuadrada de 10 cm de lado y 0,50 Ω entra con v = 2,0 m/s en una zona con B = 0,40 T perpendicular a ella. Calcula fem, corriente y duración de la entrada.

ε = B·ℓ·v = 0,40 · 0,10 · 2,0 = **0,080 V**; I = 0,080 / 0,50 = **0,16 A**.

Duración: t = 0,10 / 2,0 = **0,050 s**. Comprobación con Faraday: ΔΦ/Δt = 0,40 · $(0,10)^2$ / 0,050 = 0,080 V . Una vez dentro, ε = 0; al salir, el mismo valor con signo opuesto.

RADAR DE ERRORES



Pensar que **todo movimiento** induce corriente.

Usar como ℓ el lado **paralelo** al movimiento.

Dibujar pulsos con el **mismo signo** al entrar y salir.

Dar fem distinta de cero con la espira **completamente dentro** de un campo uniforme.

ENTRENA CON

Ejercicios 27 y 28 del cuaderno práctico.

3.4 · Fem de movimiento

Movimiento que se convierte en electricidad

Una barra que se mueve en un campo es una pila: la fuerza magnética separa cargas, y esa misma fuerza frena la barra.

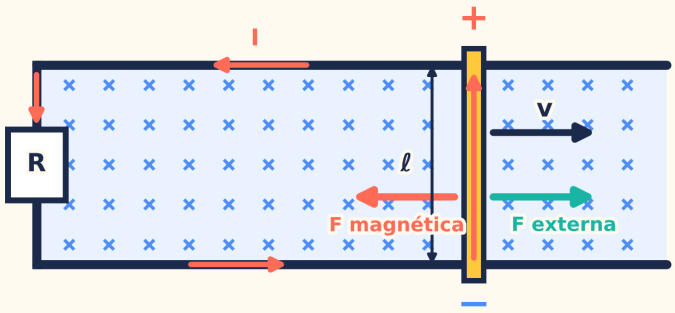
DEFINICIÓN

Fem de movimiento

La que aparece en un conductor de longitud ℓ que se mueve con velocidad v perpendicular a B. Las cargas del conductor sienten la fuerza v × B; se acumulan en los extremos y crean una diferencia de potencial. Es la ley de Faraday vista con un área que crece.

$$|\varepsilon| = B\,\ell\,v$$

Con B, ℓ y v perpendiculares entre sí. Si el circuito se cierra con una resistencia R, circula I = ε/R.



LO QUE PASA

v × B apunta hacia arriba: el extremo de arriba queda a mayor potencial (+). Φ aumenta → I antihoraria. La F magnética frena la barra: hay que empujar. Energía: mecánica → eléctrica → calor.

Figura 5 · La barra empuja cargas positivas hacia arriba; la corriente inducida siente una fuerza que se opone al movimiento.

Energía. Para mantener v constante hay que empujar con una fuerza igual a la magnética. Esa potencia mecánica se convierte en eléctrica y, finalmente, en calor en R:

$$F = B\,I\,\ell = \frac{B^2\ell^2 v}{R} \qquad P_{\text{mec}} = F\,v = I^2R = \frac{\varepsilon^2}{R}$$

Cómo se aplica

1. **Dibuja** barra, raíles, B (entrando o saliendo del papel), v y el circuito cerrado.
2. **Calcula ε** = B·ℓ·v con ℓ la longitud de barra dentro del campo.
3. **Corriente**: I = ε/R. **Fuerza magnética**: F = B·I·ℓ.
4. **Polaridad**: v × B señala hacia el extremo que queda a **mayor potencial** (para cargas positivas).
5. **Energía**: P = F·v = ε·I = I²R. Lo que empujas se disipa en R.

EJEMPLO RESUELTO



Una barra de 0,25 m se mueve a 3,0 m/s sobre raíles con B = 0,20 T perpendicular. El circuito tiene R = 0,50 Ω. Calcula ε, I, la fuerza magnética y la potencia.

ε = 0,20 · 0,25 · 3,0 = **0,15 V**; I = 0,15 / 0,50 = **0,30 A**; F = B·I·ℓ = 0,20 · 0,30 · 0,25 = **0,015 N**, contraria a v.

Potencia mecánica: F·v = 0,015 · 3,0 = **0,045 W**, igual a ε·I = 0,15 · 0,30 = 0,045 W y a $I^2R = 0{,}30^2 \cdot 0{,}50$ = 0,045 W: la energía se conserva.

RADAR DE ERRORES



Confundir **fem** con corriente.

Elegir la polaridad pensando en electrones y **olvidar invertirla**.

Poner la fuerza magnética **a favor** del movimiento.

Olvidar que, sin fuerza externa, la barra **se frena**: la energía cinética se disipa en R.

ENTRENA CON

Ejercicio 29 del cuaderno práctico.

3.5 · Generadores de corriente alterna

Girar para producir una señal alterna

Una espira que gira con ω constante dentro de un campo uniforme ve cambiar el ángulo, y con él el flujo: la fem resultante es sinusoidal.

DEFINICIÓN

Generador de alterna

Bobina de N espiras de área S que gira con velocidad angular ω en un campo B uniforme. El ángulo entre B y la normal es θ = ωt, así que **Φ varía como un coseno y ε como un seno**: cuando el flujo es máximo la fem es cero, y viceversa.

$$\Phi = N B S \cos(\omega t) \qquad \varepsilon = N B S \omega \operatorname{sen}(\omega t)$$

$$\varepsilon_{max} = N B S \omega \qquad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \qquad \varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_{max}}{\sqrt{2}}$$

ω en rad/s (¡no confundir con la frecuencia f en Hz!). El valor eficaz es el que equivale a una corriente continua con la misma potencia.

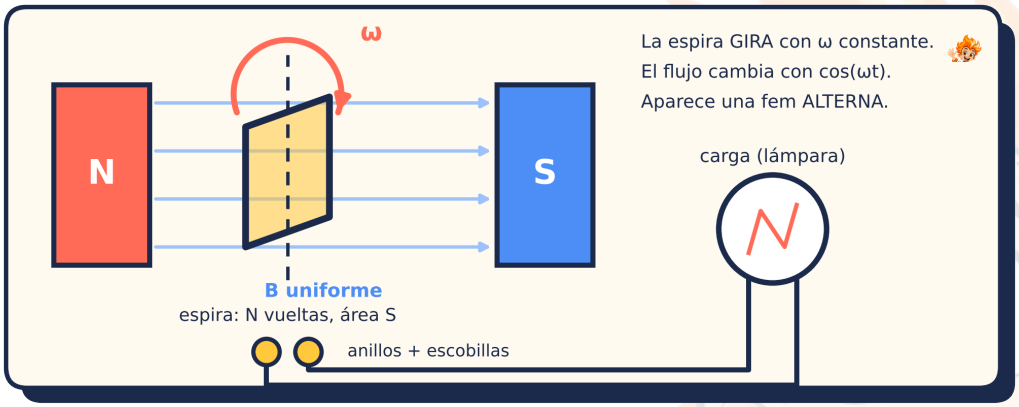


Figura 6 · Las escobillas recogen la corriente de la bobina giratoria a través de anillos.

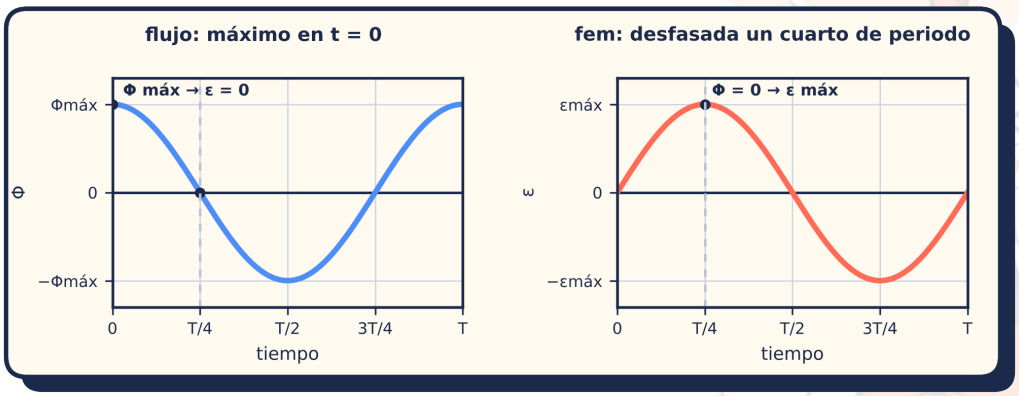


Figura 7 · Flujo y fem están desfasados un cuarto de periodo: la fem es máxima cuando Φ pasa por cero.

Cómo se aplica

1. **Datos**: N, B, S y la frecuencia f (o el periodo T).
2. **Calcula ω** = 2πf (en rad/s). Es el error más frecuente: sustituir f por ω.
3. **Fem máxima**: $\varepsilon_{máx}$ = N·B·S·ω. Valor eficaz: $\varepsilon_{máx}/\sqrt{2}$.
4. **Valor instantáneo**: $\varepsilon(t) = \varepsilon_{máx}\cdot\text{sen}(\omega t)$, con la calculadora en **radianes**.
5. **Comprueba** con la idea física: Φ máximo ε = 0; Φ nulo ε máxima.

EJEMPLO RESUELTO



Una bobina de 50 espiras y 0,020 m² gira a 50 Hz en un campo de 0,40 T. Calcula $\varepsilon_{máx}$, ε_{ef} y ε a los 2,5 ms de ser Φ máximo.

ω = 2π · 50 = 314 rad/s. $\varepsilon_{máx}$ = N·B·S·ω = 50 · 0,40 · 0,020 · 314 = **126 V**.

ε_{ef} = 126/√2 = **89 V**. A t = 2,5 ms: ωt = 314 · 0,0025 = 0,785 rad (π/4), ε = 126 · sen(π/4) = **89 V** (casualmente igual al valor eficaz).

RADAR DE ERRORES



Sustituir **f** donde corresponde ω.

Omitir **N**.

Confundir valor **máximo** con eficaz.

Perder la **fase inicial** que indica el enunciado.

ENTRENA CON

Ejercicio 30 del cuaderno práctico.



Parte 4 · Herramientas para Selectividad

Cómo resolver un problema vectorial

Los campos eléctrico y magnético son vectores, así que no se suman «a ojo»: se descomponen en componentes y se suman eje por eje.

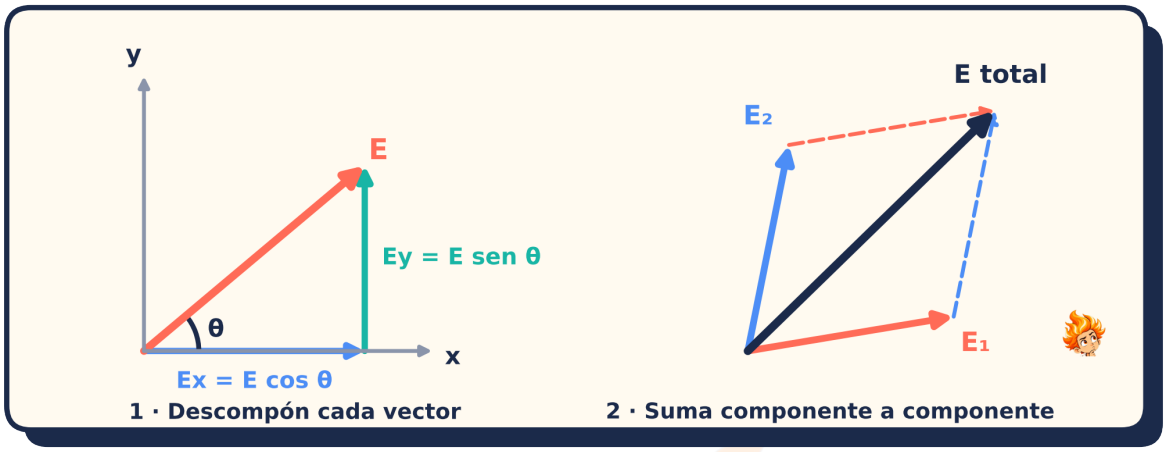


Figura 1 · Descomponer y sumar. Los ángulos se miden respecto al eje elegido.

1. **Dibuja** la situación y elige ejes *x*, *y* (un dibujo grande vale más que una frase).
2. **Dibuja cada vector** en el punto donde se pide el campo: sale de las cargas positivas y entra en las negativas.
3. **Calcula el módulo** de cada contribución con su ley; después, sus **componentes**, con el signo que marque el dibujo.
4. **Suma componente a componente** y calcula el módulo del total y el ángulo.
5. **Interpreta**: ¿tiene el sentido que esperabas según el dibujo?

Signos y regla de la mano derecha

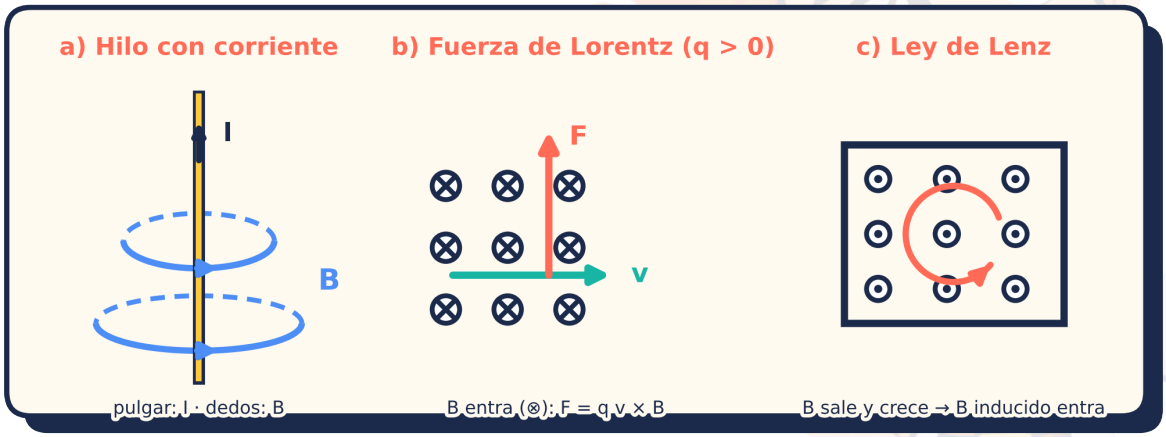


Figura 2 · Tres reglas que se usan constantemente.

DEFINICIÓN

Convenciones

· el vector **sale** del papel · el vector **entra** en el papel. Para una carga negativa, la fuerza magnética tiene sentido **contrario** al que da la regla para la positiva.

ERROR COMÚN

No des una fuerza o un campo solo con su módulo: en un vector hay que dar **dirección y sentido** (o sus componentes).



Cómo se puntúa en Selectividad

En un problema de la PAU se valora el **razonamiento** tanto como el número. Estos cinco hábitos te dan casi todos los puntos de procedimiento:

Dibujo claro	Ley escrita	Unidades correctas	Signo y sentido	Frase final
ejes, cargas, vectores	antes de sustituir	en cada paso y al final	vector: módulo + dirección	interpreta el resultado

CONSEJO

Un resultado correcto sin ley, sin unidades o sin sentido pierde puntos. Un resultado equivocado por una cuenta, con todo lo demás bien planteado, conserva la mayor parte.



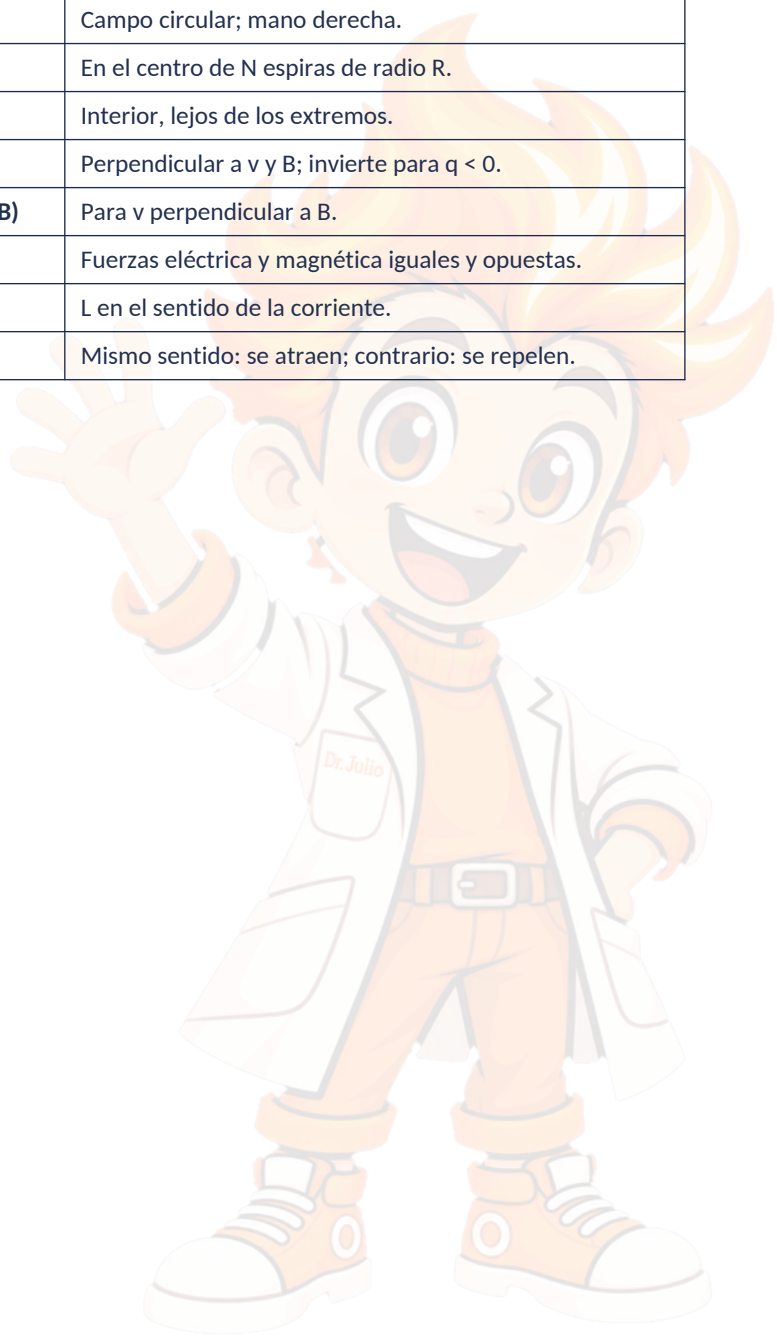
Formulario

Campo eléctrico

Concepto	Expresión	Uso y condiciones
Ley de Coulomb	$F = k\|q_1 q_2\|/r^2$	Cargas puntuales; la recta que las une fija la dirección.
Campo de una carga	$E = k\|q\|/r^2$; $F = qE$	Sale de + y entra en −.
Potencial	$V = \Sigma\, k\, q_i/r_i$	Escalar: se suman con su signo.
Energía y trabajo	$U = qV$; $W_{campo} = q(V_A - V_B) = -\Delta U$	Si solo actúa el campo, $\Delta K = -\Delta U$.
Campo uniforme	$E = \|\Delta V\|/d$; $a = qE/m$	Entre placas paralelas, lejos de los bordes.
Flujo y Gauss	$\Phi = E\, S \cos\theta$; $\Phi = Q_{int}/\varepsilon_0$	θ con la normal; solo la carga encerrada.

Campo magnético

Concepto	Expresión	Uso y condiciones
Hilo rectilíneo	$B = \mu_0 I/(2\pi r)$	Campo circular; mano derecha.
Espira y bobina	$B = \mu_0 N\, I/(2R)$	En el centro de N espiras de radio R.
Solenoide	$B = \mu_0 (N/L)\, I$	Interior, lejos de los extremos.
Fuerza de Lorentz	$F = q\, v\, B \operatorname{sen}\theta$	Perpendicular a v y B; invierte para $q < 0$.
Órbita y periodo	$r = mv/(\|q\|B)$; $T = 2\pi\, m/(\|q\|B)$	Para v perpendicular a B.
Selector	$v = E/B$	Fuerzas eléctrica y magnética iguales y opuestas.
Conductor	$F = I\, L\, B \operatorname{sen}\theta$	L en el sentido de la corriente.
Dos hilos	$F/L = \mu_0 I_1 I_2/(2\pi d)$	Mismo sentido: se atraen; contrario: se repelen.



Inducción

Concepto	Expresión	Uso y condiciones
Flujo magnético	$\Phi = B\,A\cos\theta$	θ entre B y la normal a la superficie.
Faraday-Lenz	$\varepsilon = -N\,\Delta\Phi/\Delta t$	El signo: la corriente se opone al cambio de flujo.
Corriente inducida	$I = \lvert\varepsilon\rvert/R$	Ley de Ohm con la resistencia total.
Espira o barra	$\lvert\varepsilon\rvert = B\,\ell\,v$	ℓ es el lado que corta el campo.
Generador	$\varepsilon = N\,B\,S\,\omega\,\mathrm{sen}(\omega t)$; $\varepsilon_{máx} = N\,B\,S\,\omega$	$\omega = 2\pi f$.

Esquema final

CAMPO ELÉCTRICO	CAMPO MAGNÉTICO	INDUCCIÓN
$F = k\frac{\lvert q_1 q_2\rvert}{r^2}$	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ (hilo)	$\Phi_B = BA\cos\theta$
$E = k\frac{\lvert q\rvert}{r^2}$ $\vec{F} = q\vec{E}$	$B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$ (espira)	$\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$
$V = \sum k\frac{q_i}{r_i}$ $U = qV$	$B = \mu_0\frac{N}{L}I$ (solenoide)	$I = \frac{\lvert\varepsilon\rvert}{R}$
$W_{campo} = q(V_A - V_B) = -\Delta U$	$\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B}$	$\lvert\varepsilon\rvert = B\ell v$ (barra / espira)
$E = \frac{\lvert\Delta V\rvert}{d}$ $\frac{1}{2}mv^2 = \lvert q\Delta V\rvert$	$r = \frac{mv}{\lvert q\rvert B}$ $T = \frac{2\pi m}{\lvert q\rvert B}$	$\varepsilon = NBS\omega\sin(\omega t)$
$\Phi_E = ES\cos\theta$ $\Phi = \frac{Q_{int}}{\varepsilon_0}$	$v = \frac{E}{B}\cdot\vec{F} = I\vec{L}\times\vec{B}\cdot\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$	$\varepsilon_{max} = NBS\omega$ $\omega = 2\pi f$

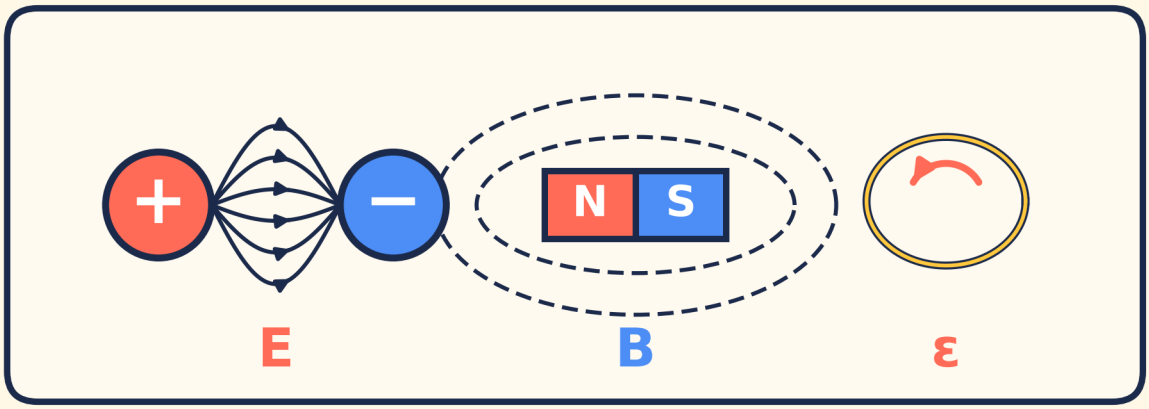
Constantes: $k = 9{,}0\cdot10^{9}\ \mathrm{N\,m^2\,C^{-2}}$ · $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}\ \mathrm{C^2\,N^{-1}\,m^{-2}}$ · $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}\ \mathrm{T\,m\,A^{-1}}$ · $e = 1{,}60\cdot10^{-19}\ \mathrm{C}$



Cuaderno de

Electromagnetismo para Selectividad

Campo eléctrico · campo magnético · inducción



36	6	8
ejercicios esenciales	problemas completos PAU	semanas de entrenamiento

Competencial, con dibujos y orientado al formato PAU

Física de 2.º de Bachillerato





Cómo utilizar este cuaderno

Cada ejercicio es una pequeña misión

Cada ejercicio es una pequeña misión. La historia ayuda a decidir qué modelo físico usar, pero los dibujos no sustituyen el razonamiento. Antes de calcular: **identifica quién crea el campo**, decide si la magnitud es **escalar o vectorial**, fija ejes y aplica la **regla de signos o de la mano derecha**.

Rutina para bordar Selectividad

1. Dibujo y ejes
2. Ley en símbolos
3. Datos al SI
4. Sustituyo con unidades
5. Signo y sentido
6. ¿Tiene sentido?

En cada ejercicio encontrarás dos casillas fijas: **Datos conocidos** (lo que dice el enunciado, ya en el SI) y **Variables solicitadas** (lo que te piden). Rellénalas mentalmente antes de operar; ahí empiezan los puntos del examen.

MODO MISIÓN

Antes de empezar una sección, intenta **responder en voz alta** sus preguntas de control. Durante el ejercicio, consulta la pista solo si te bloqueas. Al terminar, pasa el resultado por el **radar de errores**: es tu detector de fallos antes de entregar.



CONSTANTES DE USO FRECUENTE

$k = 9{,}0\cdot10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ · $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}\ \mathrm{C^2/(N\cdot m^2)}$ · $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}\ \mathrm{T\cdot m/A}$
$e = 1{,}60\cdot10^{-19}\ \mathrm{C}$ · $m_e = 9{,}11\cdot10^{-31}\ \mathrm{kg}$ · $m_p = 1{,}67\cdot10^{-27}\ \mathrm{kg}$

Las cuatro preguntas guía

¿Quién crea el campo?	¿Se suma como vector o escalar?	¿Qué fuerza actúa?	¿Cambia el flujo?
carga · corriente o flujo variable	E, B: vectores V: escalar	qE · qv×B · IL×B	si no cambia, no hay fem

Mapa del cuaderno

Qué hay en cada capítulo y qué ejercicios lo practican



Cap.	Capítulo	Práctica
0	**Formulario de fórmulas** Resumen operativo de campo eléctrico, campo magnético e inducción	—
1.1	**Ley de Coulomb** Interacción entre cargas puntuales	Ej. 1–2
1.2	**Campo eléctrico y superposición** El espacio también guarda instrucciones	Ej. 3–5
1.3	**Puntos de campo nulo** Una cancelación vectorial	Ej. 6–7
1.4	**Potencial, trabajo y energía** Escalares que cuentan una historia energética	Ej. 8–9
1.5	**Campo eléctrico uniforme** Placas que aceleran y desvían	Ej. 10–11
1.6	**Flujo eléctrico y Gauss** Contar líneas sin seguirlas una a una	Ej. 12
2.1	**Campo creado por corrientes** La regla de la mano derecha	Ej. 13–15
2.2	**Superposición y campo magnético nulo** Sumar sentidos antes que números	Ej. 16
2.3	**Fuerza de Lorentz** Una fuerza siempre lateral	Ej. 17
2.4	**Movimiento en un campo magnético** Curvar sin cambiar la rapidez	Ej. 18–19
2.5	**Campos eléctrico y magnético cruzados** El pasillo de las partículas elegidas	Ej. 20
2.6	**Fuerza sobre conductores** Corrientes que empujan corrientes	Ej. 21–22
3.1	**Flujo magnético** La orientación importa	Ej. 23
3.2	**Faraday-Lenz** La espira protesta contra el cambio	Ej. 24–26
3.3	**Espiras que entran y salen** Tres etapas, tres comportamientos	Ej. 27–28
3.4	**Fem de movimiento** Movimiento que se convierte en electricidad	Ej. 29
3.5	**Generadores** Girar para producir una señal alterna	Ej. 30
4	**Problemas completos tipo Selectividad** Seis problemas integradores: dos eléctricos, dos magnéticos y dos de inducción	Prob. 1–6
5	**Solucionario** Modelo, resultado y decisión física esencial de cada ejercicio	—

8 Plan de entrenamiento



Ocho semanas: de los modelos simples a los problemas completos

La ruta propone avanzar de modelos simples a problemas completos. Si una semana queda corta, **prioriza corregir bien antes que acumular ejercicios**.



Semana	Foco de trabajo	Misión recomendada
1	**Coulomb y campo eléctrico**	Ejercicios 1-5. Cierra la semana explicando en voz alta direcciones y signos.
2	**Campo nulo, potencial y energía**	Ejercicios 6-9. Corrige especialmente regiones, trabajo y unidades.
3	**Placas, movimiento y Gauss**	Ejercicios 10-12 y problema guiado 2. Justifica el modelo antes de operar.
4	**Campos creados por corrientes**	Ejercicios 13-17. Mano derecha antes de calculadora.
5	**Lorentz, órbitas y conductores**	Ejercicios 18-22 y problema guiado 3.
6	**Flujo y Faraday-Lenz**	Ejercicios 23-26 y problema guiado 5. Explica cada sentido con una frase de Lenz.
7	**Espiras móviles y generadores**	Ejercicios 27-30. Repasa formulario, advertencias y errores marcados.
8	**Simulacro y reparación de fallos**	Problemas 1, 4 y 6 en 55 min. Corrige después y rehace solo los apartados fallados.

REGLA DEL CUADERNO

Un ejercicio no está terminado cuando aparece un número: termina cuando puedes justificar su **signo**, su **dirección**, sus **unidades** y si el resultado tiene **sentido físico**.





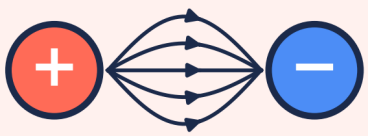
0 Formulario · Campo eléctrico

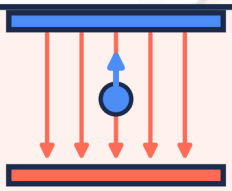
Escribe la ley en símbolos, pasa los datos al SI y fija el sentido antes de sustituir

Concepto	Expresión	Uso y condiciones
Ley de Coulomb	$F = k\dfrac{\lvert q_1 q_2\rvert}{r^2}$	Cargas puntuales. La recta que une las cargas fija la dirección; los signos determinan atracción o repulsión.
Campo de una carga	$E = k\dfrac{\lvert q\rvert}{r^2}$	Sale de una carga positiva y entra en una negativa. La fuerza sobre una carga de prueba es **F** = q**E**.
Superposición	$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$	El campo es vectorial: descompón cada contribución antes de sumar.
Potencial eléctrico	$V = \sum_i \dfrac{k\,q_i}{r_i}$	El potencial es escalar: se suman los valores con su signo.
Energía y trabajo	$U = qV\ ;\ W_{\text{campo}} = q(V_A - V_B) = -\Delta U$	Si solo actúa el campo eléctrico, ΔK = −ΔU.
Campo uniforme	$E = \dfrac{\lvert\Delta V\rvert}{d}\ ;\ \vec{F} = q\vec{E}\ ;\ \vec{a} = \dfrac{q\vec{E}}{m}$	Entre placas paralelas, lejos de los bordes. Para q < 0, fuerza y campo tienen sentidos opuestos.
Aceleración por voltaje	$\dfrac{1}{2}mv^2 = \lvert q\,\Delta V\rvert$	Partícula que parte del reposo y transforma energía potencial en cinética.
Flujo y ley de Gauss	$\Phi_E = ES\cos\theta\ ;\ \oint \vec{E}\cdot d\vec{S} = \dfrac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0}$	θ se mide con la normal. En una superficie cerrada solo cuenta la carga encerrada.

CONSTANTES

$k = 9{,}0\cdot10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}\ \text{C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2) \cdot e = 1{,}60\cdot10^{-19}\ \text{C}$





E uniforme



Gauss



0 Formulario · Campo magnético

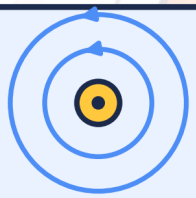


Productos vectoriales: resuelve primero el sentido para q positiva o corriente convencional

Concepto	Expresión	Uso y condiciones
Hilo rectilíneo	$B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$	Campo circular alrededor del hilo; sentido mediante la mano derecha.
Espira y bobina	$B = \dfrac{\mu_0 N I}{2R}$	Campo en el centro de N espiras circulares de radio R.
Solenoide largo	$B = \mu_0 n I \ ; \ n = \dfrac{N}{L}$	Aproximación válida en el interior y lejos de los extremos.
Fuerza de Lorentz	$\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B} \ ; \ F = \lvert q \rvert v B \operatorname{sen}\theta$	Es perpendicular a **v** y **B**. Invierte el sentido obtenido si q < 0.
Órbita circular	$r = \dfrac{mv}{\lvert q \rvert B}$	Solo para **v** perpendicular a **B**. El campo cambia la dirección, no la rapidez.
Periodo ciclotrón	$T = \dfrac{2\pi m}{\lvert q \rvert B}$	No depende de la rapidez en el régimen no relativista.
Selector de velocidades	$v = \dfrac{E}{B}$	Los campos cruzados deben producir fuerzas iguales y opuestas.
Conductor con corriente	$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} \ ; \ F = ILB \operatorname{sen}\theta$	**L** apunta en el sentido de la corriente convencional.
Dos hilos paralelos	$\dfrac{F}{L} = \dfrac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$	Mismo sentido: atracción. Sentidos contrarios: repulsión.

CONSTANTES

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T·m/A · $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg · $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg · $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C



hilo: B circular



órbita: r = mv/(|q|B)



dos hilos



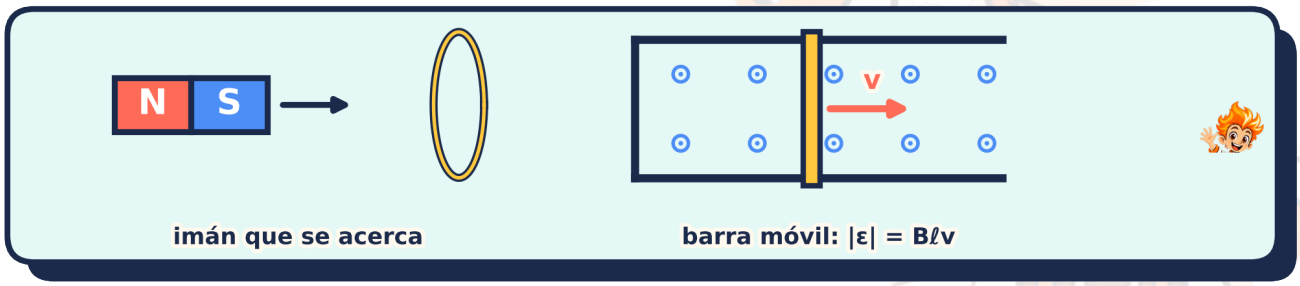
0 Formulario · Inducción

Faraday calcula el módulo; Lenz decide el sentido

Concepto	Expresión	Uso y condiciones
Flujo magnético	$\Phi_B = BA\cos\theta$	θ se mide entre **B** y la normal a la superficie, no con el plano.
Faraday-Lenz	$\varepsilon = -N\dfrac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$	El signo expresa que la corriente inducida se opone a la variación del flujo.
Corriente inducida	$I = \dfrac{\lvert\varepsilon\rvert}{R}$	Aplica la ley de Ohm a la resistencia total del circuito.
Espira en una frontera	$\lvert\varepsilon\rvert = B\ell v$	ℓ es el lado que corta la frontera. Dentro de un campo uniforme: ε = 0 si el flujo no cambia.
Barra móvil	$\lvert\varepsilon\rvert = B\ell v$	Barra, velocidad y campo mutuamente perpendiculares.
Barra con circuito	$F = BI\ell \;;\; P_{\text{mec}} = Fv = I^2R$	A velocidad constante y sin pérdidas, la energía mecánica termina como energía eléctrica.
Generador	$\Phi = NBS\cos(\omega t) \;;\; \varepsilon = NBS\omega\,\text{sen}(\omega t)$ $\varepsilon_{\max} = NBS\omega \;;\; \omega = 2\pi f$	La amplitud de la fem es NBSω, con ω = 2πf.

Convenciones rápidas

⊙ vector que sale del papel ⊗ vector que entra en el papel θ: ángulo entre el campo y la normal





1 Guía de entrenamiento

Campo eléctrico · 1.1 y 1.2

1.1 Ley de Coulomb *Interacción entre cargas puntuales*

$$F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

El módulo es positivo; el signo de las cargas decide si la fuerza atrae o repele.

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿La interacción es atractiva o repulsiva? ¿Sobre qué recta actúa cada fuerza? ¿Cómo cambia F si varían las cargas o la distancia?

KIT DE CONCEPTOS

Carga puntual · Ley de Coulomb · Acción y reacción · Dependencia $1/r^2$.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Usar una distancia que no está en metros. Perder los prefijos μ y n. Dar una fuerza positiva o negativa sin indicar dirección y sentido.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Calcula primero el módulo. Después dibuja sobre cada carga una flecha: así el signo deja de ser una trampa.

Misiones: El apretón eléctrico · Tres cargas en el pasillo

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar

1.2 Campo eléctrico y superposición *El espacio también guarda instrucciones*

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad E = k\frac{|q|}{r^2}$$

Dibuja cada contribución antes de sumar componentes.

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Qué carga crea cada campo? ¿Hacia dónde apunta cada contribución? ¿Conviene sumar por simetría o mediante componentes?

KIT DE CONCEPTOS

$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0$ · Campo de una carga · Superposición vectorial · Componentes cartesianas.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Sumar módulos cuando los vectores no son paralelos. Arrastrar el signo de q dentro del módulo. Usar una distancia horizontal en lugar de la distancia real.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Dibuja $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$... antes de tocar la calculadora. Si el dibujo no está claro, la suma tampoco lo estará.

Misiones: El vértice vigilado · Coordenadas con carácter · El centro perfectamente silencioso

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar



1 Guía de entrenamiento

Campo eléctrico · 1.3 y 1.4

1.3 Puntos de campo nulo *Una cancelación vectorial*

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{0}$$

*Para que **E** = 0 deben coincidir módulo y dirección, con sentidos opuestos. Decide primero en qué región puede ocurrir.*

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿En qué regiones pueden ser opuestos los campos? ¿Existe una, varias o ninguna solución? ¿El punto puede coincidir con una carga?

KIT DE CONCEPTOS

Cancelación vectorial · Análisis por regiones · Igualdad de módulos · Coherencia espacial.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Igualar módulos antes de decidir la región. Aceptar raíces que pertenecen a otro intervalo. Confundir E = 0 con V = 0.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Haz una prueba de sentidos a izquierda, entre las cargas y a derecha. Solo después plantea la ecuación.

Misiones: El refugio entre dos cargas · El punto que se esconde fuera

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar

1.4 Potencial, trabajo y energía *Escalares que cuentan una historia energética*

$$V = \sum_i \frac{k\,q_i}{r_i} \qquad U = qV \qquad W_{\text{campo}} = q(V_A - V_B) = -\Delta U$$

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Se pide V, U o trabajo? ¿Qué magnitud es escalar? ¿Quién realiza el trabajo y qué signo debe tener?

KIT DE CONCEPTOS

Potencial · Energía potencial · Equipotencial · W_{campo} = −ΔU · Referencia V(∞) = 0.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Sumar potenciales como vectores. Intercambiar W_{campo} y $W_{externo}$. Olvidar el signo de la carga de prueba en U = qV.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Escribe primero V_A y V_B. La frase final debe explicar quién gana o pierde energía.

Misiones: Dos ceros para un potencial · El peaje energético

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar



1 Guía de entrenamiento

Campo eléctrico · 1.5 y 1.6

1.5 Campo eléctrico uniforme

Placas que aceleran y desvían

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} \quad \vec{F} = q\vec{E} \quad \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

El movimiento perpendicular combina MRU y MRUA.

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Qué placa está a mayor potencial? ¿Hacia dónde acelera una carga negativa? ¿Qué eje es MRU y cuál MRUA?

KIT DE CONCEPTOS

Campo uniforme · E = |ΔV|/d · **F** = q**E** · Movimiento bidimensional · Conservación de la energía.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

No convertir cm o kV. Hacer que el electrón acelere en el sentido de **E**. Usar el tiempo de un eje distinto en cada componente.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Separa el viaje en dos películas simultáneas: horizontal sin aceleración y vertical con aceleración constante.

Misiones: **Dos viajeros entre placas** **El haz que no llega al centro**

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar

1.6 Flujo eléctrico y Gauss

Contar líneas sin seguirlas una a una

$$\Phi_E = ES\cos\theta \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0}$$

Solo importa la carga encerrada.

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿La superficie es cerrada? ¿Qué carga neta queda dentro? ¿Hay simetría suficiente para obtener E además del flujo?

KIT DE CONCEPTOS

Flujo eléctrico · Normal a la superficie · Carga encerrada · Ley de Gauss · Simetría.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Incluir cargas exteriores en Q_{int}. Aplicar Φ = ES a cualquier superficie. Confundir flujo nulo con campo nulo.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Rodea en el dibujo las cargas encerradas. Las de fuera pueden deformar el campo, pero no cambian el flujo neto.

Misiones: **La esfera indiscreta**

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar



1-12 Campo eléctrico

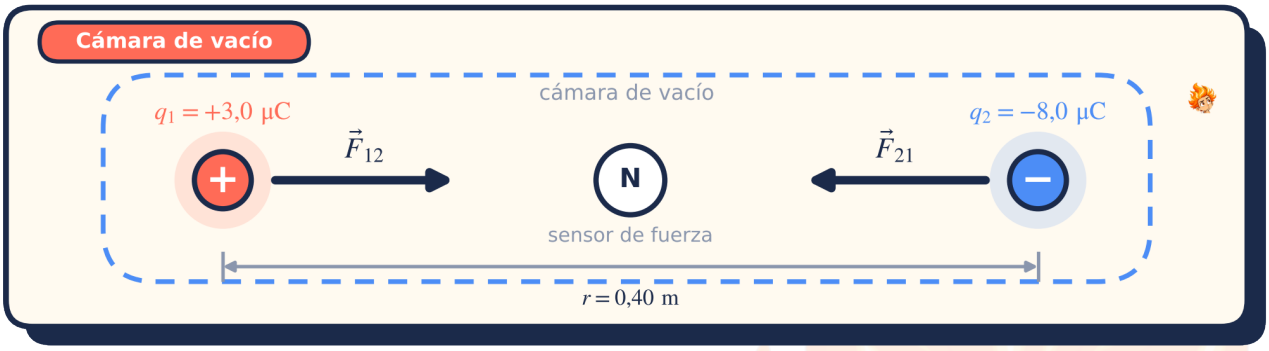
Ejercicios 1–12 · Coulomb · campo · potencial · placas · Gauss

1 El apretón eléctrico

INICIAL **Ley de Coulomb**

Dos microesferas se atraen en una cámara de vacío. El sensor debe comprobar si la fuerza medida es razonable.

Dos cargas q_1 = +3,0 µC y q_2 = −8,0 µC están separadas 0,40 m. Calcula la fuerza que actúa sobre cada una y representa sus sentidos. ¿Cambiaría el módulo al intercambiar sus posiciones?



Datos conocidos	q_1 = +3,0 µC; q_2 = −8,0 µC; r = 0,40 m; k = 9,0·10^9 N·m^2·C^{-2}.
Variables solicitadas	F_{12}, F_{21}, carácter atractivo/repulsivo.

ESPACIO DE TRABAJO

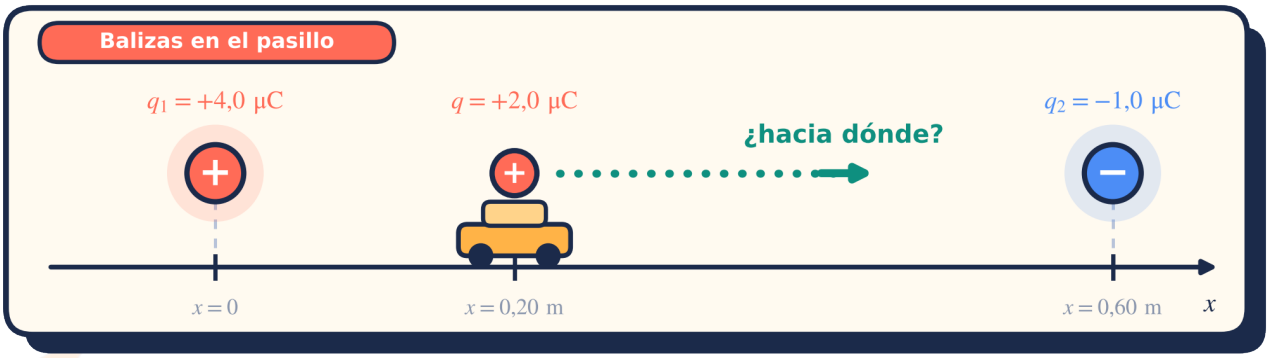
- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

2 Tres cargas en el pasillo

COMPETENCIAL **Ley de Coulomb**

Un microvehículo cargado circula entre dos balizas. Las dos parecen tirar hacia el mismo lado, aunque sus signos sean distintos.

En $x = 0$ hay $q_1 = +4{,}0\ \mu C$; en $x = 0{,}60$ m, $q_2 = -1{,}0\ \mu C$. Una carga $q = +2{,}0\ \mu C$ está en $x = 0{,}20$ m. Calcula la fuerza total sobre q y decide hacia qué baliza acelera.



Datos conocidos	$q_1 = +4{,}0\ \mu C$; $q_2 = -1{,}0\ \mu C$; $q = +2{,}0\ \mu C$; posiciones sobre x; k.
Variables solicitadas	$\mathbf{F}_1$, $\mathbf{F}_2$ y $\mathbf{F}_{total}$ (vectores).

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

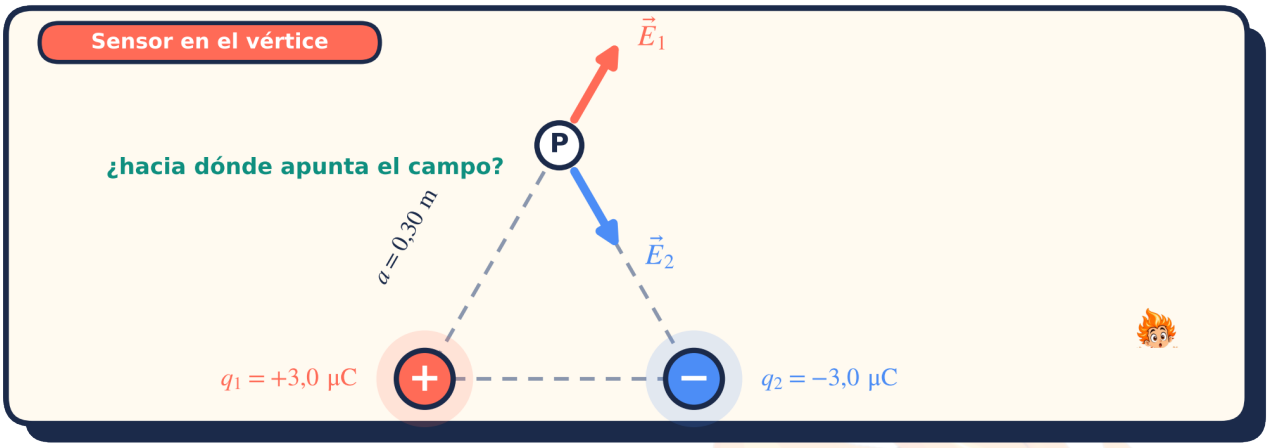
3 El vértice vigilado

PAU

Campo eléctrico y superposición

Dos cargas custodian la base de un triángulo equilátero. Un sensor en el vértice superior debe indicar hacia dónde apunta el campo.

En los extremos de la base de un triángulo equilátero de lado 0,30 m se colocan +3,0 µC y −3,0 µC. Calcula el campo eléctrico en el tercer vértice.



Datos conocidos	a = 0,30 m; q_1 = +3,0 µC; q_2 = −3,0 µC; k.
Variables solicitadas	E_1, E_2, E_{total} (vectores).

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

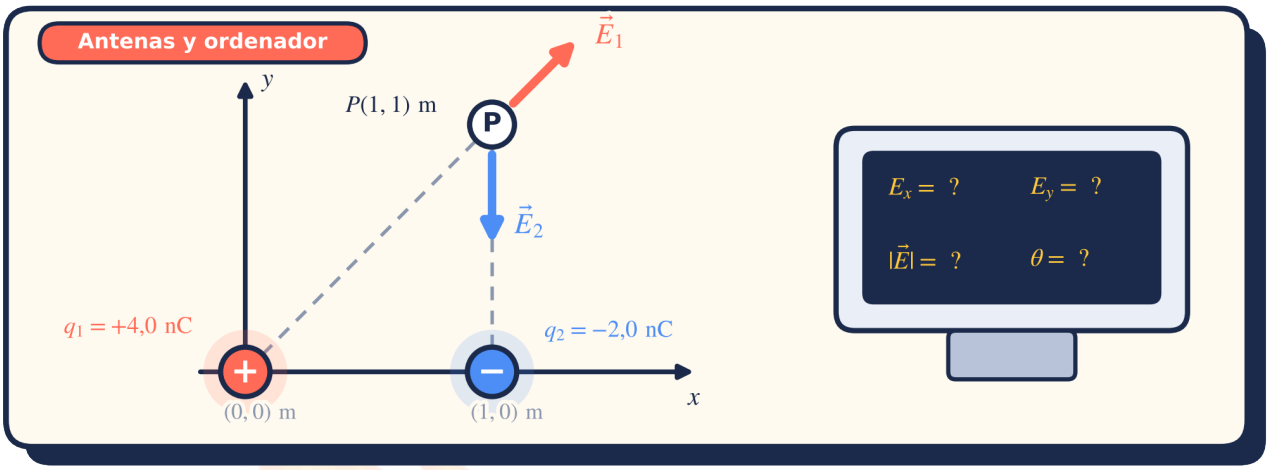
4 Coordenadas con carácter

PAU

Campo eléctrico y superposición

Dos balizas generan un campo oblicuo. El ordenador solo acepta componentes cartesianas.

q_1 = +4,0 nC está en (0, 0) m y q_2 = −2,0 nC en (1, 0) m. Calcula el campo total en P(1, 1) m y el ángulo que forma con +x.



Datos conocidos	q_1 = +4,0 nC; q_2 = −2,0 nC; P(1, 1) m; k.
Variables solicitadas	E_x, E_y, $\|\mathbf{E}\|$ y ángulo.

ESPACIO DE TRABAJO

- ☐ 1. Dibujo y ejes
- ☐ 2. Ley en símbolos
- ☐ 3. Datos al SI
- ☐ 4. Sustituir y unidades
- ☐ 5. Signo y sentido
- ☐ 6. ¿Tiene sentido?

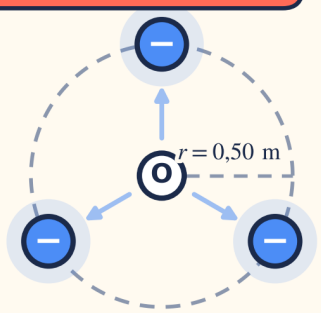
5 El centro perfectamente silencioso

COMPETENCIAL **Campo eléctrico y superposición**

Tres cargas idénticas rodean un sensor. El silencio del sensor no significa que no existan campos.

Tres cargas de −2,0 nC ocupan puntos de una circunferencia de radio 0,50 m separados 120°. Calcula el campo y el potencial en el centro.

Tres cargas alrededor del sensor



$3 \times (-2{,}0\ \text{nC})$

¿silencio = sin campo?

$\vec{E}(O) = \ ?$

$V(O) = \ ?$

Datos conocidos	Tres cargas de −2,0 nC; r = 0,50 m; simetría de 120°; k.
Variables solicitadas	**E**(O) y V(O).

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

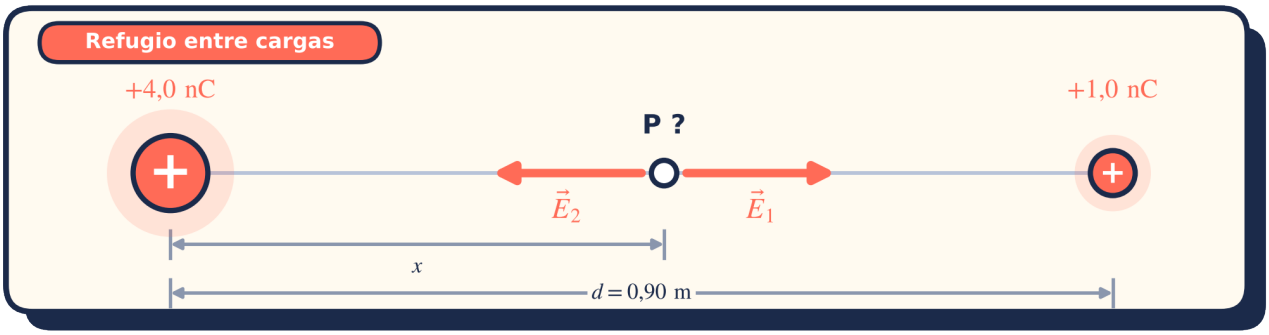
6 El refugio entre dos cargas

PAU

Puntos de campo nulo

Un sensor debe colocarse entre dos cargas positivas donde ninguna domine.

Dos cargas +4,0 nC y +1,0 nC están separadas 0,90 m. Localiza entre ellas el punto donde el campo se anula.



Datos conocidos	q_1 = +4,0 nC; q_2 = +1,0 nC; d = 0,90 m.
Variables solicitadas	x medido desde q_1.

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

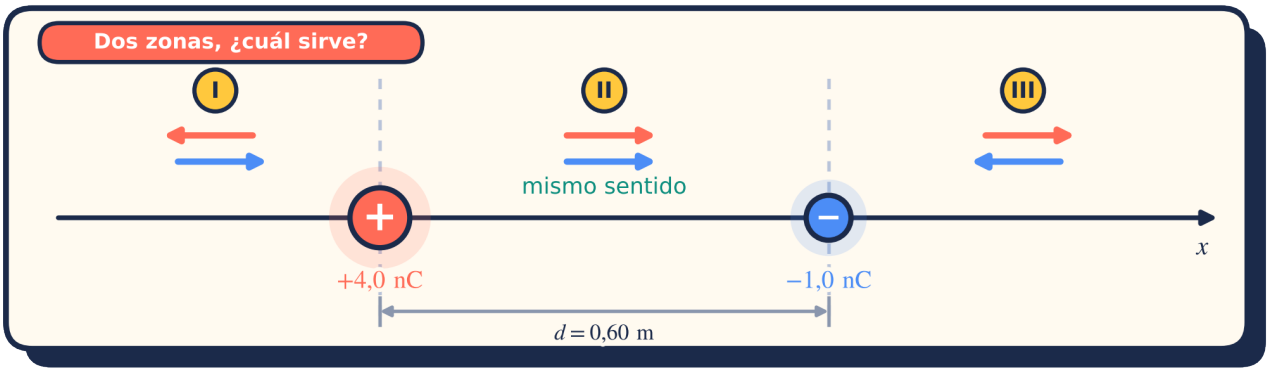
7 El punto que se esconde fuera

PAU

Puntos de campo nulo

Con cargas de signos opuestos, la cancelación no está entre ellas. Hay que encontrar la región correcta antes de calcular.

En $x = 0$ está +4,0 nC y en $x = 0{,}60$ m está −1,0 nC. Localiza todos los puntos del eje x donde $\mathbf{E} = 0$.



Datos conocidos	$q_1 = +4{,}0$ nC; $q_2 = -1{,}0$ nC; $d = 0{,}60$ m.
Variables solicitadas	Región posible y coordenada x.

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

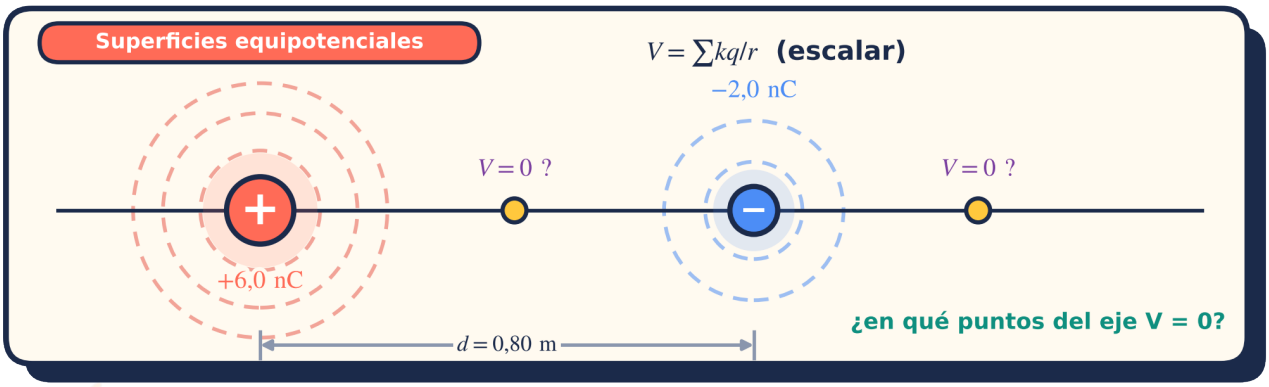
8 Dos ceros para un potencial

PAU

Potencial, trabajo y energía

El potencial puede anularse en más de un punto del eje. Encuentra ambos sin confundir una suma escalar con una cancelación de campos.

En $x = 0$ está +6,0 nC y en $x = 0{,}80$ m está −2,0 nC. Localiza todos los puntos del eje x donde $V = 0$.



Datos conocidos	q_1 = +6,0 nC; q_2 = −2,0 nC; d = 0,80 m; $V(\infty) = 0$.
Variables solicitadas	Coordenadas donde $V = 0$.

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

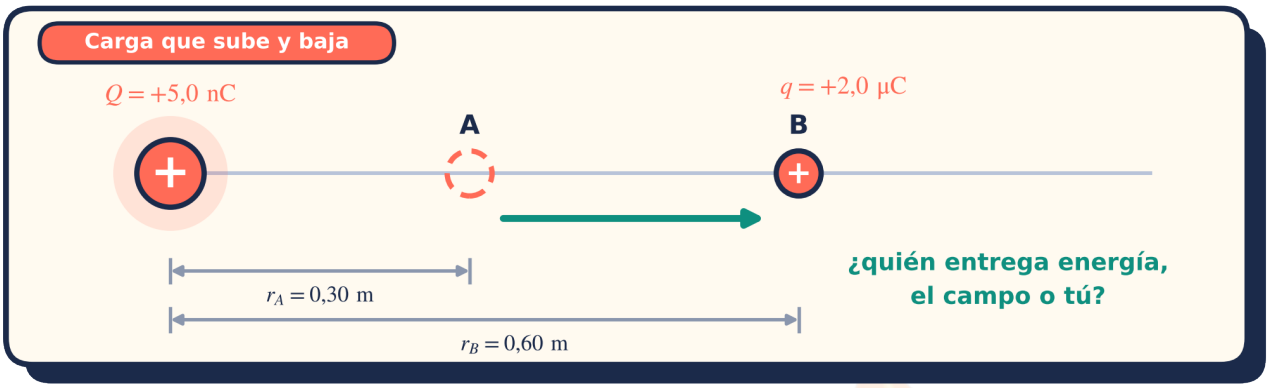
9 El peaje energético

PAU

Potencial, trabajo y energía

Una carga de prueba se aleja de una baliza positiva. Calcula quién entrega energía: el campo o el agente externo.

Una carga +2,0 µC se mueve desde 0,30 m hasta 0,60 m de una carga fija +5,0 nC. Calcula el trabajo del campo y el cambio de energía potencial.



Datos conocidos	Q = +5,0 nC; q = +2,0 µC; r_A = 0,30 m; r_B = 0,60 m; k.
Variables solicitadas	W_{campo} y ΔU.

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

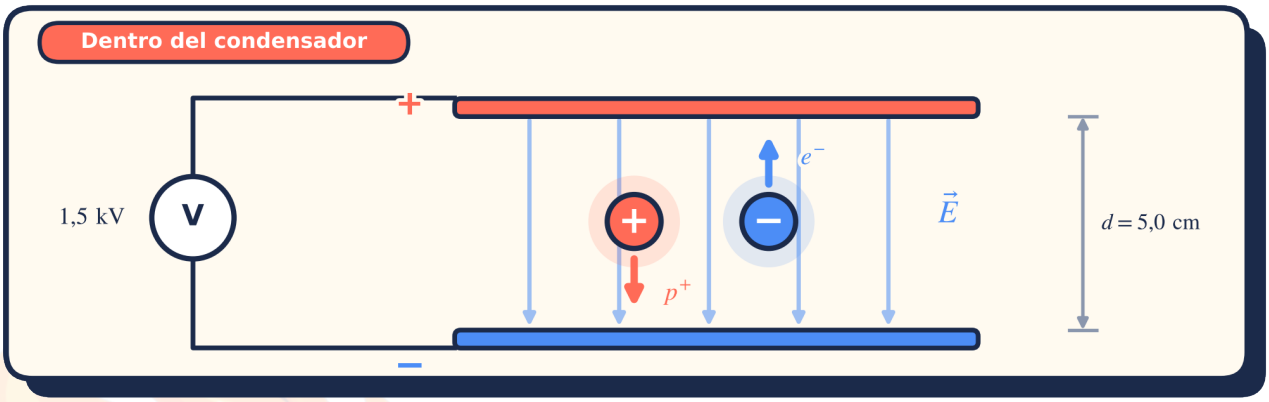
10 Dos viajeros entre placas

PAU

Campo eléctrico uniforme

Un protón y un electrón parten del centro de un condensador. El campo ejerce sobre ambos la misma fuerza en módulo, pero no les concede la misma aceleración.

Dos placas separadas 5,0 cm mantienen una diferencia de potencial de 1,5 kV. Calcula el campo entre ellas y, para un protón y un electrón inicialmente en reposo, el módulo de la fuerza y de la aceleración. Indica hacia qué placa acelera cada partícula.



Datos conocidos	d = 5,0 cm; $\lvert\Delta V\rvert$ = 1,5 kV; e; m_p; m_e.
Variables solicitadas	E, $\lvert F\rvert$, a_p, a_e y sentidos.

ESPACIO DE TRABAJO

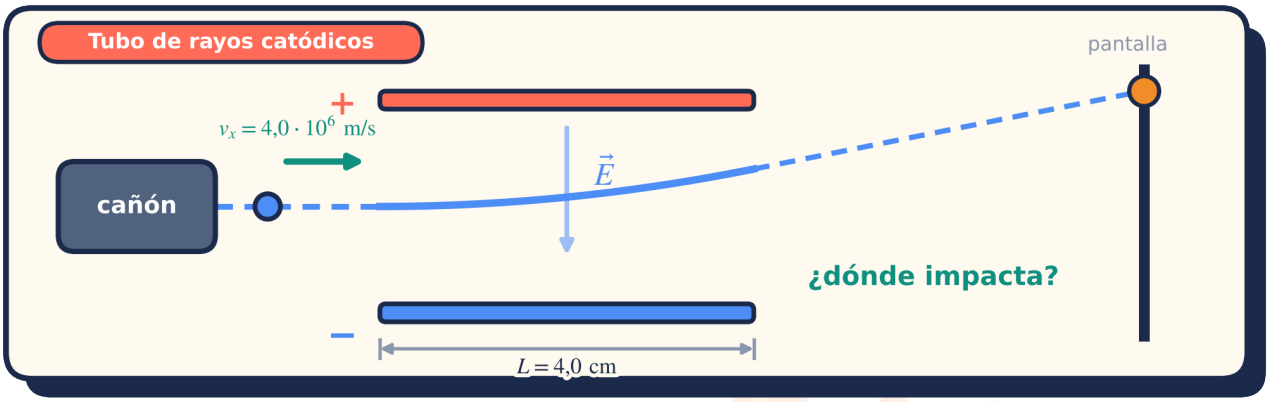
- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

11 El haz que no llega al centro

COMPETENCIAL **Campo eléctrico uniforme**

Un electrón entra horizontalmente en un condensador y dibuja una parábola diminuta. El detector debe saber dónde impactará.

Un electrón entra con $v_x = 4{,}0\cdot10^6$ m/s en una región de longitud 4,0 cm con $E = 1{,}0\cdot10^3$ N/C vertical hacia abajo. Calcula tiempo, desviación y velocidad vertical de salida.



Datos conocidos	$v_x = 4{,}0\cdot10^6$ m/s; $L = 4{,}0$ cm; $E = 1{,}0\cdot10^3$ N/C; e; m_e.
Variables solicitadas	t, y y v_y.

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?

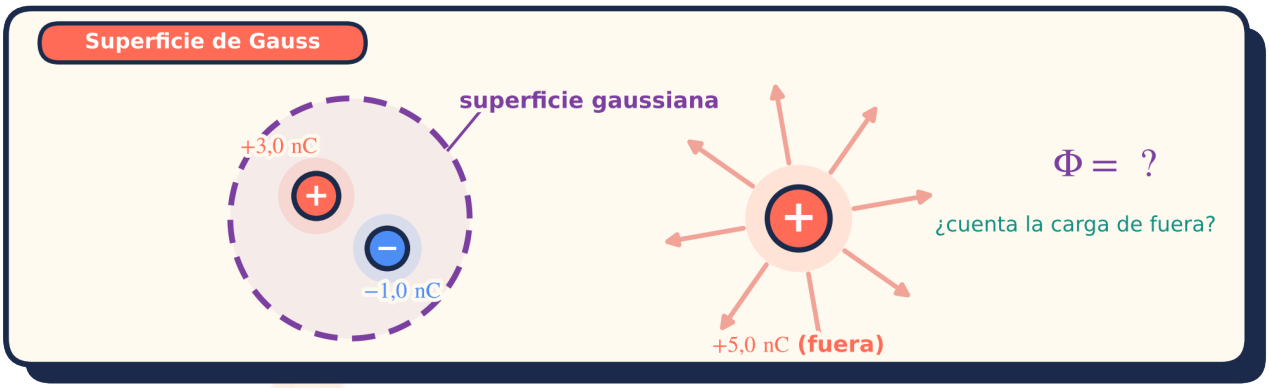
12 La esfera indiscreta

PAU

Flujo eléctrico y Gauss

Una superficie gaussiana revela la carga neta que encierra, pero ignora una carga exterior por muy cercana que esté.

Una esfera imaginaria encierra +3,0 nC y −1,0 nC. Fuera hay +5,0 nC. Calcula el flujo eléctrico total a través de la esfera.



Datos conocidos	Q_{int} = +3,0 nC − 1,0 nC; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}\ C^2\cdot N^{-1}\cdot m^{-2}$.
Variables solicitadas	Φ_E.

ESPACIO DE TRABAJO

- [ ] 1. Dibujo y ejes
- [ ] 2. Ley en símbolos
- [ ] 3. Datos al SI
- [ ] 4. Sustituir y unidades
- [ ] 5. Signo y sentido
- [ ] 6. ¿Tiene sentido?



2 Campo magnético

Corrientes · fuerza de Lorentz · selector · conductores

Guía de entrenamiento · Campo magnético

2.1 · Campo creado por corrientes

La regla de la mano derecha

$$B_{\text{hilo}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad B_{\text{espira}} = \frac{\mu_0 N I}{2R} \qquad B_{\text{solenoide}} = \mu_0\, n\, I$$

Qué debes entrenar

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Qué conductor crea el campo? ¿Cuál es la distancia perpendicular correcta? ¿Qué regla de la mano derecha corresponde?

KIT DE CONCEPTOS

Hilo rectilíneo · Espira · Solenoide · μ_0 · Sentido circular del campo.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Usar el diámetro como radio. Confundir N con n = N/L. Medir desde el extremo del hilo en vez de perpendicularmente.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

El pulgar sigue la corriente; los dedos abrazan el conductor y señalan **B**.

Misiones: La circunferencia invisible · La bobina de calibración · Diseñar un solenoide

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar

2.2 · Superposición y campo magnético nulo

Sumar sentidos antes que números

Cada conductor crea un campo circular. En un punto, traduce primero cada contribución a un vector.

Qué debes entrenar

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Qué sentido tiene cada **B** en el punto? ¿En qué zona pueden cancelarse? ¿Se busca B = 0 o un valor objetivo?

KIT DE CONCEPTOS

Superposición magnética · Campos circulares · Punto nulo · Componentes y signos.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Sumar solo módulos. Usar el mismo sentido de **B** a ambos lados de un hilo. Mantener centímetros en la fórmula.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Convierte cada contribución en + o − sobre un eje común antes de sustituir números.

Misiones: El punto sin brújula

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar

Guía de entrenamiento · Campo magnético

2.3 · Fuerza de Lorentz

Una fuerza siempre lateral

$$\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B} \qquad F = |q|\,v\,B\,\operatorname{sen}\theta$$

Invierte el sentido para cargas negativas.

Qué debes entrenar

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Qué parte de **v** es perpendicular a **B**? ¿Cuál sería la fuerza sobre una carga positiva? ¿Qué cambia si q < 0?

KIT DE CONCEPTOS

Producto vectorial · Fuerza de Lorentz · Regla de la mano derecha · **F** perpendicular a **v**.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Usar cos θ en vez de sen θ. Introducir el signo de q en el módulo. Afirmar que el campo magnético cambia la rapidez.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Resuelve el producto vectorial como si q fuera positiva y solo al final invierte el sentido si la carga es negativa.

Misiones: Detective de signos

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar

2.4 · Movimiento en un campo magnético

Curvar sin cambiar la rapidez

$$r = \frac{m\,v}{|q|\,B} \qquad T = \frac{2\pi\,m}{|q|\,B}$$

*Si **v** es perpendicular a **B**. La fuerza magnética no realiza trabajo.*

Qué debes entrenar

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Se cumple que **v** es perpendicular a **B**? ¿De qué variables depende el radio? ¿Por qué el periodo no depende de la rapidez?

KIT DE CONCEPTOS

Fuerza centrípeta · r = mv/(|q|B) · Periodo ciclotrón · Rapidez constante.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Sumar una fuerza centrípeta nueva en vez de identificarla con la magnética. Usar q con signo en el radio. Confundir velocidad con aceleración.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

La fuerza siempre mira hacia el centro de la curva: úsala para comprobar el signo de la partícula.

Misiones: La báscula de átomos · El reloj ciclotrón

Semáforo de dominio: ☐ Verde: lo explico sin ayuda ☐ Ámbar: necesito práctica ☐ Rojo: debo preguntar

Guía de entrenamiento · Campo magnético

2.5 · Campos eléctrico y magnético cruzados

El pasillo de las partículas elegidas

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

Sin desviación: fuerzas en sentidos opuestos.

Qué debes entrenar

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Qué sentidos tienen $\mathbf{F}_E$ y $\mathbf{F}_B$? ¿Qué rapidez atraviesa el selector sin desviarse? ¿Importa el signo de q para esa rapidez?

KIT DE CONCEPTOS

Campos cruzados · Equilibrio transversal · v = E/B · Selector de velocidades.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Igualar módulos sin comprobar que las fuerzas se oponen. Equivocar **v**×**B**. Pensar que la rapidez seleccionada depende de q o m.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Primero diseña la cancelación para una carga positiva; para una negativa se invierten las dos fuerzas y el equilibrio se conserva.

Misiones: El pasillo sin desviación

Semáforo de dominio: ☐ 🟢 Verde: lo explico sin ayuda ☐ 🟡 Ámbar: necesito práctica ☐ 🔴 Rojo: debo preguntar

2.6 · Fuerza sobre conductores

Corrientes que empujan corrientes

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} \qquad \frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

Corrientes paralelas en el mismo sentido se atraen.

Qué debes entrenar

PREGUNTAS QUE DEBES PODER RESPONDER

¿Qué tramo de conductor está dentro del campo? ¿Cómo cambia **F** al invertir I o **B**? ¿Los hilos se atraen o se repelen?

KIT DE CONCEPTOS

F = I **L**×**B** · Longitud activa · Fuerza por unidad de longitud · Interacción entre corrientes.

RADAR DE ERRORES FRECUENTES

Usar la longitud total del cable. Olvidar sen θ. Confundir fuerza total con F/L. Memorizar atracción sin revisar el sentido de las corrientes.

PISTA DE EXAMEN, SIN SPOILER

Dibuja **L** en el sentido de la corriente convencional: el producto **L**×**B** hace el resto.

Misiones: El puente conductor · Dos líneas que se atraen

Semáforo de dominio: ☐ 🟢 Verde: lo explico sin ayuda ☐ 🟡 Ámbar: necesito práctica ☐ 🔴 Rojo: debo preguntar

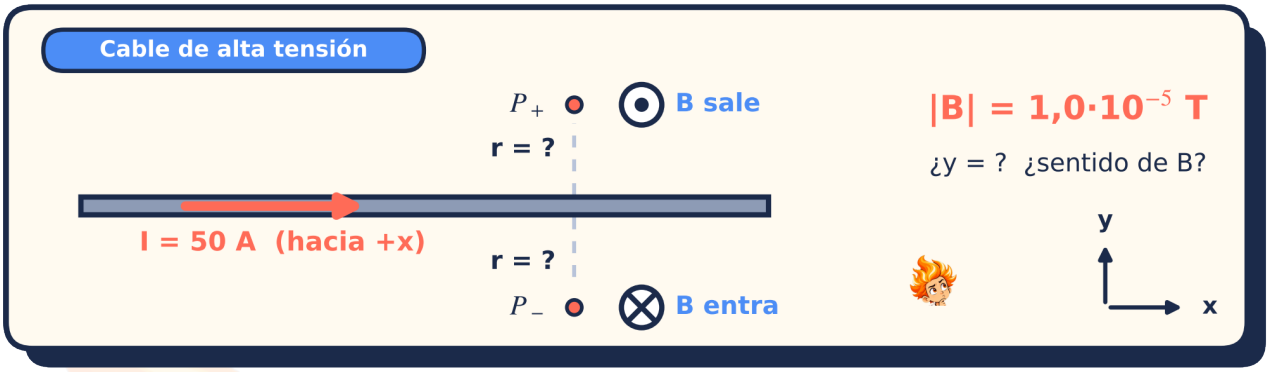
Ejercicio 13 · La circunferencia invisible

Campo creado por corrientes | Inicial

Un sensor conoce el campo y busca a qué distancia del cable debe colocarse.

ENUNCIADO

Un hilo situado sobre el eje x conduce 50 A hacia +x. Determina los puntos del eje y donde $|B| = 1{,}0\cdot10^{-5}$ T y escribe el sentido vectorial en cada uno.



Datos conocidos	I = 50 A hacia +x; B = $1{,}0\cdot10^{-5}$ T; μ_0.
Variables solicitadas	y y **B** en ambos puntos.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes | 2 Ley en símbolos | 3 Pasar al SI | 4 Sustituir y unidades | 5 Signo y sentido | 6 ¿Tiene sentido?

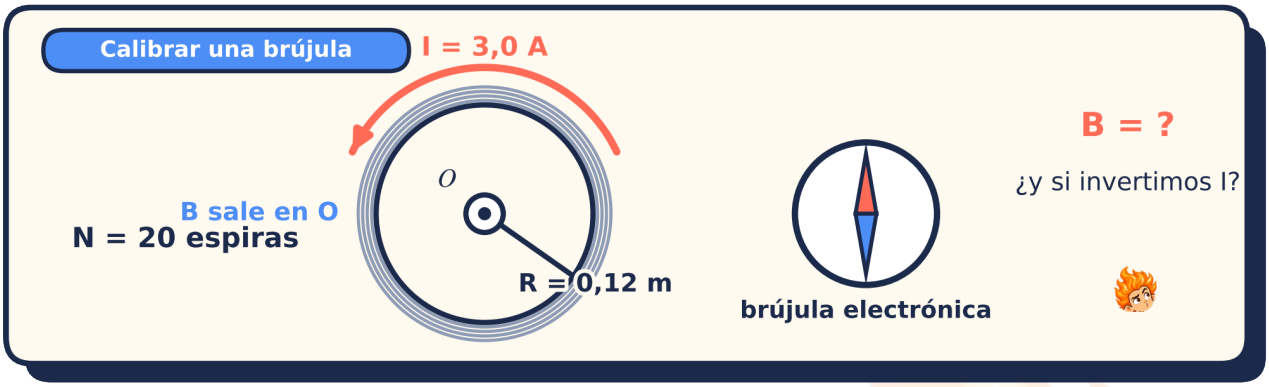
Ejercicio 14 · La bobina de calibración

Campo creado por corrientes PAU

Una bobina circular debe crear un campo conocido en su centro para calibrar una brújula electrónica.

ENUNCIADO

Una bobina de 20 espiras, radio 0,12 m, conduce 3,0 A. Calcula el campo en su centro e indica cómo cambia si se invierte la corriente.



Datos conocidos	N = 20; R = 0,12 m; I = 3,0 A; μ_0.
Variables solicitadas	B y sentido al invertir I.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes · 2 Ley en símbolos · 3 Pasar al SI · 4 Sustituir y unidades · 5 Signo y sentido · 6 ¿Tiene sentido?

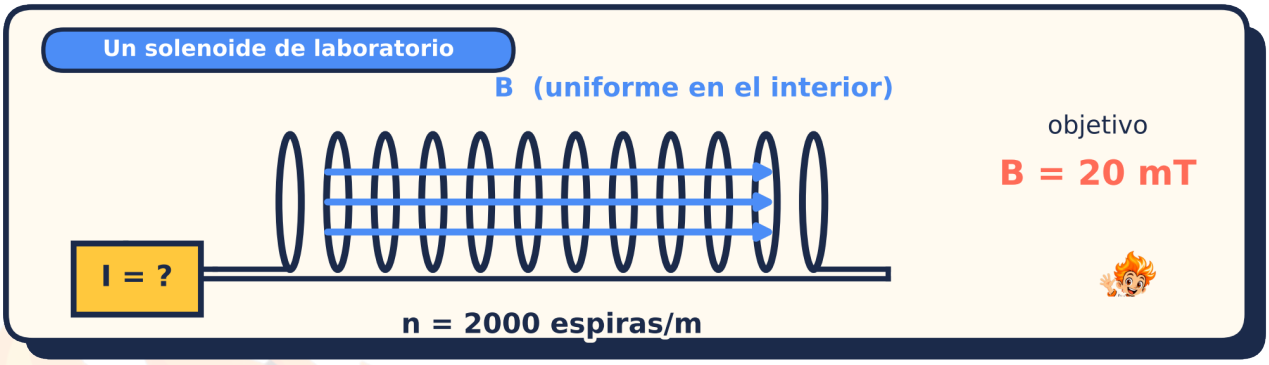
Ejercicio 15 · Diseñar un solenoide

Campo creado por corrientes | Competencial

El laboratorio necesita 20 mT sin cambiar la geometría de la bobina. La corriente es la única perilla disponible.

ENUNCIADO

Un solenoide largo tiene 2000 espiras por metro. Calcula la corriente necesaria para crear 20 mT en su interior.



Datos conocidos	$n = 2000\ m^{-1}$; $B = 20$ mT; μ_0.
Variables solicitadas	I.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes | 2 Ley en símbolos | 3 Pasar al SI | 4 Sustituir y unidades | 5 Signo y sentido | 6 ¿Tiene sentido?

Ejercicio 16 · El punto sin brújula

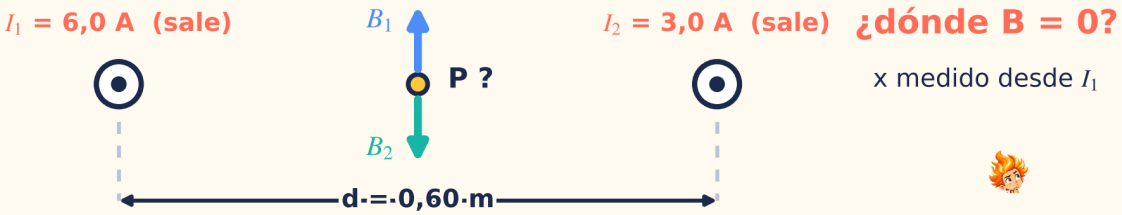
Superposición y campo magnético nulo | PAU

Dos corrientes paralelas esconden entre ellas un punto donde la brújula no sabe hacia dónde girar.

ENUNCIADO

Dos hilos paralelos separados 0,60 m conducen 6,0 A y 3,0 A en el mismo sentido. Localiza entre ellos el punto donde B = 0.

Dos corrientes, una brújula



Datos conocidos	I_1 = 6,0 A; I_2 = 3,0 A; d = 0,60 m; mismo sentido.
Variables solicitadas	x desde I_1.

ESPACIO DE TRABAJO — 1 Dibujo y ejes · 2 Ley en símbolos · 3 Pasar al SI · 4 Sustituir y unidades · 5 Signo y sentido · 6 ¿Tiene sentido?

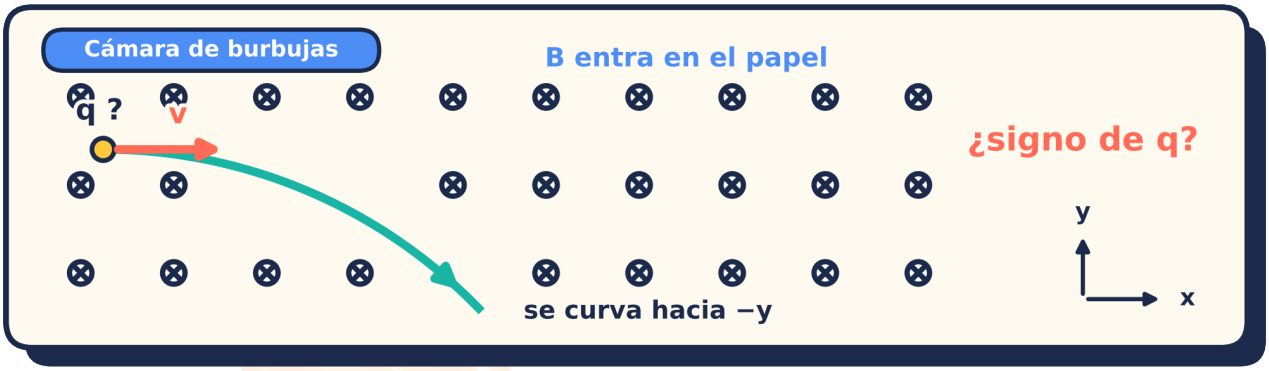
Ejercicio 17 · Detective de signos

Fuerza de Lorentz PAU

La cámara solo muestra que la trayectoria se curva hacia abajo. Con eso basta para descubrir el signo de la partícula.

ENUNCIADO

Una partícula entra con **v** hacia +x en un campo **B** que entra en el papel. Su trayectoria se curva inicialmente hacia −y. Determina el signo de la carga y justifícalo.



Datos conocidos	**v** = +v **i**; **B** = −B **k**; curvatura inicial hacia −y.
Variables solicitadas	Signo de q.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes · 2 Ley en símbolos · 3 Pasar al SI · 4 Sustituir y unidades · 5 Signo y sentido · 6 ¿Tiene sentido?

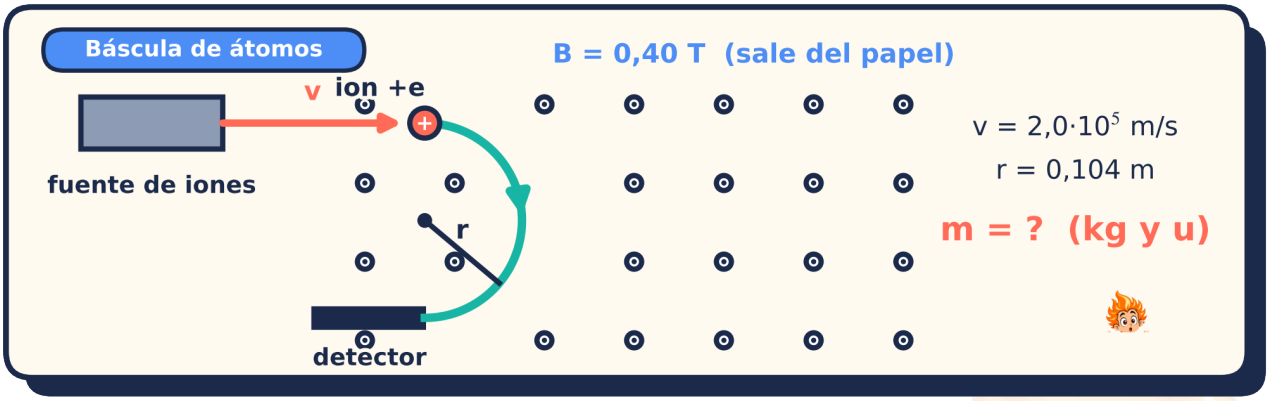
Ejercicio 18 · La báscula de átomos

Movimiento en un campo magnético | Competencial

Un espectrómetro no pesa iones con un plato: mide cuánto se curva su trayectoria.

ENUNCIADO

Un ion con carga +e entra a $2{,}0\cdot10^5$ m/s en B = 0,40 T y describe un radio de 0,104 m. Determina su masa en kg y en unidades de masa atómica.



Datos conocidos	q = e; v = $2{,}0\cdot10^5$ m/s; B = 0,40 T; r = 0,104 m; 1 u = $1{,}66\cdot10^{-27}$ kg.
Variables solicitadas	m y m/u.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes | 2 Ley en símbolos | 3 Pasar al SI | 4 Sustituir y unidades | 5 Signo y sentido | 6 ¿Tiene sentido?

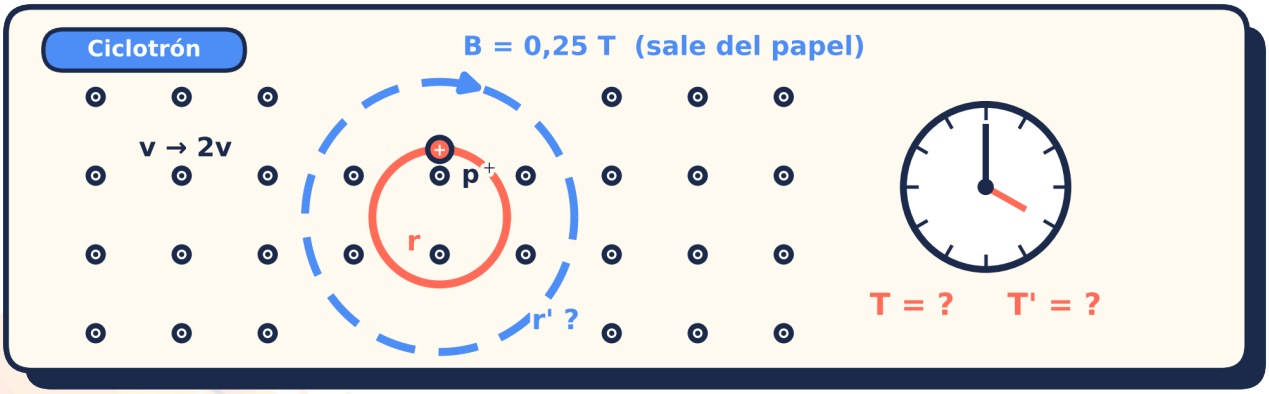
Ejercicio 19 · El reloj ciclotrón

Movimiento en un campo magnético PAU

El protón duplica la rapidez y el círculo crece, pero el reloj de cada vuelta se niega a cambiar.

ENUNCIADO

Un protón gira en B = 0,25 T. Calcula su periodo y explica qué sucede con periodo y radio si duplica su rapidez.



Datos conocidos	m_p; q_p; B = 0,25 T.
Variables solicitadas	T y comparación al duplicar v.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes · 2 Ley en símbolos · 3 Pasar al SI · 4 Sustituir y unidades · 5 Signo y sentido · 6 ¿Tiene sentido?

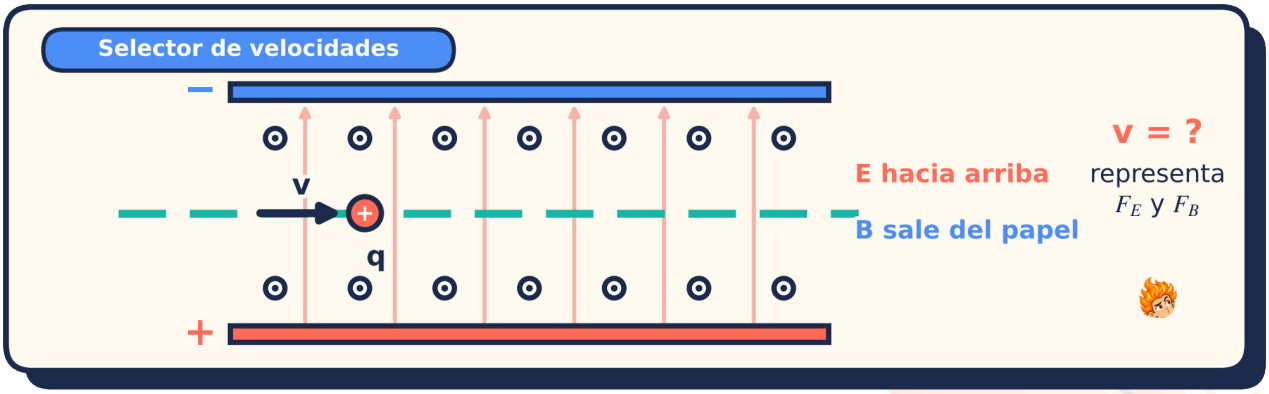
Ejercicio 20 · El pasillo sin desviación

Campos eléctrico y magnético cruzados | PAU

Solo las partículas con una rapidez exacta atraviesan el selector en línea recta.

ENUNCIADO

En una región, $E = 6{,}0\cdot10^4$ N/C apunta hacia arriba y $B = 0{,}20$ T sale del papel. Una carga entra hacia +x. Calcula la rapidez para no desviarse y representa las fuerzas.



Datos conocidos	**E** hacia +y; **B** hacia +z; entrada +x.
Variables solicitadas	v y sentidos de $\mathbf{F}_E$, $\mathbf{F}_B$.

ESPACIO DE TRABAJO — 1 Dibujo y ejes | 2 Ley en símbolos | 3 Pasar al SI | 4 Sustituir y unidades | 5 Signo y sentido | 6 ¿Tiene sentido?

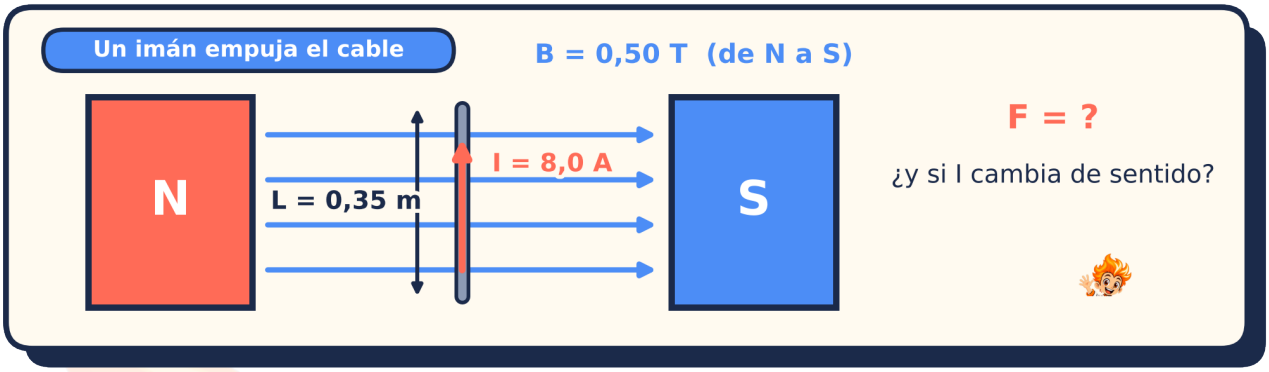
Ejercicio 21 · El puente conductor

Fuerza sobre conductores PAU

Un tramo de cable dentro de un imán recibe una fuerza medible. La corriente puede invertir el empuje.

ENUNCIADO

Un conductor de longitud activa 0,35 m lleva 8,0 A perpendicularmente a B = 0,50 T. Calcula la fuerza y explica qué cambia al invertir la corriente.



Datos conocidos	L = 0,35 m; I = 8,0 A; B = 0,50 T; θ = 90°.
Variables solicitadas	F y cambio al invertir I.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes · 2 Ley en símbolos · 3 Pasar al SI · 4 Sustituir y unidades · 5 Signo y sentido · 6 ¿Tiene sentido?

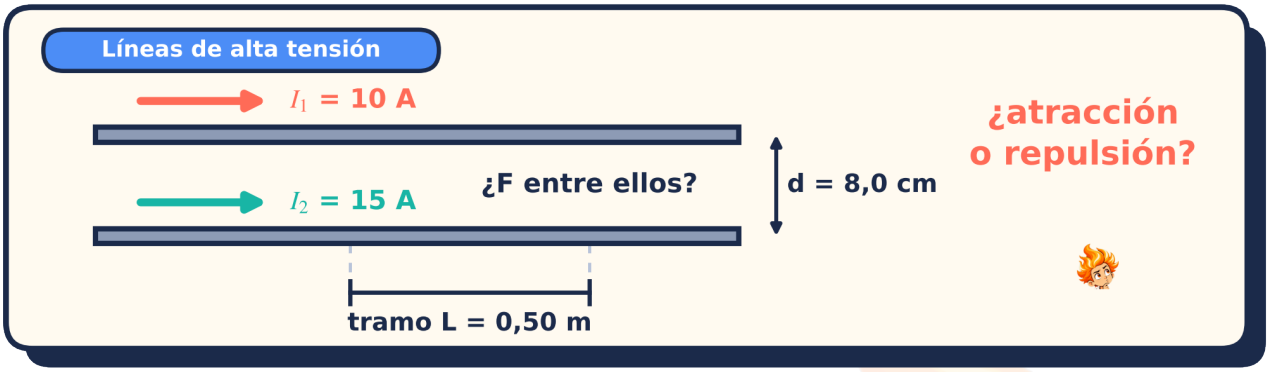
Ejercicio 22 · Dos líneas que se atraen

Fuerza sobre conductores | Competencial

Dos cables de potencia parecen inmóviles, pero cada metro está empujando al otro.

ENUNCIADO

Dos conductores paralelos separados 8,0 cm conducen 10 A y 15 A en el mismo sentido. Calcula la fuerza sobre un tramo de 0,50 m y decide si es atractiva o repulsiva.



Datos conocidos	I_1 = 10 A; I_2 = 15 A; d = 8,0 cm; L = 0,50 m; μ_0.
Variables solicitadas	F y carácter de la interacción.

ESPACIO DE TRABAJO 1 Dibujo y ejes | 2 Ley en símbolos | 3 Pasar al SI | 4 Sustituir y unidades | 5 Signo y sentido | 6 ¿Tiene sentido?



3 Guía de inducción

Qué entrenar, qué vigilar y qué misiones practicar · Faraday-Lenz

Cada capítulo de inducción en una ficha: lo que debes poder explicar, lo que te hará perder puntos y las misiones (ejercicios) que lo entrenan.

3.1 · Flujo magnético

La orientación importa

$$\Phi_B = B\,A\cos\theta, \qquad \theta = \widehat{(\vec{B},\ \vec{n})}$$

Qué debes entrenar

Preguntas que debes poder responder

¿El ángulo está medido con el plano o con la normal? ¿Cuándo es máximo, cero o negativo el flujo? ¿Qué significa su signo?

Kit de conceptos

Φ_B = B·A·cos θ · Vector superficie · Orientación · Flujo máximo y nulo.

Radar de errores frecuentes

Usar directamente el ángulo con el plano. No convertir cm^2 a m^2. Confundir flujo con campo magnético.

Pista de examen, sin spoiler

Dibuja una pequeña normal aunque no aparezca en el enunciado. Ese gesto salva muchos cosenos.

MISIONES La normal, no el plano

Verde: lo explico sin ayuda · Ámbar: necesito práctica · Rojo: debo preguntar

3.2 · Faraday-Lenz

La espira protesta contra el cambio

$$\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

Qué debes entrenar

Preguntas que debes poder responder

¿Qué término del flujo está cambiando? ¿Cuál es el módulo de la fem en cada intervalo? ¿Qué cambio intenta impedir la corriente?

Kit de conceptos

Faraday · Lenz · Variación de flujo · Bobina de N espiras · Gráficas B-t.

Radar de errores frecuentes

Inducir corriente con flujo constante. Olvidar multiplicar por N. Decidir el sentido antes de identificar si el flujo aumenta o disminuye.

Pista de examen, sin spoiler

Frase mágica: «la espira crea un campo que se opone al cambio». No se opone al campo; se opone a su variación.

MISIONES Leer una gráfica sin verla como decoración · El imán visitante · La bobina y la resistencia

Verde: lo explico sin ayuda · Ámbar: necesito práctica · Rojo: debo preguntar

3.3 · Espiras que entran y salen

Tres etapas, tres comportamientos

Al entrar o salir cambia el área atravesada por B; completamente dentro de un campo uniforme, el flujo es constante.

Qué debes entrenar

Preguntas que debes poder responder

¿La espira está entrando, completamente dentro o saliendo? ¿Durante cuánto tiempo cambia el área? ¿Por qué los pulsos tienen signos opuestos?

Kit de conceptos

Área enlazada · Frontera magnética · Fem por etapas · ε-t · Ley de Lenz.

Radar de errores frecuentes

Suponer que todo movimiento induce corriente. Usar como ℓ el lado paralelo al movimiento. Dibujar pulsos con el mismo signo al entrar y salir.

Pista de examen, sin spoiler

Congela la película en tres fotogramas: entrada, interior y salida. Pregunta en cada uno si cambia el flujo.

MISIONES La espira cruza la frontera · Dibujar la fem por etapas

Verde: lo explico sin ayuda Ámbar: necesito práctica Rojo: debo preguntar

3.4 · Fem de movimiento

Movimiento que se convierte en electricidad

$$\varepsilon = B\,\ell\,v$$

Para una barra perpendicular: ε = B·ℓ·v. La fuerza magnética se opone al movimiento y conserva la energía.

Qué debes entrenar

Preguntas que debes poder responder

¿Qué extremo de la barra queda a mayor potencial? ¿Qué fuerza se opone al movimiento? ¿Dónde termina la energía mecánica suministrada?

Kit de conceptos

Fem de movimiento · v×B · Corriente inducida · Freno magnético · Conservación de la energía.

Radar de errores frecuentes

Confundir fem con corriente. Elegir la polaridad usando electrones y olvidar invertir. Poner la fuerza magnética a favor del movimiento.

Pista de examen, sin spoiler

Usa v×B para cargas positivas: el extremo hacia el que apunta queda a mayor potencial.

MISIONES Freno magnético sobre raíles

Verde: lo explico sin ayuda Ámbar: necesito práctica Rojo: debo preguntar

3.5 · Generadores

Girar para producir una señal alterna

$$\Phi = NBS\cos(\omega t); \quad \varepsilon = NBS\omega\,\mathrm{sen}(\omega t); \quad \varepsilon_{máx} = NBS\omega$$

Qué debes entrenar

Preguntas que debes poder responder

¿Cuál es ω a partir de f? ¿Qué desfase existe entre flujo y fem? ¿Se pide valor máximo, instantáneo o eficaz?

Kit de conceptos

Rotación uniforme · Flujo sinusoidal · Fem alterna · $\varepsilon_{máx}$ = N·B·S·ω · ω = 2πf.

Radar de errores frecuentes

Sustituir f donde corresponde ω. Omitir N. Confundir valor máximo con eficaz. Perder la fase inicial indicada.

Pista de examen, sin spoiler

Escribe primero Φ(t) y deriva mentalmente su forma: cuando el flujo es máximo, la fem instantánea es cero.

MISIONES Diseñar un generador de 230 V

Verde: lo explico sin ayuda · Ámbar: necesito práctica · Rojo: debo preguntar

A POR LOS EJERCICIOS

Ahora, a entrenar: en las páginas siguientes tienes los ejercicios 23 a 30 de inducción. Sigue la rutina de seis pasos y revisa cada resultado con el radar de errores.



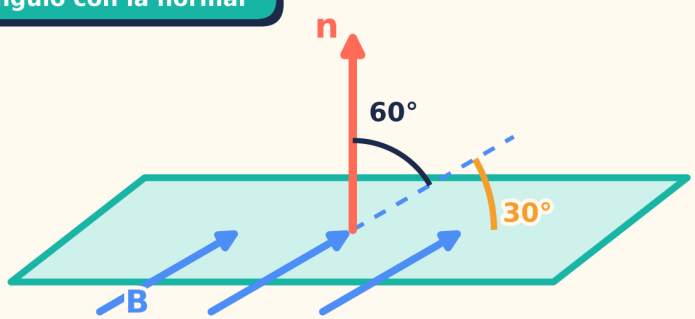
Ejercicio 23 · La normal, no el plano

FLUJO MAGNÉTICO PAU

Un croquis marca 30° entre el campo y el plano. Antes de usar el coseno hay que traducir ese ángulo.

Una espira de 150 cm² está en B = 0,40 T. El campo forma 30° con el plano de la espira. Calcula el flujo magnético.

Ángulo con la normal



S = 150 cm²

B = 0,40 T

¡el coseno usa la normal!

Datos conocidos	S = 150 cm²; B = 0,40 T; ángulo campo-plano = 30°.
Variables solicitadas	θ con la normal y Φ.

ESPACIO DE TRABAJO

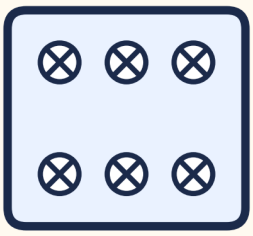
Ejercicio 24 · Leer una gráfica sin verla como decoración

FARADAY-LENZ Competencial

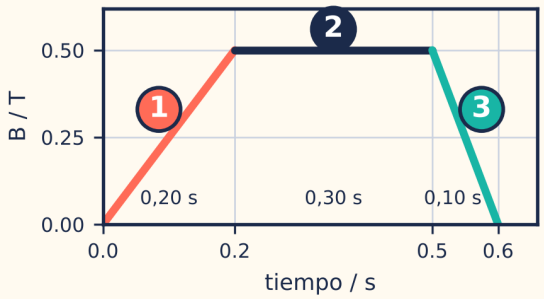
Tres tramos de una gráfica B-t producen tres respuestas eléctricas diferentes.

Una espira de área 0,040 m² está perpendicular a *B*. El campo aumenta de 0 a 0,50 T en 0,20 s, permanece constante 0,30 s y baja a cero en 0,10 s. Obtén la fem en cada tramo y compara sentidos.

Tres tramos, tres señales



S = 0,040 m²



$\varepsilon_1,\ \varepsilon_2,\ \varepsilon_3\ ?$

Datos conocidos	S = 0,040 m²; tramos de B(t) indicados; N = 1.
Variables solicitadas	ε_1, ε_2, ε_3 y sentidos relativos.

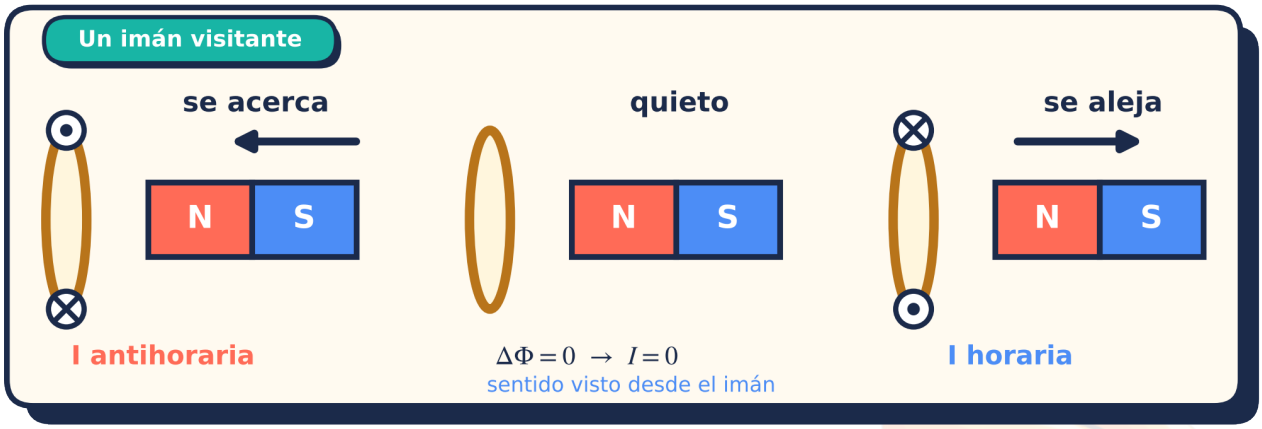
ESPACIO DE TRABAJO

Ejercicio 25 · El imán visitante

FARADAY-LENZ Razonamiento

Un imán se acerca, se detiene y se aleja. La espira solo reacciona cuando cambia lo que atraviesa su superficie.

El polo norte de un imán mira a una espira y se acerca perpendicularmente. Explica por qué aparece corriente, su sentido visto desde el imán, qué ocurre al detenerlo y qué cambia al alejarlo.



Datos conocidos	Polo N frente a la espira; aproximación, reposo y alejamiento.
Variables solicitadas	Causa y sentido de la corriente en cada fase.

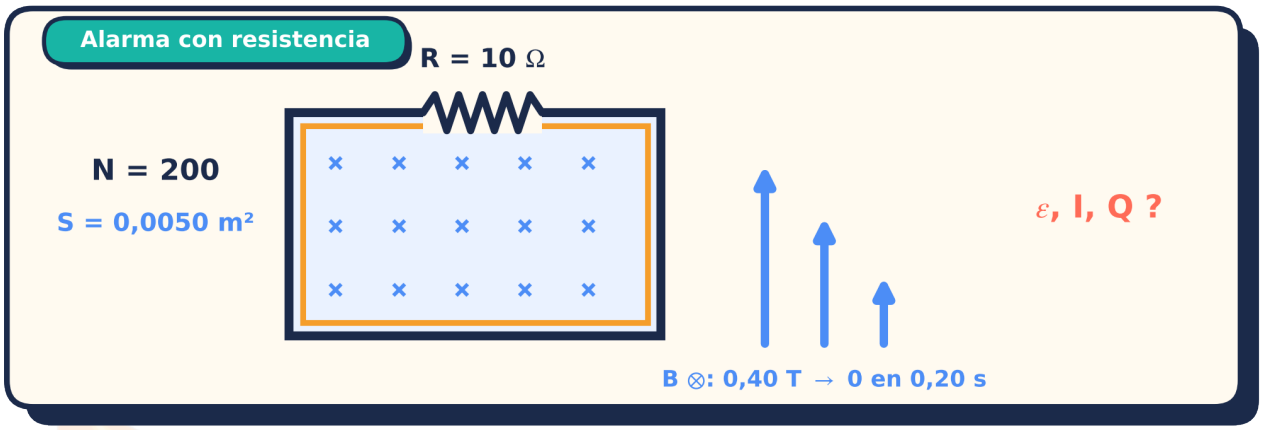
ESPACIO DE TRABAJO

Ejercicio 26 · La bobina y la resistencia

FARADAY-LENZ PAU

La inducción genera una fem, pero la resistencia decide cuánta corriente puede circular.

Una bobina de 200 espiras y área 0,0050 m², resistencia 10 Ω, ve disminuir un campo perpendicular de 0,40 T a cero en 0,20 s. Calcula fem, corriente y carga total transferida.



Datos conocidos	N = 200; S = 0,0050 m²; ΔB = −0,40 T; Δt = 0,20 s; R = 10 Ω.
Variables solicitadas	|ε|, I y Q.

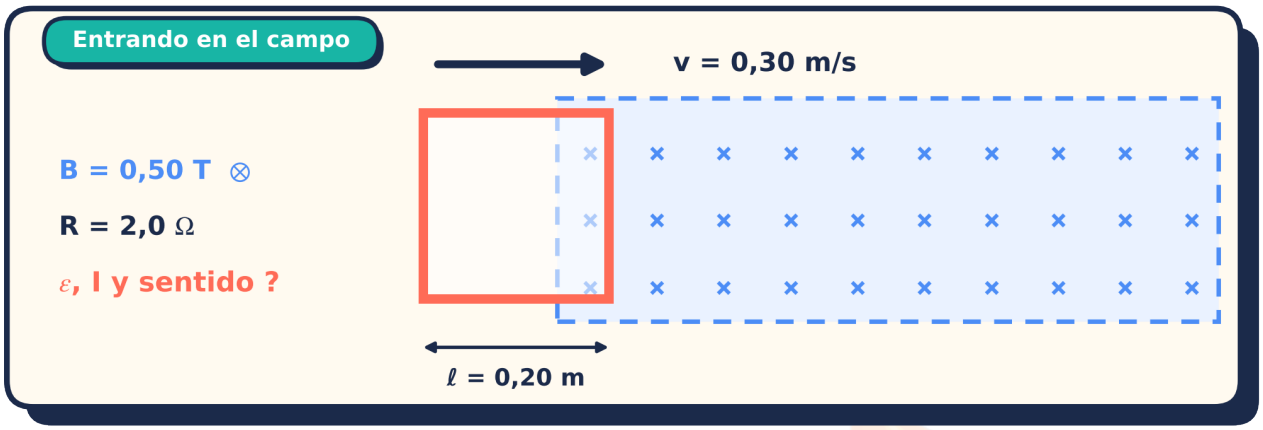
ESPACIO DE TRABAJO

Ejercicio 27 · La espira cruza la frontera

ESPIRAS QUE ENTRAN Y SALEN PAU

Al entrar en la región magnética, cada centímetro nuevo de área cambia el flujo.

Una espira cuadrada de lado 0,20 m entra a 0,30 m/s en una región con B = 0,50 T entrando en el papel. Su resistencia es 2,0 Ω. Calcula fem, corriente y sentido mientras entra.



Datos conocidos	ℓ = 0,20 m; v = 0,30 m/s; B = 0,50 T; R = 2,0 Ω.
Variables solicitadas	ε, I y sentido.

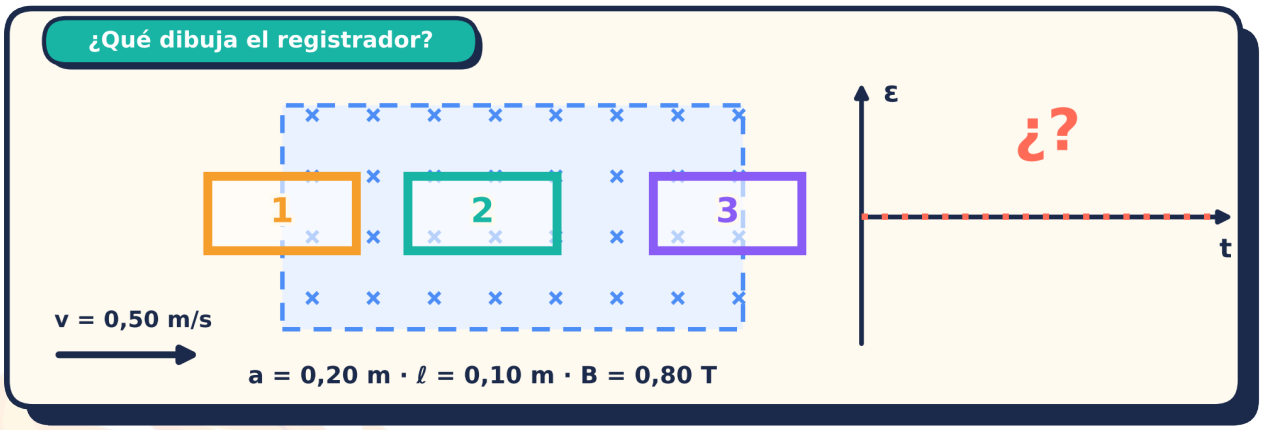
ESPACIO DE TRABAJO

Ejercicio 28 · Dibujar la fem por etapas

ESPIRAS QUE ENTRAN Y SALEN | Competencial

El registrador no muestra la posición de la espira, solo una señal rectangular. Reconstruye el viaje.

Una espira rectangular de longitud 0,20 m en la dirección del movimiento y ancho 0,10 m atraviesa a 0,50 m/s una zona amplia con B = 0,80 T. Representa cualitativamente ε(t) al entrar, quedar dentro y salir, indicando duración y valor de los pulsos.



Datos conocidos	a = 0,20 m; ℓ = 0,10 m; v = 0,50 m/s; B = 0,80 T.
Variables solicitadas	Gráfica ε-t, duración y amplitud.

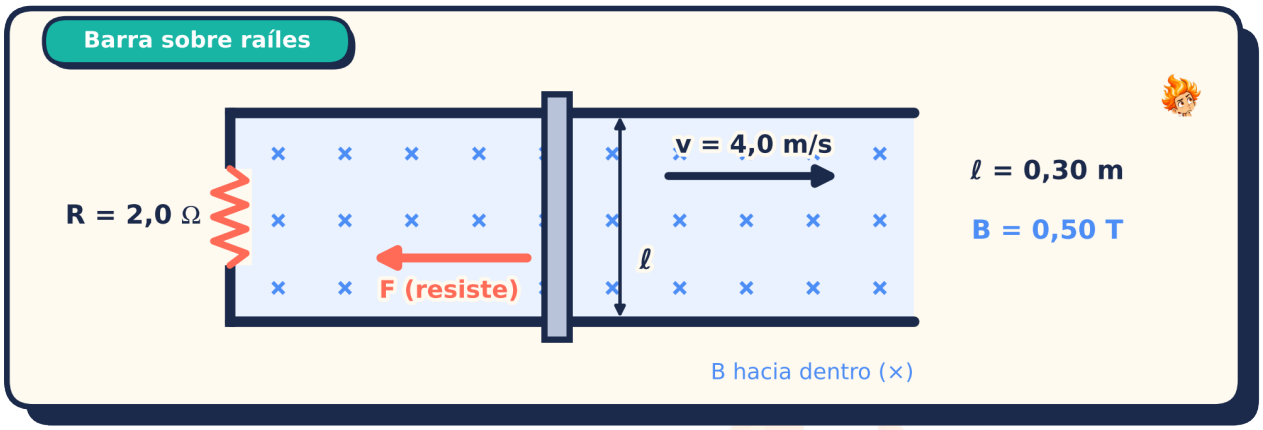
ESPACIO DE TRABAJO

Ejercicio 29 · Freno magnético sobre raíles

FEM DE MOVIMIENTO PAU

Para mantener la barra a velocidad constante hay que vencer una fuerza que devuelve la energía al circuito.

Una barra de 0,30 m se mueve a 4,0 m/s en B = 0,50 T y cierra un circuito de 2,0 Ω. Calcula fem, corriente, fuerza resistente y potencia mecánica. Compárala con la potencia eléctrica.



Datos conocidos	ℓ = 0,30 m; v = 4,0 m/s; B = 0,50 T; R = 2,0 Ω.
Variables solicitadas	ε, I, F, P_{mec}, P_{el}.

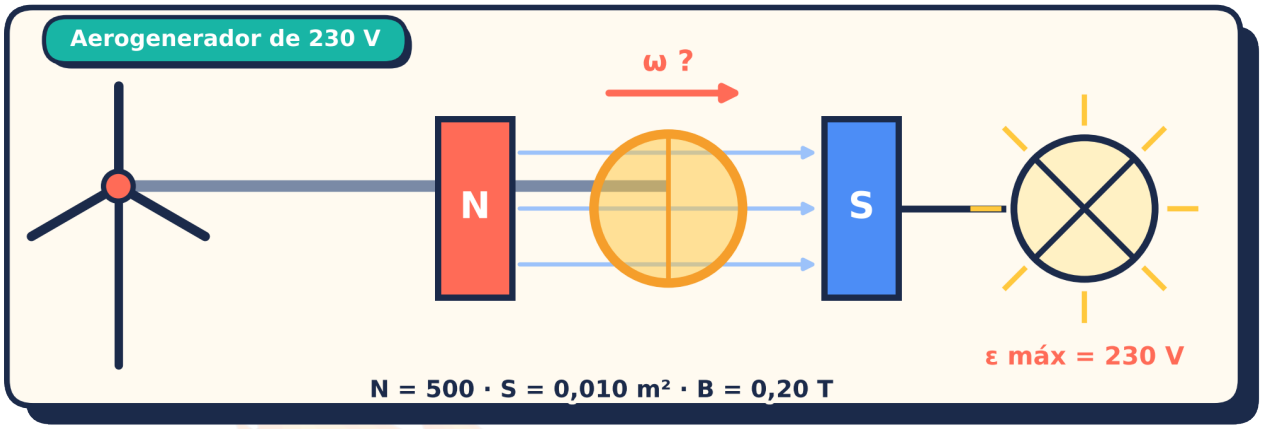
ESPACIO DE TRABAJO

Ejercicio 30 · Diseñar un generador de 230 V

GENERADORES Competencial

El prototipo debe alcanzar 230 V de pico sin cambiar la bobina ni el imán. Solo puede ajustarse la velocidad de giro.

Una bobina de 500 espiras y área 0,010 m² gira en B = 0,20 T. Determina ω y la frecuencia para obtener $\varepsilon_{máx}$ = 230 V.



Datos conocidos	N = 500; S = 0,010 m²; B = 0,20 T; $\varepsilon_{máx}$ = 230 V.
Variables solicitadas	ω y f.

ESPACIO DE TRABAJO



4 Problemas completos

Seis problemas integradores tipo Selectividad: campo, fuerza e inducción

Cada problema mezcla conceptos y exige **cálculo, representación e interpretación**. Primero practica con apoyo; después comprueba lo que puedes hacer bajo las condiciones de examen.

Ruta recomendada

Ruta	Problemas	Cómo trabajarlos
Entrenamiento guiado	**2, 3 y 5**	Puedes consultar formulario y apuntes. Corrige justo después y anota el error que no quieres repetir.
Simulacro · 55 min	**1, 4 y 6**	Sin ayudas y con unos 18 min por problema. Reserva el último minuto para signos, unidades y respuesta final.

Los seis problemas de un vistazo

Nº	Problema	Bloque	Modalidad
1	El dron entre tres balizas	Campo eléctrico	Simulacro final
2	El punto nulo que aún tiene potencial	Campo eléctrico	Entrenamiento guiado
3	Cruzar el corredor de cables	Campo magnético	Entrenamiento guiado
4	Selector y báscula de iones	Campo magnético	Simulacro final
5	La alarma de flujo	Inducción	Entrenamiento guiado
6	El generador del refugio	Inducción	Simulacro final

REGLA DE CORRECCIÓN

Regla de corrección



No marques solo si el número coincide. Comprueba también el **planteamiento**, el **signo**, la **dirección o el sentido**, las **unidades** y la **interpretación física**.

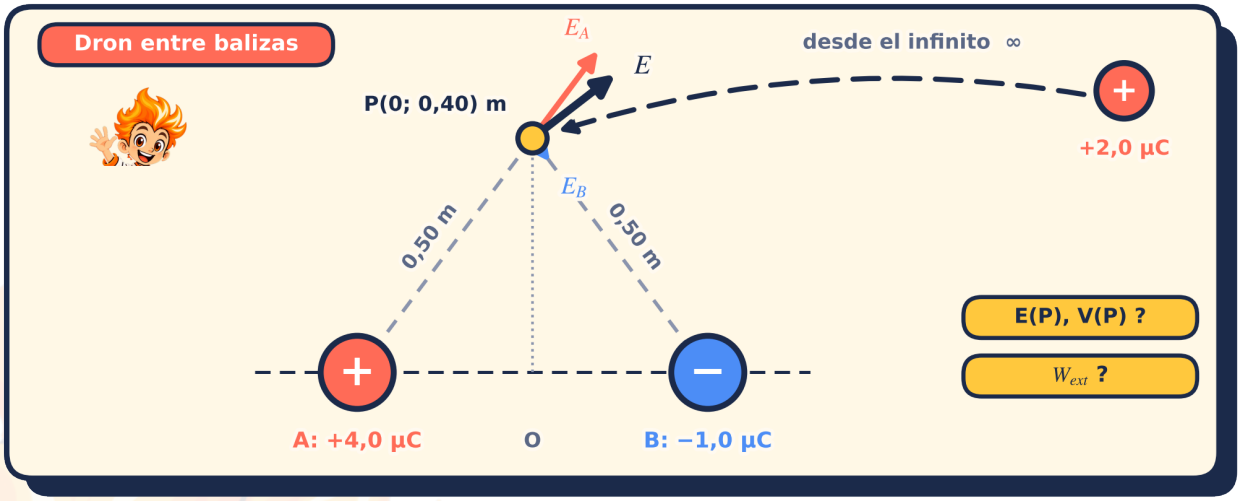
Ejercicio 1 · El dron entre tres balizas

Problema completo | Simulacro final | Selectividad | ≈ 18 min

Un dron electrostático debe atravesar un punto de control y después transportar una carga desde el infinito.

ENUNCIADO

En A(−0,30; 0) m hay +4,0 µC y en B(0,30; 0) m, −1,0 µC. a) Calcula **E** y V en P(0; 0,40) m. b) Calcula el trabajo externo mínimo para traer desde el infinito una carga +2,0 µC hasta P.



Datos conocidos	q_A=+4,0 µC; q_B=−1,0 µC; A, B y P; k.
Variables solicitadas	**E**(P), V(P), W_{ext}.

ESPACIO DE TRABAJO

1 dibujo · 2 ley · 3 datos al SI · 4 cuentas · 5 signo y sentido · 6 ¿tiene sentido?

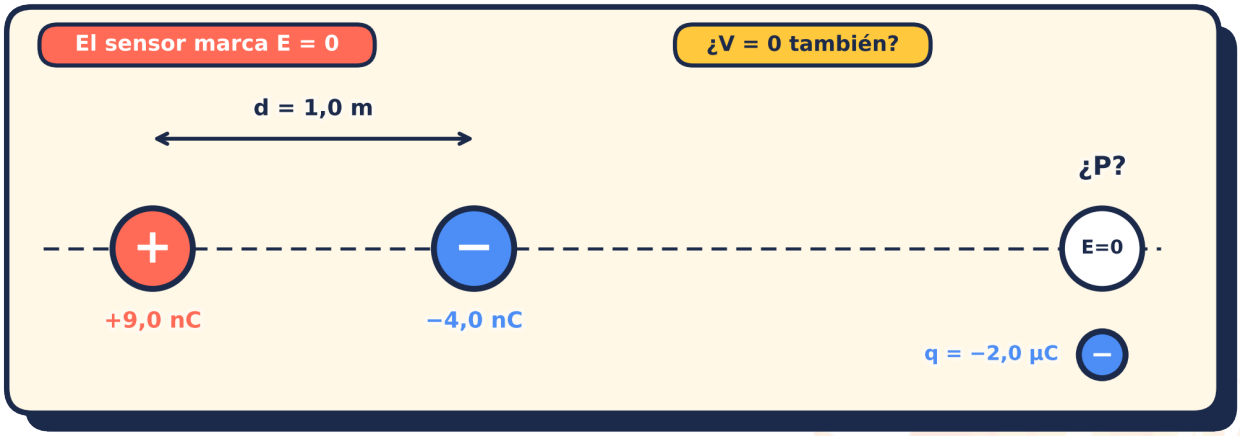
Ejercicio 2 · El punto nulo que aún tiene potencial

Problema completo | Entrenamiento guiado | Selectividad

El sensor marca campo cero, pero una carga de prueba todavía posee energía potencial.

ENUNCIADO

En x=0 hay +9,0 nC y en x=1,0 m, −4,0 nC. a) Localiza el punto del eje donde E=0. b) Calcula allí V y la energía potencial de una carga −2,0 µC.



Datos conocidos	q_1=+9,0 nC; q_2=−4,0 nC; d=1,0 m; q=−2,0 µC; k.
Variables solicitadas	x, V y U.

ESPACIO DE TRABAJO

1 dibujo · 2 ley · 3 datos al SI · 4 cuentas · 5 signo y sentido · 6 ¿tiene sentido?

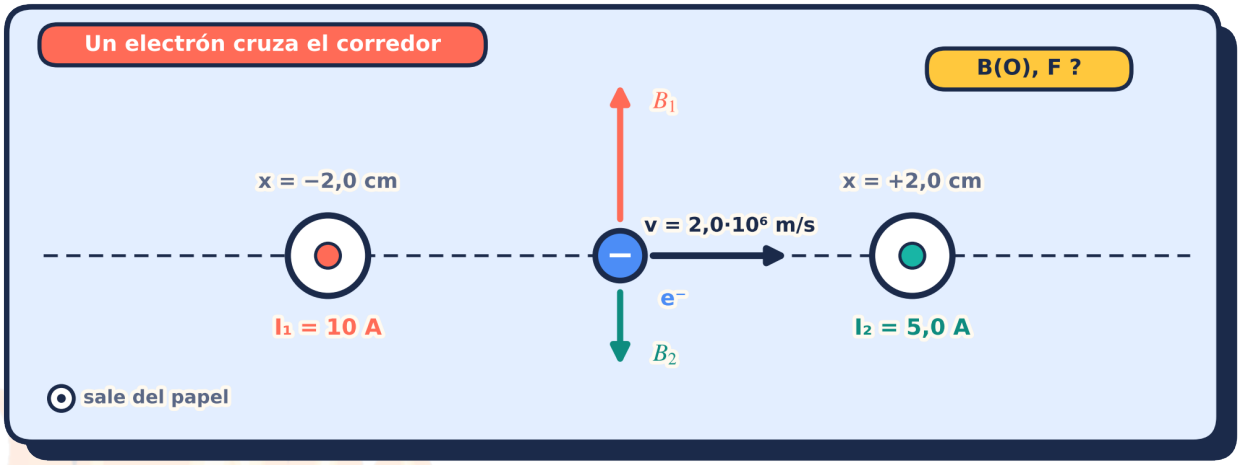
Ejercicio 3 · Cruzar el corredor de cables

Problema completo | Entrenamiento guiado | Selectividad

Un electrón atraviesa el punto medio entre dos líneas de corriente y su desviación revela el campo resultante.

ENUNCIADO

Dos hilos paralelos al eje *z* están en $x=-2{,}0$ cm y $x=+2{,}0$ cm. Por ellos circulan, respectivamente, 10 A y 5,0 A en +z. a) Calcula **B** en el origen. b) Un electrón pasa por el origen con $\mathbf{v}=2{,}0\cdot10^{6}\mathbf{i}$ m/s. Calcula **F**.



Datos conocidos	$I_1=10$ A en $x=-2{,}0$ cm; $I_2=5{,}0$ A en $x=+2{,}0$ cm; electrón; μ_0.
Variables solicitadas	**B**(O) y **F**.

ESPACIO DE TRABAJO

1 dibujo · 2 ley · 3 datos al SI · 4 cuentas · 5 signo y sentido · 6 ¿tiene sentido?

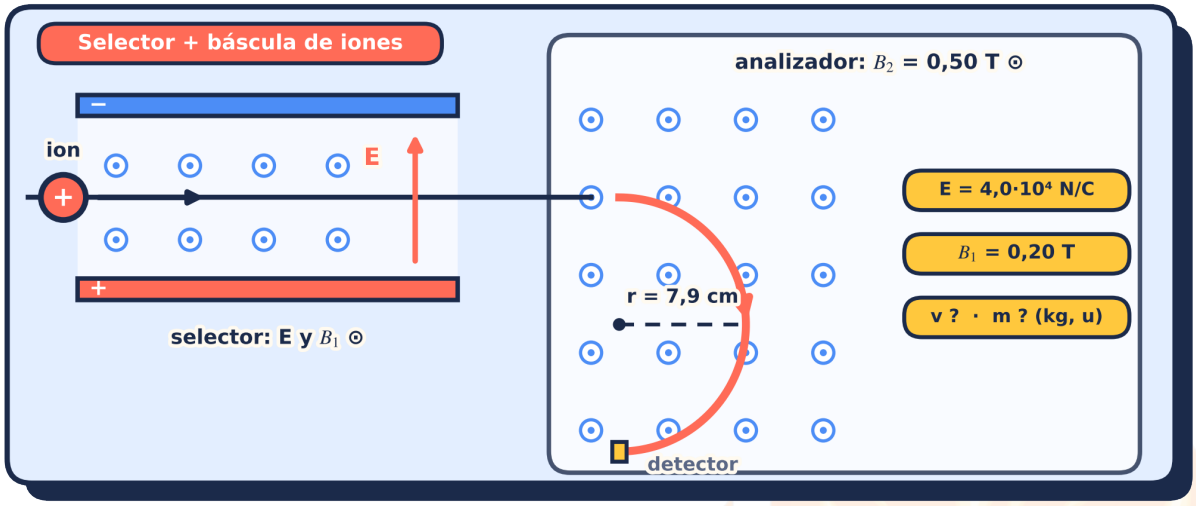
Ejercicio 4 · Selector y báscula de iones

Problema completo | Simulacro final | Selectividad | ≈ 18 min

La primera etapa elige una rapidez; la segunda usa la curvatura para identificar el ion.

ENUNCIADO

Un selector tiene $E=4{,}0\cdot10^{4}$ N/C y $B_1=0{,}20$ T. Los iones que no se desvían entran después en $B_2=0{,}50$ T y describen $r=7{,}9$ cm. a) Calcula v. b) Para carga $+e$, determina la masa en kg y u.



Datos conocidos	E; B_1; B_2; $r=7{,}9$ cm; $q=e$; 1 u$=1{,}66\cdot10^{-27}$ kg.
Variables solicitadas	v, m y m/u.

ESPACIO DE TRABAJO

1 dibujo · 2 ley · 3 datos al SI · 4 cuentas · 5 signo y sentido · 6 ¿tiene sentido?

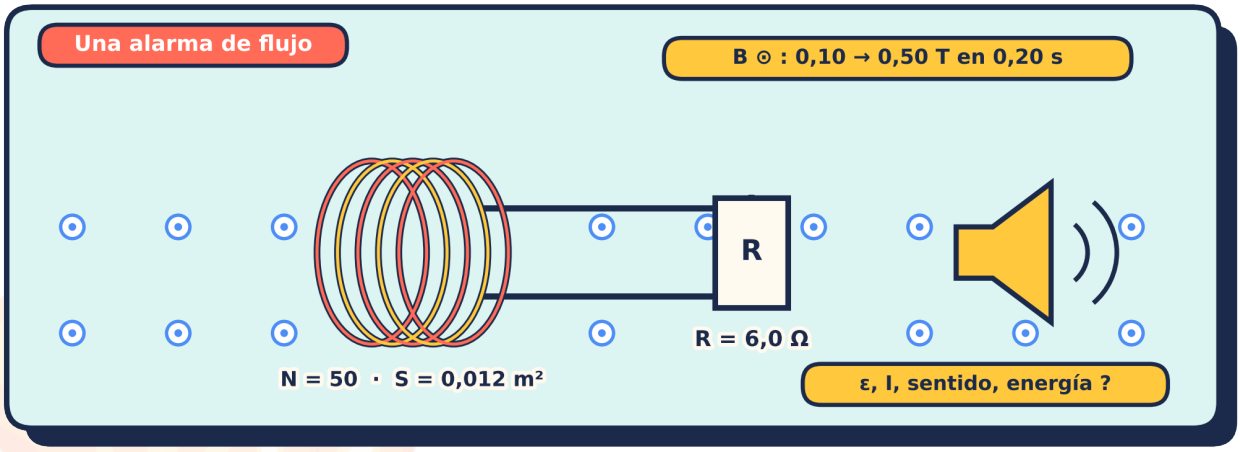
Ejercicio 5 · La alarma de flujo

Problema completo | Entrenamiento guiado | Selectividad

Una bobina alimenta una alarma mientras el campo aumenta; la energía disipada determina cuánto puede sonar.

ENUNCIADO

Una bobina de 50 espiras, área 0,012 m² y resistencia 6,0 Ω está en un campo saliente que aumenta 0,10→0,50 T en 0,20 s. a) Calcula fem, corriente y sentido. b) Calcula la energía disipada.



Datos conocidos	N=50; S=0,012 m²; R=6,0 Ω; ΔB=0,40 T; Δt=0,20 s.
Variables solicitadas	ε, I, sentido y energía.

ESPACIO DE TRABAJO

1 dibujo · 2 ley · 3 datos al SI · 4 cuentas · 5 signo y sentido · 6 ¿tiene sentido?

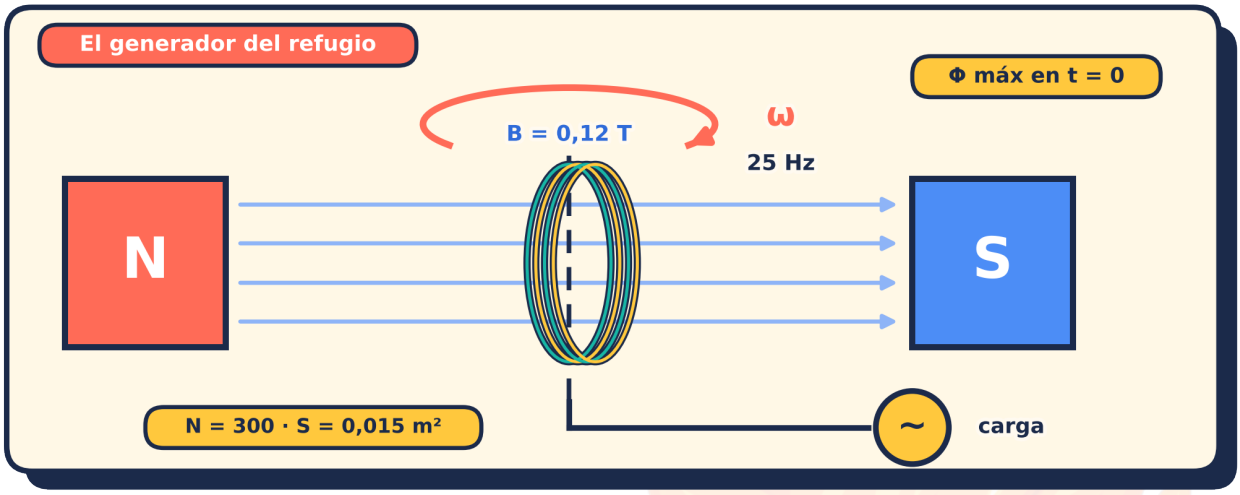
Ejercicio 6 · El generador del refugio

Problema completo | Simulacro final | Selectividad | ≈ 18 min

Un pequeño generador debe alimentar una señal alterna y el equipo decide si girará lo bastante rápido.

ENUNCIADO

Una bobina de 300 espiras y área 0,015 m² gira a 25 Hz en B=0,12 T. a) Obtén el flujo concatenado $\Phi(t)$ y $\varepsilon(t)$, tomando flujo máximo en t=0. b) Calcula $\varepsilon_{máx}$ y el primer instante en que la fem es máxima.



Datos conocidos	N=300; S=0,015 m²; f=25 Hz; B=0,12 T.
Variables solicitadas	$\Phi(t)$, $\varepsilon(t)$, $\varepsilon_{máx}$ y t del primer máximo.

ESPACIO DE TRABAJO

1 dibujo · 2 ley · 3 datos al SI · 4 cuentas · 5 signo y sentido · 6 ¿tiene sentido?



5 Solucionario

Ecuación de partida, resultado e interpretación mínima exigible

Las soluciones recogen la **ecuación de partida**, el **resultado** y la **interpretación mínima exigible**. Se admitirán procedimientos alternativos físicamente correctos.

1 Ecuación de partida

la ley en forma simbólica

→

2 Resultado

con unidades, signo y sentido

→

3 Interpretación mínima

¿es coherente y responde a lo pedido?



CÓMO CORREGIR

Corrige con lápiz de otro color. Si tu resultado coincide pero el planteamiento no, cuenta como **fallo de método**: anótalo en el radar de errores.



Soluciones · Campo eléctrico

Ejercicios 1 a 12

1 **El apretón eléctrico**
$F=k|q_1q_2|/r^2=1{,}35$ N. Son fuerzas atractivas, colineales, iguales y opuestas. Intercambiar las posiciones no cambia el módulo.

2 **Tres cargas en el pasillo**
$F_1=1{,}80$ N hacia $+x$ y $F_2=0{,}1125$ N hacia $+x$. $\mathbf{F}=(1{,}91\text{ N})\mathbf{i}$; acelera hacia la baliza negativa.

3 **El vértice vigilado**
Cada campo vale $3{,}00\cdot10^5$ N/C. Las componentes verticales se anulan y las horizontales se suman: $\mathbf{E}=(3{,}00\cdot10^5\text{ N/C})\mathbf{i}$, dirigido hacia la carga negativa.

4 **Coordenadas con carácter**
$\mathbf{E}_1=(12{,}7\mathbf{i}+12{,}7\mathbf{j})$ N/C; $\mathbf{E}_2=-18{,}0\mathbf{j}$ N/C. $\mathbf{E}=(12{,}7\mathbf{i}-5{,}27\mathbf{j})$ N/C; $|\mathbf{E}|=13{,}8$ N/C; $\theta=-22{,}5°$.

5 **El centro perfectamente silencioso**
Por simetría vectorial, $\mathbf{E}(O)=0$. El potencial suma escalares: $V=3kq/r=-108$ V. Campo nulo no implica potencial nulo.

6 **El refugio entre dos cargas**
Entre ellas los campos son opuestos. $4/x^2=1/(0{,}90-x)^2$; resulta $x=0{,}60$ m desde la carga de 4 nC.

7 **El punto que se esconde fuera**
Entre las cargas los campos tienen el mismo sentido. La cancelación aparece a la derecha de la carga menor: $4/x^2=1/(x-0{,}60)^2$, de donde $x=1{,}20$ m.

8 **Dos ceros para un potencial**
De $6/r_1=2/r_2$. Entre las cargas: $x=0{,}60$ m. A la derecha: $x=1{,}20$ m. No hay solución a la izquierda.

9 **El peaje energético**
$W_{campo}=kQq(1/r_A-1/r_B)=1{,}50\cdot10^{-4}$ J. $\Delta U=-1{,}50\cdot10^{-4}$ J.

10 **Dos viajeros entre placas**
$E=|\Delta V|/d=3{,}00\cdot10^4$ N/C. Ambas fuerzas tienen módulo $eE=4{,}80\cdot10^{-15}$ N y sentidos opuestos. $a_p=2{,}87\cdot10^{12}$ m/s² hacia la placa negativa; $a_e=5{,}27\cdot10^{15}$ m/s² hacia la positiva.

11 **El haz que no llega al centro**
$t=L/v_x=1{,}00\cdot10^{-8}$ s. El electrón acelera hacia arriba con $a=eE/m=1{,}76\cdot10^{14}$ m/s². $y=8{,}79$ mm y $v_y=1{,}76\cdot10^6$ m/s hacia arriba.

12 **La esfera indiscreta**
$Q_{int}=2{,}0$ nC. $\Phi=Q_{int}/\varepsilon_0=226$ N·m²/C. La carga exterior no modifica el flujo neto.

Soluciones · Campo magnético

Ejercicios 13 a 22

13 **La circunferencia invisible**

$r=\mu_0 I/(2\pi B)=1{,}00$ m. Los puntos son $y=\pm 1{,}00$ m. En $y=+1{,}00$ m, **B** apunta hacia $+z$; en $y=-1{,}00$ m, hacia $-z$.

14 **La bobina de calibración**

$B=\mu_0 NI/(2R)=3{,}14\cdot 10^{-4}$ T. Invertir la corriente conserva el módulo e invierte el sentido.

15 **Diseñar un solenoide**

$I=B/(\mu_0 n)=7{,}96$ A.

16 **El punto sin brújula**

Entre los hilos los campos son opuestos. $I_1/x=I_2/(d-x)$, de donde $x=0{,}40$ m desde el hilo de 6 A.

17 **Detective de signos**

Para una carga positiva, $\mathbf{v}\times\mathbf{B}=+\mathbf{j}$. Como la fuerza real es hacia $-\mathbf{j}$, la carga es negativa.

18 **La báscula de átomos**

$m=qBr/v=3{,}33\cdot 10^{-26}$ kg$=20{,}0$ u aproximadamente.

19 **El reloj ciclotrón**

$T=2\pi m/(qB)=2{,}62\cdot 10^{-7}$ s. No depende de v; el periodo permanece. Como $r=mv/(qB)$, el radio se duplica.

20 **El pasillo sin desviación**

$v=E/B=3{,}00\cdot 10^{5}$ m/s. Para $q>0$, $\mathbf{F}_E$ va hacia $+y$ y $\mathbf{F}_B$ hacia $-y$; para $q<0$ ambas se invierten y también se cancelan.

21 **El puente conductor**

$F=ILB=1{,}40$ N. Invertir la corriente conserva el módulo e invierte el sentido.

22 **Dos líneas que se atraen**

$F=\mu_0 I_1 I_2 L/(2\pi d)=1{,}88\cdot 10^{-4}$ N. Es atractiva porque las corrientes son paralelas y del mismo sentido.

Soluciones · Inducción electromagnética

Ejercicios 23 a 30

23 La normal, no el plano

El ángulo con la normal es 60°. S=0,0150 m²; $\Phi=BS\cos 60°=3{,}00\cdot10^{-3}$ Wb.

24 Leer una gráfica sin verla como decoración

Los módulos son 0,100 V, 0 y 0,200 V. La corriente del descenso tiene sentido opuesto a la del aumento.

25 El imán visitante

Al acercarse aumenta el flujo hacia la espira; esta presenta un polo N para repelerlo: corriente antihoraria vista desde el imán. Quieto: $\Delta\Phi=0$ y no hay corriente. Al alejarse, el sentido se invierte.

26 La bobina y la resistencia

$|\varepsilon|$=2,00 V; I=0,200 A; $Q=I\Delta t$=0,0400 C.

27 La espira cruza la frontera

$\varepsilon=B\ell v$=0,0300 V; I=0,0150 A. Para oponerse al aumento de flujo entrante, la corriente es antihoraria.

28 Dibujar la fem por etapas

Cada entrada o salida dura a/v=0,40 s. Los pulsos tienen módulo $B\ell v$=0,040 V y signos opuestos; entre ambos, ε=0.

29 Freno magnético sobre raíles

ε=0,600 V; I=0,300 A; $F=BI\ell$=0,0450 N opuesta al movimiento. $P_{mec}=Fv$=0,180 W e I^2R=0,180 W.

30 Diseñar un generador de 230 V

$\omega=\varepsilon_{máx}/(NBS)$=230 rad/s. $f=\omega/(2\pi)$=36,6 Hz.

Soluciones · Problemas completos

Problemas 1 a 6 de la sección 4

1

El dron entre tres balizas

Cada distancia es 0,50 m. $\mathbf{E}=(1{,}08\cdot10^{5}\mathbf{i}+8{,}64\cdot10^{4}\mathbf{j})$ N/C; $|\mathbf{E}|=1{,}38\cdot10^{5}$ N/C. $V=5{,}40\cdot10^{4}$ V; $W_{ext}=qV=0{,}108$ J.

2

El punto nulo que aún tiene potencial

La cancelación está a la derecha: $9/x^{2}=4/(x-1)^{2}$, de donde $x=3{,}0$ m. $V=k(9\text{ nC}/3-4\text{ nC}/2)=9{,}0$ V; $U=qV=-1{,}80\cdot10^{-5}$ J.

3

Cruzar el corredor de cables

En el origen los campos son opuestos: $\mathbf{B}=+5{,}00\cdot10^{-5}\mathbf{j}$ T. $\mathbf{v}\times\mathbf{B}$ apunta $+\mathbf{k}$ para carga positiva; para el electrón $\mathbf{F}=-1{,}60\cdot10^{-17}\mathbf{k}$ N.

4

Selector y báscula de iones

$v=E/B_1=2{,}00\cdot10^{5}$ m/s. $m=qB_2r/v=3{,}16\cdot10^{-26}$ kg$=19{,}0$ u.

5

La alarma de flujo

$\varepsilon=NS\Delta B/\Delta t=1{,}20$ V; $I=0{,}200$ A. Se crea campo entrante: corriente horaria. Energía$=I^{2}R\Delta t=0{,}0480$ J.

6

El generador del refugio

$\omega=2\pi f=157$ rad/s. $\Phi=0{,}540\cos(157t)$ Wb y $\varepsilon=84{,}8\operatorname{sen}(157t)$ V. El primer máximo ocurre cuando $\omega t=\pi/2$: $t=0{,}0100$ s.





¡Sigue practicando!

Más cuadernos, exámenes y material en

www.megajulios.com

CAMPO ELÉCTRICO

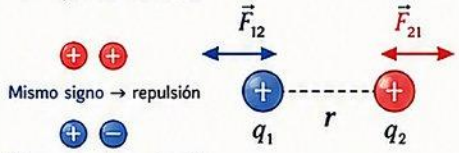
RESUMEN PAU – COMUNIDAD VALENCIANA

1. SISTEMA DE PARTÍCULAS

FUERZA ELÉCTRICA (LEY DE COULOMB)

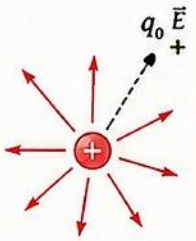
$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$k = 9{,}0 \times 10^9\ N \cdot m^2/C^2$



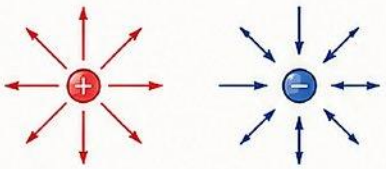
CAMPO ELÉCTRICO

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



- Fuerza que experimentaría una carga positiva q.
- Magnitud vectorial.
- Dirección: la de la fuerza sobre una carga positiva.
- Unidad: N/C = V/m

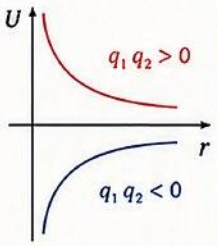
LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO



- Salen de las cargas positivas y entran en las negativas.
- No se cruzan.
- Su densidad indica la intensidad del campo.

ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA

$$U = k \frac{q_1 q_2}{r}$$



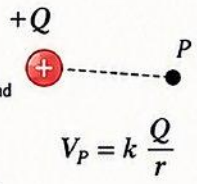
- Energía asociada a la posición de las cargas.

$U > 0$ cargas del mismo signo (repulsión)

$U < 0$ cargas de signo opuesto (atracción)

POTENCIAL ELÉCTRICO

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



- Energía potencial por unidad de carga.
- Magnitud escalar.
- Unidad: V (voltio) = J/C

TRABAJO ELÉCTRICO

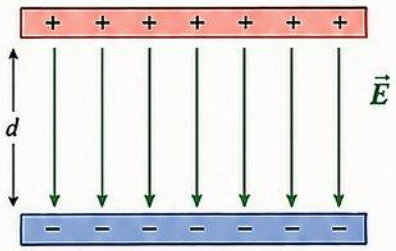
$$W = -\Delta U$$
$$W = -q\Delta V$$

- Trabajo realizado por el campo al mover una carga q.
- Si W > 0 → la energía potencial disminuye.
- Si W < 0 → la energía potencial aumenta.

2. PLACAS PARALELAS (CONDENSADOR)

CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME

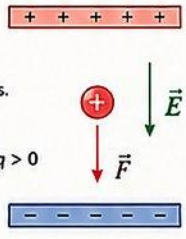
$$E = \frac{\Delta V}{d}$$



- E: intensidad del campo (N/C o V/m)
- ΔV: diferencia de potencial (V)
- d: distancia entre placas (m)
- El campo es uniforme en el interior.

FUERZA ELÉCTRICA EN UNA PLACA

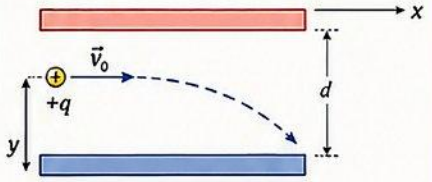
$$F = qE$$



- q: carga situada entre las placas.
- La fuerza es constante.
- Dirección: del + hacia el − si $q > 0$ (al contrario si $q < 0$).

MOVIMIENTO DE UNA CARGA ENTRE PLACAS

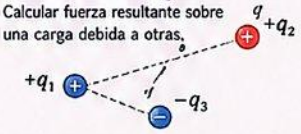
Si la carga entra con velocidad horizontal:



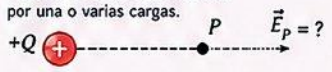
Movimiento:	MRUA verticalmente MRU horizontalmente
Trayectoria:	parabólica

3. TIPOS DE EJERCICIOS PAU

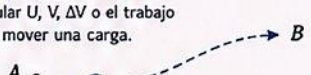
1 Fuerzas entre cargas
Calcular fuerza resultante sobre una carga debida a otras.



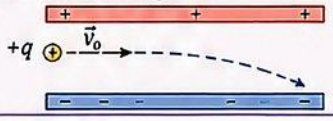
2 Campo eléctrico
Calcular el campo en un punto por una o varias cargas.



3 Energía y potencial
Calcular U, V, ΔV o el trabajo para mover una carga.



4 Placas paralelas
Calcular E, F, ΔV o estudiar el movimiento de una carga.



RELACIONES IMPORTANTES

☆ $E = \frac{F}{q}$	N/C = V/m
☆ $V = \frac{U}{q}$	
☆ $W = -q\Delta V$	1 V = 1 J/C
☆ $E = \frac{\Delta V}{d}$	1 N = 1 kg·m/s²
☆ $F = qE$	

ERRORES TÍPICOS

- ✗ Confundir campo eléctrico (vector) con potencial eléctrico (escalar).
- ✗ Olvidar el signo de las cargas.
- ✗ No indicar claramente la dirección de fuerzas o campos.
- ✗ Usar unidades incorrectas.

¡REVISA SIGNOS Y UNIDADES!

IDEAS CLAVE

El campo eléctrico describe cómo una carga ejerce fuerza sobre otra carga de prueba.

El potencial eléctrico indica la energía por unidad de carga en un punto del espacio.

El trabajo eléctrico relaciona el cambio de energía potencial con el movimiento de cargas.

FRASE PARA RECORDAR

"El campo eléctrico representa la fuerza por unidad de carga, mientras que el potencial eléctrico representa la energía por unidad de carga."

4. CAMPO MAGNÉTICO

RESUMEN DE CONCEPTOS, FÓRMULAS Y EJERCICIOS TÍPICOS (PAU)

¿QUÉ ES?

El campo magnético $\vec{B}$ es una región del espacio donde una carga en movimiento o un conductor con corriente experimenta una fuerza.

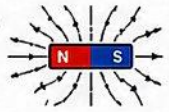
UNIDADES

$\vec{B}$ → Tesla (T)

$$1\ T = \frac{N}{A \cdot m}$$

LÍNEAS DE CAMPO

- Salen del polo N y entran en el polo S por fuera del imán.
- Nunca se cruzan.



1. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UNA CARGA EN MOVIMIENTO (FUERZA DE LORENTZ)

$$\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B} \qquad F = |q|\,v\,B\,\sin\theta$$

- $\vec{F}$ es perpendicular a $\vec{v}$ y a $\vec{B}$.
- No realiza trabajo ($W = 0$).
- Solo cambia la dirección de la velocidad.

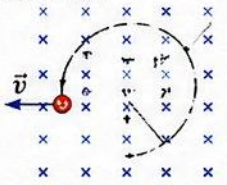
DIRECCIÓN Y SENTIDO (REGLA DE LA MANO DERECHA)



- Para $q < 0$ el sentido de $\vec{F}$ es el opuesto.

2. PARTÍCULA ENTRANDO EN UN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

Si $\vec{v} \perp \vec{B}$:



Trayectoria: circular uniforme

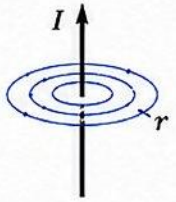
$$|q|\,v\,B = \frac{m\,v^2}{r}$$

$$r = \frac{m\,v}{|q|\,B}$$

m: masa (kg)
v: velocidad (m/s)
q: carga (C)
B: campo (T)

3. CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UN HILO CONDUCTOR RECTILÍNEO LARGO

$$B = \frac{\mu_0\,I}{2\pi r}$$



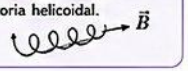
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A
- I: intensidad (A)
- r: distancia al hilo (m)
- Sentido: regla de la mano derecha (pulgar en el sentido de la corriente).

CASOS TÍPICOS

- Calcular el radio r.
- Calcular la velocidad si se conoce r.
- Determinar el tipo de trayectoria.

¡IMPORTANTE!

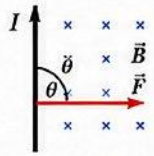
Si $\vec{v}$ no es perpendicular a $\vec{B}$:
→ trayectoria helicoidal.



4. FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UN HILO CONDUCTOR CON CORRIENTE

$$\vec{F} = I\,\vec{L} \times \vec{B}$$

$$F = B\,I\,L\,\sin\theta$$



- L: longitud del conductor (m)
- θ: ángulo entre $\vec{L}$ e $\vec{B}$
- Fuerza máxima si $\theta = 90°$
- Fuerza nula si $\theta = 0°$

ENTRE DOS HILOS PARALELOS



- Mismo sentido → se atraen
- Sentido opuesto → se repelen
- Fuerza por unidad de longitud:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0\,I_1\,I_2}{2\pi d}$$

TIPOS DE EJERCICIOS PAU

- ✅ Fuerza sobre una carga en movimiento.
- ✅ Radio de la trayectoria circular.
- ✅ Campo magnético creado por un hilo.
- ✅ Fuerza sobre un hilo conductor.
- ✅ Fuerza entre dos hilos paralelos.

ERRORES FRECUENTES

- ❌ Olvidar el seno del ángulo (sin θ).
- ❌ Confundir dirección de $\vec{F}$.
- ❌ Pensar que cambia la rapidez (no cambia).
- ❌ Olvidar unidades (T, m, s, A...).

IDEAS CLAVE

- El campo magnético actúa sobre cargas en movimiento.
- La fuerza es siempre perpendicular a $\vec{v}$ y a $\vec{B}$.
- No realiza trabajo, solo cambia la dirección.

★ CLAVE PARA EL EXAMEN: DIBUJA SIEMPRE EL ESQUEMA, INDICA DIRECCIONES Y UNIDADES ★

5. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

RESUMEN DE CONCEPTOS, FÓRMULAS Y EJERCICIOS TÍPICOS (PAU)

¿QUÉ ES?

Aparece una corriente inducida en un circuito cuando varía el flujo magnético que lo atraviesa.

CONDICIÓN NECESARIA

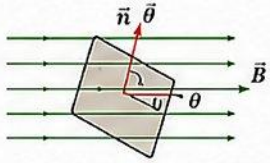
Tiene que haber **CAMBIO** de flujo ($\Delta\Phi \neq 0$).
Si el flujo es constante → no hay inducción.

FACTORES QUE PUEDEN CAMBIAR EL FLUJO

- Cambia $\vec{B}$ (módulo del campo).
- Cambia S (superficie de la espira).
- Cambia θ (orientación de la espira).
- Entra o sale de la región del campo.

1. FLUJO MAGNÉTICO

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\theta$$



- Φ: flujo magnético (Wb)
- B: campo magnético (T)
- S: superficie (m^2)
- θ: ángulo entre $\vec{B}$ y la normal $\vec{n}$
- Flujo máximo: $\theta = 0° \rightarrow \Phi = B\,S$
- Flujo nulo: $\theta = 90° \rightarrow \Phi = 0$

2. LEY DE FARADAY

FEM (fuerza electromotriz) inducida:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

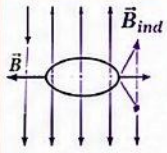
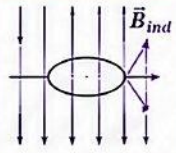
Para una bobina de N espiras:

$$\mathcal{E} = -N\,\frac{d\Phi}{dt}$$

- $\mathcal{E}$ en voltios (V)
- $\frac{d\Phi}{dt}$: variación del flujo (Wb/s)
- El signo "−" se explica con la **LEY DE LENZ.**

3. LEY DE LENZ (SENTIDO)

La corriente inducida se opone a la variación de flujo que la produce.

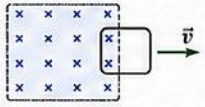
Si el flujo AUMENTA	Si el flujo DISMINUYE
La corriente inducida crea un campo que se opone al aumento.	La corriente inducida crea un campo que se opone a la disminución.
	

- Para saber el sentido de la corriente:
  1º. Determina el sentido de $\vec{B}_{ind}$ (oposición).
  2º. Aplica la regla de la mano derecha.



4. CASOS TÍPICOS EN PAU

A) ESPIRA QUE ENTRA O SALE DE UN CAMPO UNIFORME

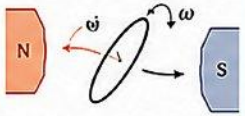


- Al entrar: Φ aumenta.
- Al salir: Φ disminuye.
- $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$ (signo → Lenz).

B) CAMPO MAGNÉTICO VARIABLE (CON ESPIRA FIJA)

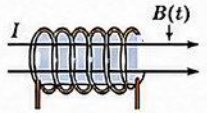
- B aumenta → Φ aumenta.
- B disminuye → Φ disminuye.
- $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$

C) ESPIRA QUE GIRA EN UN CAMPO UNIFORME



- θ cambia → cambia Φ.
- $\Phi = B\,S\cos\theta \rightarrow \mathcal{E}$ alterna.
- En una vuelta completa: $\langle\mathcal{E}\rangle = 0$.

D) BOBINA (SOLENOIDE) EN CAMPO VARIABLE



- Más espiras (N) → mayor $\mathcal{E}$.
- $\mathcal{E} = -N\,\frac{d\Phi}{dt}$

TIPOS DE EJERCICIOS PAU

- ✅ Calcular el flujo magnético.
- ✅ Calcular la fem inducida ($\mathcal{E}$).
- ✅ Determinar el sentido de la corriente (Lenz).
- ✅ Espira que entra/sale de un campo.
- ✅ Espira que gira en un campo.
- ✅ Campo magnético variable ($B(t)$).

ERRORES FRECUENTES

- ❌ Usar mal el ángulo θ (siempre con la normal).
- ❌ Olvidar el signo "−" de Faraday (Lenz).
- ❌ Pensar que se induce corriente sin cambio de flujo.
- ❌ Confundir aumento/disminución del flujo.
- ❌ Olvidar unidades (Wb, V, T, m^2...).

IDEAS CLAVE

- Corriente inducida solo si cambia el flujo.
- La fem depende de la rapidez de cambio.
- El sentido lo determina siempre la Ley de Lenz.

★ CLAVE PARA EL EXAMEN: DIBUJA EL ESQUEMA, IDENTIFICA QUÉ CAMBIA EL FLUJO Y APLICA LENZ ★

ELECTROMAGNETISMO

RESUMEN DE CONCEPTOS, FÓRMULAS Y EJERCICIOS TÍPICOS (PAU)

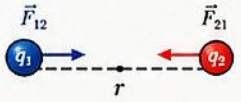
1 CAMPO ELÉCTRICO

1.1 SISTEMA DE CARGAS PUNTUALES

FUERZA ELÉCTRICA (LEY DE COULOMB)

$$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\,\hat{r}$$

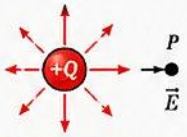
- $k = 9{,}0 \times 10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$
- $\hat{r}$: vector unitario que va de q_1 a q_2
- Cargas del mismo signo → se repelen
- Cargas de signo opuesto → se atraen



CAMPO ELÉCTRICO

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Unidad: N/C = V/m



ENERGÍA Y POTENCIAL

$$U = k\frac{q_1 q_2}{r}$$

$$V = \frac{U}{q} = k\frac{Q}{r}$$

- U: energía potencial (J)
- V: potencial (V)

1.2 TRABAJO ELÉCTRICO

$$W = -\Delta U = -q\,\Delta V$$

- Si $W < 0$ → el campo realiza trabajo
- Si $W > 0$ → trabajo externo

1.3 DIFERENCIA DE POTENCIAL

$$\Delta V = V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{l}$$

En campo uniforme: $\Delta V = E \cdot d \cdot \cos\theta$

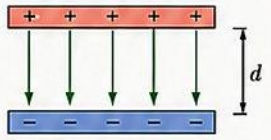
TIPOS DE EJERCICIOS

- Calcular fuerza entre cargas.
- Calcular campo eléctrico en un punto (una carga o varias).
- Calcular potencial y diferencia de potencial.
- Calcular trabajo eléctrico al mover una carga.

2 CAMPO ELÉCTRICO EN DISTRIBUCIONES CONTINUAS

2.1 CAMPO ELÉCTRICO ENTRE PLACAS PARALELAS

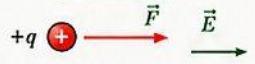
$$E = \frac{\Delta V}{d}$$



- Campo uniforme en el interior.
- E: intensidad del campo (N/C)
- ΔV: diferencia de potencial (V)
- d: distancia entre placas (m)

2.2 FUERZA ELÉCTRICA EN UNA PLACA

$$F = qE$$



- Dirección: del + hacia el − (líneas de campo)
- Si $q > 0$ → misma dirección que $\vec{E}$
- Si $q < 0$ → sentido contrario que $\vec{E}$

TIPOS DE EJERCICIOS

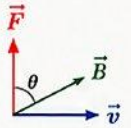
- Calcular E entre placas.
- Calcular la fuerza sobre una carga.
- Estudiar el movimiento de una carga entre placas.

3 CAMPO MAGNÉTICO (ESTÁTICO)

3.1 FUERZA MAGNÉTICA (LEY DE LORENTZ)

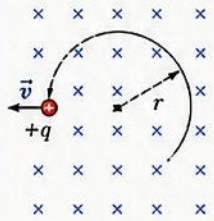
$$\vec{F} = q\,\vec{v}\times\vec{B}$$

$$F = |q|\,v\,B\sin\theta$$



- $\vec{F} \perp \vec{v}$ y $\vec{F} \perp \vec{B}$
- No realiza trabajo ($W = 0$)
- Solo cambia la dirección de $\vec{v}$

3.2 PARTÍCULA ENTRANDO PERPENDICULARMENTE A $\vec{B}$



Radio de la trayectoria

$$r = \frac{mv}{|q|B}$$

Cálculo del radio

$$|q|\,vB = \frac{mv^2}{r}$$

- m: masa (kg)
- v: velocidad (m/s)
- B: campo magnético (T)
- r: radio (m)

3.3 CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR CORRIENTES

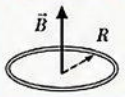
HILO RECTILÍNEO INFINITO

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



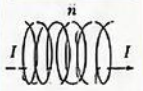
ESPIRA CIRCULAR

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



SOLENOIDE LARGO

$$B = \mu_0 n I$$



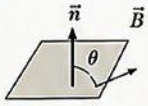
TIPOS DE EJERCICIOS

- Calcular fuerza magnética sobre una carga.
- Calcular el radio de la trayectoria.
- Calcular el campo magnético creado por corrientes.

4 INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

4.1 FLUJO MAGNÉTICO

$$\Phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = BS\cos\theta$$



- Φ: flujo magnético (Wb)
- B: campo magnético (T)
- S: superficie ($\mathrm{m^2}$)
- θ: ángulo entre $\vec{B}$ y $\vec{n}$

4.2 LEY DE FARADAY

FEM (fuerza electromotriz) inducida:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Para una bobina de N espiras:

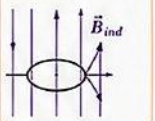
$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

- ε en voltios (V)
- $\frac{d\Phi}{dt}$: variación del flujo (Wb/s)
- El signo "−" se explica con la ley de Lenz.

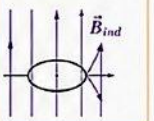
4.3 LEY DE LENZ (SENTIDO)

La corriente inducida se opone a la variación del flujo que la produce.

Si el flujo AUMENTA



Si el flujo DISMINUYE



Para saber el sentido de la corriente:

1º) Determina el sentido de $\vec{B}_{ind}$ (oposición).

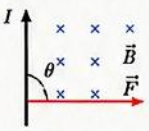
2º) Aplica la regla de la mano derecha.



4.4 FUERZA SOBRE UN CONDUCTOR CON CORRIENTE

$$\vec{F} = I\vec{L}\times\vec{B}$$

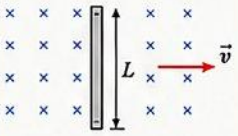
$$F = BIL\sin\theta$$



- L: longitud del conductor (m)
- θ: ángulo entre $\vec{L}$ e $\vec{B}$
- Fuerza máxima si $\theta = 90°$
- Fuerza nula si $\theta = 0°$

4.5 INDUCCIÓN EN MOVIMIENTO: FEM MOTRIZ

$$\varepsilon = BLv$$



- v: velocidad (m/s)
- L: longitud de la barra (m)
- ε: fem motriz (V)

TIPOS DE EJERCICIOS (INDUCCIÓN)

- Calcular flujo magnético.
- Calcular fem inducida.
- Determinar sentido de la corriente inducida (Lenz).
- Calcular fuerza sobre conductores con corriente.
- Calcular fem motriz en barras en movimiento.

IDEAS CLAVE

- La inducción aparece siempre que cambia el flujo magnético.
- La ley de Lenz asegura la conservación de la energía.
- El "−" de Faraday es una consecuencia física (no un signo arbitrario).

ERRORES TÍPICOS

- ✗ Olvidar el signo "−" en Faraday.
- ✗ Confundir el sentido de $\vec{B}_{ind}$ con $\vec{B}$.
- ✗ No usar la regla de la mano derecha.
- ✗ Confundir ε inducida con ε motriz.

5 RESUMEN DE FÓRMULAS CLAVE

CAMPO ELÉCTRICO

$$\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\,\hat{r} \qquad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

$$E = \frac{\Delta V}{d}\ \text{(placas)} \qquad F = qE$$

$$U = k\frac{q_1 q_2}{r} \qquad V = k\frac{Q}{r}$$

$$W = -q\,\Delta V \qquad \Delta V = -\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{l}$$

CAMPO MAGNÉTICO

$$\vec{F} = q\,\vec{v}\times\vec{B} \qquad B_{espira} = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$$F = |q|\,vB\sin\theta \qquad B_{solenoide} = \mu_0 n I$$

$$\vec{F} = I\vec{L}\times\vec{B}$$

$$F = BIL\sin\theta$$

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

$$\Phi = BS\cos\theta \qquad \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi}{dt} \qquad \vec{F} = I\vec{L}\times\vec{B}$$

$$\varepsilon = BLv$$

UNIDADES IMPORTANTES (SI)

- Carga: C (culombio)
- Campo eléctrico: N/C (o V/m)
- Potencial: V (voltio)
- Campo magnético: T (tesla)
- Flujo magnético: Wb (weber)
- Fem: V (voltio)
- Intensidad: A (amperio)
- Longitud: m (metro)
- Tiempo: s (segundo)

CONSTANTES FUNDAMENTALES

$k = 9{,}0 \times 10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$
(Constante de Coulomb)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T\cdot m/A}$
(Permeabilidad magnética del vacío)

REGLAS Y RECURSOS

- Regla de la mano derecha (Fuerza)
- Pulgar para $\vec{F}$, índice para $\vec{B}$, medio para I (o $\vec{v}$ en Lorentz).
- Dibuja siempre las direcciones.
- Esquemas claros = 50% del ejercicio.



CLAVE PARA EL EXAMEN: ENTIENDE EL FENÓMENO, IDENTIFICA LOS DATOS, ELIGE LA FÓRMULA Y APLICA BIEN LAS UNIDADES Y DIRECCIONES