Inducción electromagnética

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en **farmeandopau.com** ›

Última revisión: 1 de noviembre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

Cuando **varía el flujo magnético** que atraviesa un circuito —porque cambia el campo, el área o el ángulo — se induce una **fuerza electromotriz**: $\varepsilon = -N\,d\Phi/dt$ (**ley de Faraday-Lenz**). El signo menos es la **ley de Lenz**: la corriente inducida se opone a la variación que la produce. De ahí salen el **alternador** ($\varepsilon_{\max} = NBS\omega$), la dinamo y el **transformador** ($V_1/V_2 = N_1/N_2$). Sale en **34 de las 68 convocatorias**, en 16 comunidades: casi siempre un campo $B(t)$, una espira que gira o una varilla que se mueve, con el **sentido de la corriente**.

1 Flujo magnético: cuántas líneas de campo atraviesan una espira

Todo el tema gira alrededor de una magnitud: el **flujo magnético** Φ. Mide cuánto campo magnético «atraviesa» una superficie. Para una espira plana de área S en un campo uniforme $\vec{B}$ se define con el **vector superficie** $\vec{S} = S\,\vec{n}$, perpendicular a la espira y de módulo igual a su área.

- **Definición:** $\Phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = B\,S\cos\theta$, donde θ es el ángulo entre $\vec{B}$ y la **normal** $\vec{n}$ a la espira (no el plano). Es un **escalar**: puede ser positivo, negativo o nulo según el sentido que elijas para $\vec{n}$.
- **Unidad:** el **weber**, $1\ \mathrm{Wb} = 1\ \mathrm{T{\cdot}m^2}$. El tesla es $1\ \mathrm{T} = 1\ \mathrm{Wb/m^2}$: por eso a B se le llama también «densidad de flujo».
- **Con N espiras** iguales (una bobina), el flujo total es N veces el de una espira: $\Phi_{total} = N\,B\,S\cos\theta$. Decide si metes la N en el flujo o en la ley de Faraday, pero **solo una vez**.
- **Tres maneras de cambiar el flujo:** cambiar el módulo de $\vec{B}$ (electroimán, imán que se acerca), cambiar el área S dentro del campo (varilla que se desliza, espira que entra en el campo) o cambiar el ángulo θ (espira que gira). Las tres inducen corriente; en el examen te dirán cuál.
- **Si el campo no es uniforme** o la superficie es curva, $\Phi = \int_S \vec{B}\cdot d\vec{S}$. En los ejercicios de PAU las superficies son planas y el campo, casi siempre uniforme; Andalucía lo fija por escrito: el flujo, «limitándose al caso de superficies planas» (orientaciones 2026-27).
- **Flujo nulo no quiere decir campo nulo.** Si la espira es paralela a las líneas ($\theta = 90^\circ$), $\Phi = 0$ aunque B sea enorme. Es un verdadero/falso que Andalucía ha puesto dos veces (2025 extraordinaria y 2026 ordinaria).

LA TRAMPA DEL ÁNGULO

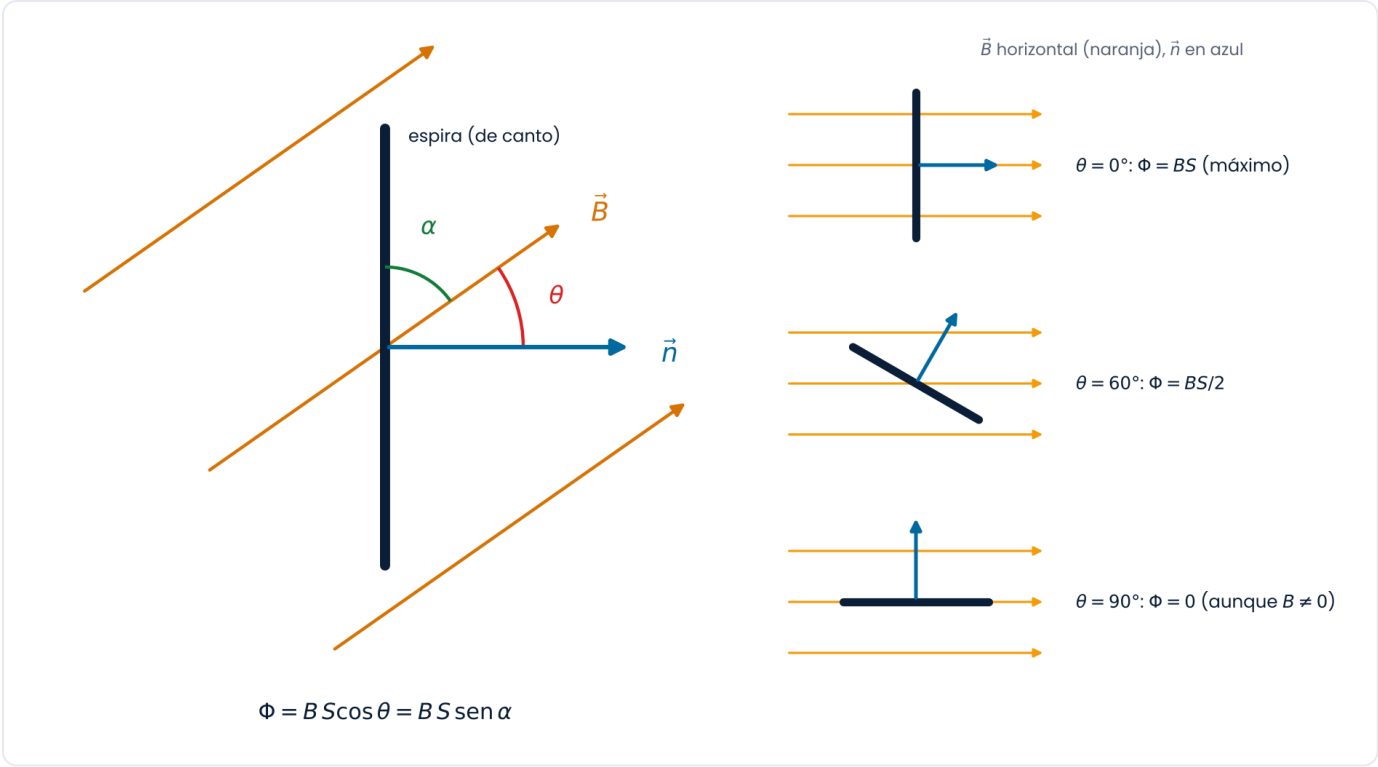
Una espira cuadrada de 10 cm de lado está en un campo uniforme de 0,50 T que forma 30° con el **plano** de la espira. Calcula el flujo.

Respuesta modelo

El ángulo con la normal es $\theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$. $S = (0{,}10\ \mathrm{m})^2 = 1{,}0\cdot10^{-2}\ \mathrm{m^2}$.

$$\Phi = BS\cos\theta = 0{,}50\cdot1{,}0\cdot10^{-2}\cdot\cos 60^\circ = 2{,}5\cdot10^{-3}\ \mathrm{Wb}$$

Por qué puntúa. Si usas $\cos 30^\circ$ te sale $4{,}3\cdot10^{-3}$ Wb, y está mal. Illes Balears (2026: el campo «forma un angle de 30° amb el pla de l'espira», forma 30° con el plano) y Canarias (2025 extraordinaria, «La dirección perpendicular al plano de la espira y el vector campo magnético forman un ángulo de 60°») juegan con esto: lee de qué ángulo te hablan y haz un dibujo de canto como el de la figura.



El ángulo del flujo. θ es el ángulo entre $\vec{B}$ y la normal $\vec{n}$; α, entre $\vec{B}$ y el plano de la espira. Como $\theta + \alpha = 90^\circ$, $\Phi = BS\cos\theta = BS\operatorname{sen}\alpha$. A la derecha, tres orientaciones: flujo máximo, la mitad y nulo.

2 Las experiencias de Faraday y Henry

En 1820 Oersted había visto que una corriente crea un campo magnético (Tema 10). La pregunta inversa —¿puede un campo magnético crear una corriente?— la respondieron **Michael Faraday** en Londres (1831) y, de forma independiente, **Joseph Henry** en Estados Unidos (lo publicó en 1832). La respuesta: sí, pero solo cuando **algo cambia**.

- **Imán y bobina (Faraday):** una bobina conectada a un galvanómetro. Si acercas el imán, la aguja se desvía; si lo dejas quieto dentro, **vuelve a cero**; si lo alejas, se desvía al otro lado. Cuanto más rápido mueves el imán, mayor es la desviación. Mover la bobina con el imán quieto da lo mismo: importa el movimiento **relativo**.
- **Dos bobinas (Faraday):** dos bobinas enrolladas sobre un mismo núcleo de hierro. Al **cerrar o abrir** el interruptor del primario aparece corriente en el secundario; con la corriente del primario **constante**, nada. Es la **inducción mutua**, la base del transformador. Henry llegó a lo mismo con electroimanes y estudió además la autoinducción: por eso se habla de **ley de Faraday-Henry**. En muchos libros de texto se llama **experiencia de Henry** a la del conductor rectilíneo que se mueve cortando las líneas de un campo magnético: es la varilla de la sección de fem de movimiento ($|\varepsilon| = BLv$). Canarias la pide en su matriz 2027: «Explica la experiencia de Henry».
- **Conclusión de las experiencias:** se induce corriente en un circuito cerrado **siempre que varía el flujo magnético** que lo atraviesa, y la corriente dura lo que dura la variación. Un campo intenso pero constante no induce nada.
- **Lo que se pregunta:** la cuestión cualitativa de Castilla-La Mancha (2025 extraordinaria y modelo 2026) con un imán muy potente y otro poco potente: «¿De qué forma registrará el amperímetro una lectura mayor, si introduce el imán potente y lo deja en reposo en el interior del hueco de la bobina o si mueve el imán menos potente alternativamente hacia dentro y hacia fuera en el hueco de la bobina?». Respuesta: con el que se mueve, porque solo hay corriente si el flujo **varía**. Galicia tiene esta práctica en su lista de la PAU 2027 y dice que estas cuestiones se plantean de forma «procedemental e cualitativa» (procedimental y cualitativa).

La idea que vale para todo el tema

Sin variación de flujo no hay fem. Antes de calcular nada pregúntate qué cambia: el campo, el área o el ángulo. Si no cambia nada, la respuesta es $\varepsilon = 0$ aunque el flujo sea grande (Comunitat Valenciana 2026 extraordinaria: espira en reposo en un campo constante).

3 Ley de Faraday-Lenz: cuánto vale la fem y hacia dónde va la corriente

La variación del flujo crea una **fuerza electromotriz inducida** ε (la fem, en voltios), que en un circuito cerrado hace circular una **corriente inducida**. Faraday dio su valor; **Heinrich Lenz** (1834), su sentido. Juntas forman la ley que usarás en todos los problemas.

- **Ley de Faraday-Lenz:**

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

  La fem es igual a la rapidez con que varía el flujo, cambiada de signo. Si el flujo varía de manera uniforme, o te piden la **fem media**, usa $\varepsilon_m = -N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

- **Ley de Lenz (el signo menos):** la corriente inducida tiene el sentido que hace que **su propio campo magnético se oponga a la variación del flujo** que la produce. No se opone al flujo, sino a su **cambio**: si el flujo crece, el campo inducido va contra $\vec{B}$; si decrece, va a favor.
- **Por qué el signo menos es obligado:** si la corriente reforzara la variación, el flujo crecería más, la corriente también, y así sin fin: se obtendría energía de la nada. La ley de Lenz es la **conservación de la energía** aplicada a la inducción. El País Vasco lo pidió en 2026: «explica el significado físico del signo negativo».
- **La intensidad:** con la resistencia R del circuito, $I = \dfrac{|\varepsilon|}{R}$ (ley de Ohm). Canarias la incluye en su matriz («Formula y enuncia la ley de Faraday, la ley de Faraday-Lenz y la ley de Ohm»); Madrid la usa «como herramienta».
- **Método para el sentido de la corriente** (el razonamiento que esperan los correctores): 1) di hacia dónde apunta $\vec{B}$; 2) di si el flujo **aumenta o disminuye**; 3) deduce el sentido del **campo inducido** (contrario si aumenta, igual si disminuye); 4) con la **regla de la mano derecha** (pulgar en el sentido del campo inducido, los dedos dan la corriente) di si es horaria o antihoraria **vista desde donde la miras**. El currículo de Aragón (orientaciones del bloque B, Orden ECD/1173/2022) recomienda la «regla del tornillo o del sacacorchos» y dice que «es recomendable evitar la "regla de la mano derecha"»: dan el mismo sentido.
- **El signo de ε depende del sentido que elijas para $\vec{n}$.** Por eso Madrid escribe en sus soluciones que, «dado que no se ha establecido ningún criterio de signos, la fuerza electromotriz puede ser tanto positiva como negativa». Lo que no se puede omitir, cuando lo piden, es el **sentido** de la corriente.

VERDADERO O FALSO (ANDALUCÍA)

Razona si son verdaderas o falsas: a) si el flujo a través de una espira es nulo, el campo magnético es nulo; b) si el flujo es muy grande, la fem inducida es muy grande.

Respuesta modelo

a) **Falso.** $\Phi = BS\cos\theta$ se anula si $\theta = 90^\circ$ (espira paralela al campo) aunque $B \neq 0$. b) **Falso.** Por la ley de Faraday-Lenz, $\varepsilon = -d\Phi/dt$ depende de **lo rápido que cambia** el flujo, no de su valor: un flujo enorme pero constante da $\varepsilon = 0$, y un flujo nulo que está cambiando (espira que gira y pasa por $\Phi = 0$) da la fem **máxima**.

Por qué puntúa. La a) cayó en Andalucía 2025 extraordinaria y 2026 ordinaria; la b) es la de 2025 extraordinaria (en 2026 ordinaria, «la fuerza electromotriz inducida será no nula si el flujo es no nulo»: también falso, por lo mismo). Afirmar sin justificar con la ley no puntúa.

FEM MEDIA AL ANULAR UN CAMPO

Una bobina de 200 espiras de 3,0 cm de radio está en un campo de 0,40 T paralelo a su eje. El campo se anula de manera uniforme en 0,10 s. Calcula la fem media. ¿Y si el campo se invierte (de 0,40 T a -0,40 T) en el mismo tiempo?

Respuesta modelo

$S = \pi r^2 = \pi(0{,}030)^2 = 2{,}83 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2$. $\Delta\Phi = (0 - 0{,}40) \cdot S = -1{,}13 \cdot 10^{-3}$ Wb por espira.

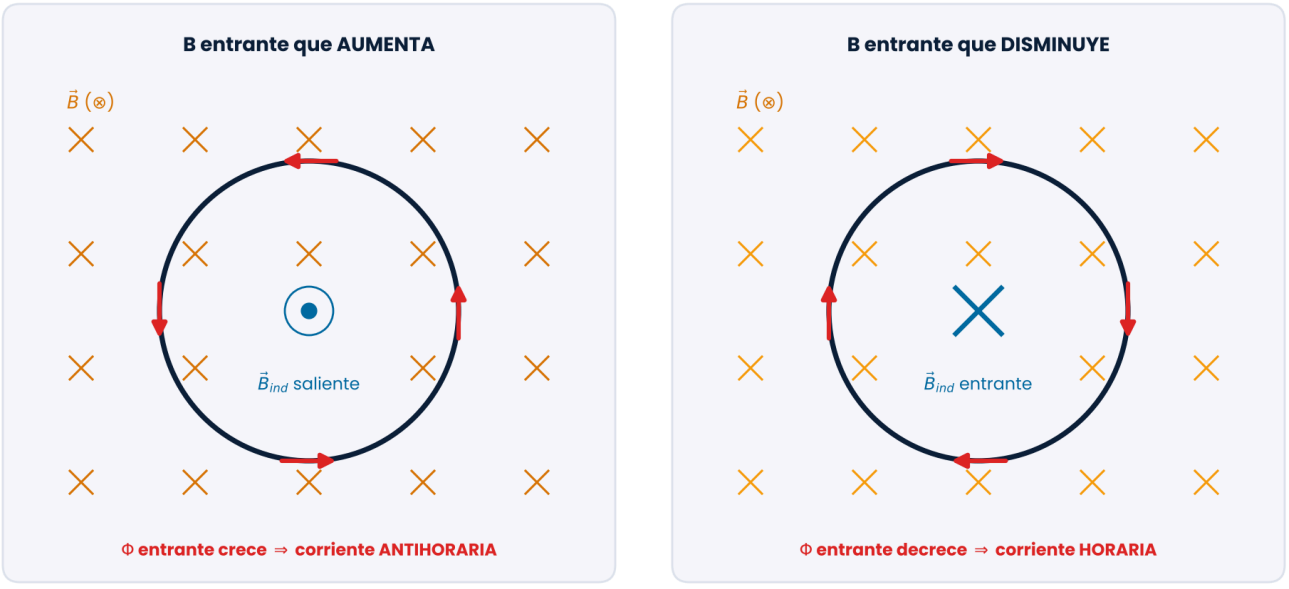
$$\varepsilon_m = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -200 \cdot \frac{-1{,}13 \cdot 10^{-3}}{0{,}10} = 2{,}26\ \text{V}$$

Si se invierte, $\Delta B = -0{,}80$ T: la variación es el doble y $\varepsilon_m = 4{,}52$ V.

Por qué puntúa. Invertir el campo no es «anularlo»: el flujo pasa de $+BS$ a $-BS$, $\Delta\Phi = -2BS$. Es justo lo que preguntaron Aragón (2025 ordinaria) y Castilla y León (2025 ordinaria).

El signo y el sentido según la comunidad

Madrid acepta la fem con cualquier signo (soluciones de los modelos 2026 y 2027). **Aragón** la acepta positiva («Se considerará válido el resultado positivo», solución de 2025 ordinaria) y el **País Vasco** escribe en su solucionario de 2026 «Se acepta trabajar en módulo». **Extremadura** pide «el valor» y aclara que se entiende el valor absoluto, pero «se admite igualmente el resultado con signo negativo» (criterios de 2026 extraordinaria). Pero en la **Comunitat Valenciana** el criterio del modelo 2027 (opción 2B, apartado c) reparte «0,3 la expresión de la ley de Faraday-Lenz, 0,2 el significado del signo negativo, 0,3 el razonamiento del sentido de la corriente y 0,2 el dibujo»: el signo y el sentido son puntos aparte.



Ley de Lenz con un campo entrante. Si el flujo entrante aumenta, el campo inducido sale del papel y la corriente es antihoraria; si disminuye, el campo inducido entra y la corriente es horaria (siempre vista desde el lado del lector).

4 Campo que varía con el tiempo: B(t) en fórmula o en gráfica

Es el tipo de problema que más cae: la espira está quieta y lo que cambia es el **módulo del campo**. Te dan $B(t)$ como función (polinómica, senoidal, exponencial) o como **gráfica**. El área y el ángulo son constantes, así que $\Phi(t) = N\,S\cos\theta\;B(t)$ y $\varepsilon = -NS\cos\theta\,\dfrac{dB}{dt}$.

- **Con una gráfica B(t)**, la fem en cada tramo es **menos el área por la pendiente**: tramo recto creciente → fem constante y de un signo; tramo horizontal → $\varepsilon = 0$ aunque B sea máximo; tramo decreciente → fem de signo

contrario. El tramo **más inclinado** da la fem (y la corriente) mayor. Así fueron Madrid 2026 extraordinaria (resuelto abajo), Murcia 2025 ordinaria, Asturias 2025 extraordinaria y la Comunitat Valenciana 2025 ordinaria.

- **Una fem constante** solo sale si $B(t)$ es **lineal** (pendiente constante). Si $B = at^2$, la fem crece con t; si B es constante, no hay fem.
- **Si te dan la gráfica de la fem o del flujo** y te preguntan cómo varía el otro (Comunitat Valenciana 2025: extraordinaria de la DANA y reserva), recuerda que ε es la pendiente de $\Phi(t)$ cambiada de signo: donde Φ es máximo o mínimo, $\varepsilon = 0$.
- **Canarias** fija en su matriz qué funciones pueden salir: «La dependencia temporal del campo incluirá funciones de tipo polinómico, exponenciales senos y cosenos». Madrid usó la exponencial $B_0 e^{-t/\tau}$ (2025, examen coincidente).

Geometría

área de la espira (πr^2 o l^2, en m²) y ángulo entre $\vec{B}$ y la normal.

↓

Flujo en función del tiempo

$\Phi(t) = N\,B(t)\,S\cos\theta$ (con su unidad, Wb).

↓

Deriva

$\varepsilon(t) = -\,d\Phi/dt$. Polinomio: $\frac{d}{dt}(at^2) = 2at$. Seno: $\frac{d}{dt}\,\mathrm{sen}(\omega t) = \omega\cos(\omega t)$. Exponencial: $\frac{d}{dt}e^{-t/\tau} = -\frac{1}{\tau}e^{-t/\tau}$.

↓

Sustituye el instante que piden (en segundos; la calculadora en **radianes** si hay senos o cosenos).

↓

Intensidad y sentido

$I = |\varepsilon|/R$ y sentido por Lenz (crece o decrece B en ese instante).

CAMPO POLINÓMICO

Una espira circular de 5,0 cm de radio está en un campo perpendicular a su plano cuyo módulo es $B(t) = 0{,}20 + 0{,}30\,t^2$ (SI). Calcula la fem en $t = 2{,}0$ s.

Respuesta modelo

$S = \pi(0{,}050)^2 = 7{,}85\cdot10^{-3}\ \mathrm{m^2}$ y $\theta = 0^\circ$. $\Phi(t) = 7{,}85\cdot10^{-3}\,(0{,}20 + 0{,}30\,t^2)$ Wb.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -7{,}85\cdot10^{-3}\cdot0{,}60\,t = -4{,}71\cdot10^{-3}\,t\ \mathrm{V}$$

En $t = 2{,}0$ s: $\varepsilon = -9{,}42\cdot10^{-3}$ V $\approx -9{,}4$ mV.

Por qué puntúa. El término constante (0,20 T) desaparece al derivar: un campo constante no induce nada.

CAMPO SENOIDAL

Una bobina de 50 espiras de 0,020 m² está en un campo perpendicular $B(t) = 0{,}050\,\mathrm{sen}(100\pi t)$ T. Escribe $\varepsilon(t)$ y su valor máximo.

Respuesta modelo

$\Phi(t) = NBS = 50\cdot0{,}020\cdot0{,}050\,\mathrm{sen}(100\pi t) = 5{,}0\cdot10^{-2}\,\mathrm{sen}(100\pi t)$ Wb.

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -5{,}0\cdot10^{-2}\cdot100\pi\cos(100\pi t) = -15{,}7\cos(100\pi t)\ \mathrm{V}$$

$\varepsilon_{\max} = 15{,}7$ V.

Por qué puntúa. Es el principio de la **placa de inducción** (Andalucía 2026 extraordinaria) y del transformador: un campo que oscila induce una fem que oscila con la misma frecuencia.

5 Fem de movimiento: varilla que se desliza y espira que entra en un campo

Ahora el campo es constante y lo que cambia es el **área** del circuito dentro del campo. Hay dos montajes que caen: la **varilla** que se desliza sobre unos raíles (conductor en U) y la **espira** que entra en una región con campo, la atraviesa y sale.

- **La varilla:** con raíles separados L y la varilla a una distancia x del extremo, el área es $S = Lx$ y $\Phi = BLx$. Si se mueve con velocidad v:

  $$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -BL\frac{dx}{dt} \Rightarrow |\varepsilon| = B\,L\,v$$

  Cantabria 2025 dio 0,8 de 1 punto solo por el planteamiento: $\Phi = B \cdot S(t)$ (0,2), la superficie $S(t) = d \cdot v \cdot t$ (0,2) y la ley de Faraday (0,4).
- **Lo mismo, visto con Lorentz (Tema 9):** cada electrón de la varilla se mueve con ella y nota $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$, que lo empuja a lo largo de la varilla. La varilla se comporta como una pila de fem vBL. Es una buena justificación cuando te piden «razona».
- **La fuerza que frena:** por la varilla pasa una corriente I y el campo ejerce sobre ella $\vec{F} = I\,\vec{L} \times \vec{B}$ (Tema 10), de módulo ILB. Por la ley de Lenz **siempre se opone al movimiento**: para mantener v constante hay que empujar. La potencia mecánica Fv se convierte en eléctrica εI y acaba en calor en la resistencia, I^2R. Es el **freno magnético** de las montañas rusas (Navarra 2026 extraordinaria).
- **Espira que entra en un campo** con velocidad v: mientras entra, el área dentro crece a ritmo Lv y $|\varepsilon| = BLv$; **completamente dentro** el flujo no cambia y $\varepsilon = 0$ (aunque el flujo sea máximo); mientras **sale**, $|\varepsilon| = BLv$ de nuevo, con la corriente en **sentido contrario**. Es el resuelto de Cataluña 2026 y los modelos 2026-2027 de Madrid.
- **Espira junto a un hilo con corriente:** el campo del hilo disminuye con la distancia ($B = \mu_0 I/(2\pi d)$, Tema 10). Si la espira se mueve **paralela** al hilo, el flujo no cambia y no hay corriente; si **se aleja**, el flujo disminuye y sí la hay (Andalucía 2026 extraordinaria; con intensidad del hilo creciente, Andalucía 2025 reserva).

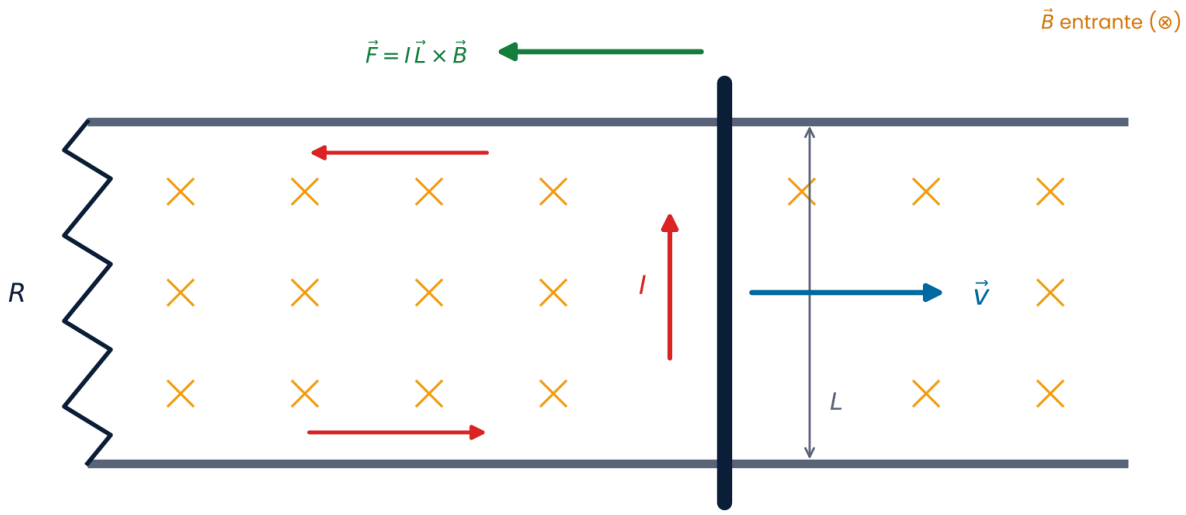
VARILLA, CORRIENTE, FUERZA Y POTENCIA

Una varilla de 0,40 m se desliza a 2,0 m/s sobre unos raíles unidos por una resistencia de 4,0 Ω, en un campo de 0,50 T perpendicular al circuito. Calcula la fem, la intensidad, la fuerza magnética sobre la varilla y la potencia disipada.

Respuesta modelo

$\varepsilon = BLv = 0{,}50 \cdot 0{,}40 \cdot 2{,}0 = 0{,}40$ V. $I = \varepsilon/R = 0{,}40/4{,}0 = 0{,}10$ A. $F = ILB = 0{,}10 \cdot 0{,}40 \cdot 0{,}50 = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ N, opuesta a $\vec{v}$. Potencia: $Fv = 2{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 2{,}0 = 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ W, igual a $\varepsilon I = 0{,}40 \cdot 0{,}10$ y a $I^2R = 0{,}10^2 \cdot 4{,}0$.

Por qué puntúa. Que las tres potencias coincidan es la ley de Lenz hecha números: la energía eléctrica sale del trabajo de quien empuja la varilla.



Varilla que se desliza en un campo entrante. Al moverse hacia la derecha, el área y el flujo entrante crecen: el campo inducido sale y la corriente es antihoraria (sube por la varilla). La fuerza $I\vec{L} \times \vec{B}$ sobre la varilla apunta hacia la izquierda: frena el movimiento.

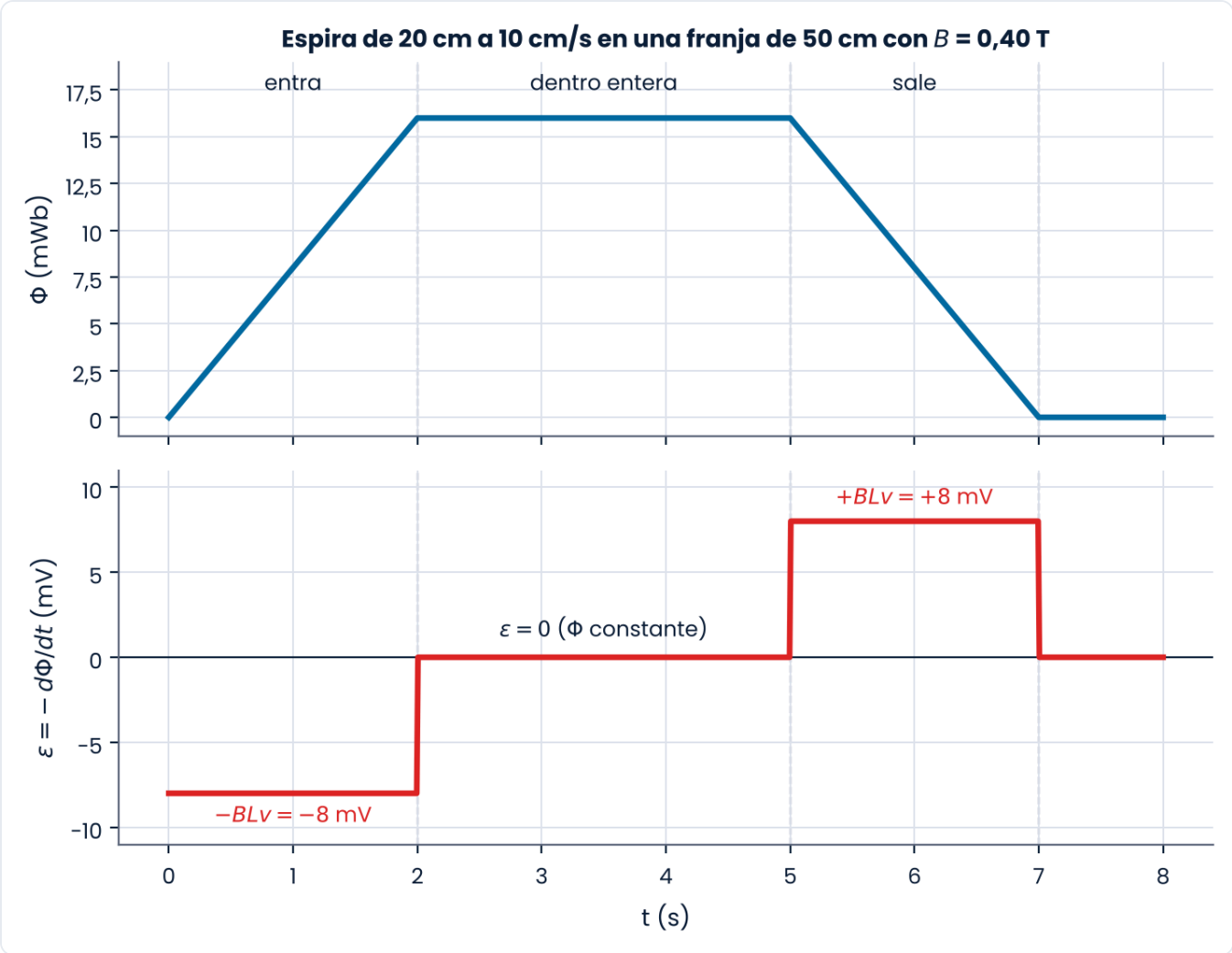
6 Espira que atraviesa una región con campo: la gráfica de la fem

Cuando te piden **representar** la fem frente al tiempo (Cataluña 2026, Castilla y León 2025), divide el movimiento en tramos y en cada uno pregunta si el flujo crece, está quieto o decrece. La figura lo hace con datos propios: espira de 20 cm de lado, a 10 cm/s, que cruza una franja de 50 cm con $B = 0{,}40$ T.

- **El valor absoluto** de la fem es el mismo al entrar y al salir porque la velocidad es la misma; lo que cambia es el **sentido** de la corriente. Cataluña pide «el valor absoluto de la fuerza electromotriz» y luego el sentido aparte.

Tramo	Qué pasa	Flujo	Fem
0–2 s	El lado delantero entra (avanza 20 cm)	Crece de 0 a $BL^2 = 1{,}6 \cdot 10^{-2}$ Wb	$-BLv = -8{,}0$ mV
2–5 s	La espira está entera dentro	Constante, $1{,}6 \cdot 10^{-2}$ Wb	0
5–7 s	El lado delantero sale	Decrece hasta 0	$+BLv = +8{,}0$ mV
Desde 7 s	Fuera del campo	0	0

El tiempo de cada tramo sale de dividir la distancia entre la velocidad: entrar cuesta L/v; empezar a salir, D/v (D es la anchura de la franja); salir del todo, $(D + L)/v$.



Flujo y fem de una espira que cruza una franja con campo. El flujo sube, se mantiene y baja; la fem es la pendiente del flujo cambiada de signo: un escalón negativo al entrar, cero dentro y un escalón positivo al salir. La corriente cambia de sentido al salir.

7 Espira que gira: el alternador y la corriente alterna

Si una espira (o una bobina de N espiras) gira con velocidad angular constante ω en un campo uniforme, el ángulo entre $\vec{B}$ y la normal cambia: $\theta = \omega t + \varphi_0$. El flujo oscila y la fem que se induce es **alterna**. Es el **generador** de las centrales eléctricas y de los aerogeneradores.

- **Flujo:** $\Phi(t) = N\,B\,S\cos(\omega t + \varphi_0)$. Si en $t = 0$ la espira es perpendicular al campo (flujo máximo), $\varphi_0 = 0$; si es paralela (flujo nulo), $\Phi = NBS\,\mathrm{sen}(\omega t)$. Lee bien cómo empieza: Andalucía 2026 dice «Considere que en t = 0 s el flujo es máximo».
- **Fem:** derivando,

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = N\,B\,S\,\omega\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi_0), \qquad \varepsilon_{\max} = N\,B\,S\,\omega$$

  La fem máxima crece con el número de espiras, el campo, el área y la **rapidez de giro**.
- **Desfase de un cuarto de periodo:** cuando el flujo es **máximo** (espira perpendicular), la fem es **nula**; cuando el flujo es **nulo** (espira paralela al campo), la fem es **máxima**, porque ahí el flujo cambia más deprisa.
- **Unidades de la velocidad angular:** pásala a rad/s. $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$; con revoluciones por minuto, $\omega = \mathrm{rpm} \cdot \frac{2\pi}{60}$ (3000 rpm $= 100\pi \approx 314$ rad/s, 50 Hz). Extremadura dio 0,25 puntos solo por pasar las rpm a rad/s (2026 extraordinaria).
- **Proporcionalidades** que se preguntan como cuestión: si se triplica el lado de una espira cuadrada, el área y $\varepsilon_{\max}$ se multiplican por 9; si se cuadruplica la frecuencia de giro, $\varepsilon_{\max}$ se multiplica por 4 (Andalucía 2026, reserva). La intensidad máxima es $I_{\max} = \varepsilon_{\max}/R$.

- **Alternador y dinamo:** en el **alternador** la bobina se une al circuito exterior con dos anillos y la corriente cambia de sentido cada medio periodo (alterna). En la **dinamo** un **conmutador** (anillo partido o delgas) invierte la conexión cada media vuelta y la corriente sale siempre en el mismo sentido (continua, aunque pulsante). La Comunitat Valenciana y Cantabria piden demostrar «el carácter periódico de la corriente alterna en un alternador a partir de la representación gráfica de la fuerza electromotriz inducida en función del tiempo».
- **La red española** funciona en alterna a 50 Hz: el Reglamento electrotécnico para baja tensión (Real Decreto 842/2002, art. 4) fija «La frecuencia empleada en la red será de 50 Hz» y la tensión de 230 V entre fase y neutro.

FRECUENCIA PARA UNA FEM MÁXIMA (CASTILLA-LA MANCHA 2026)

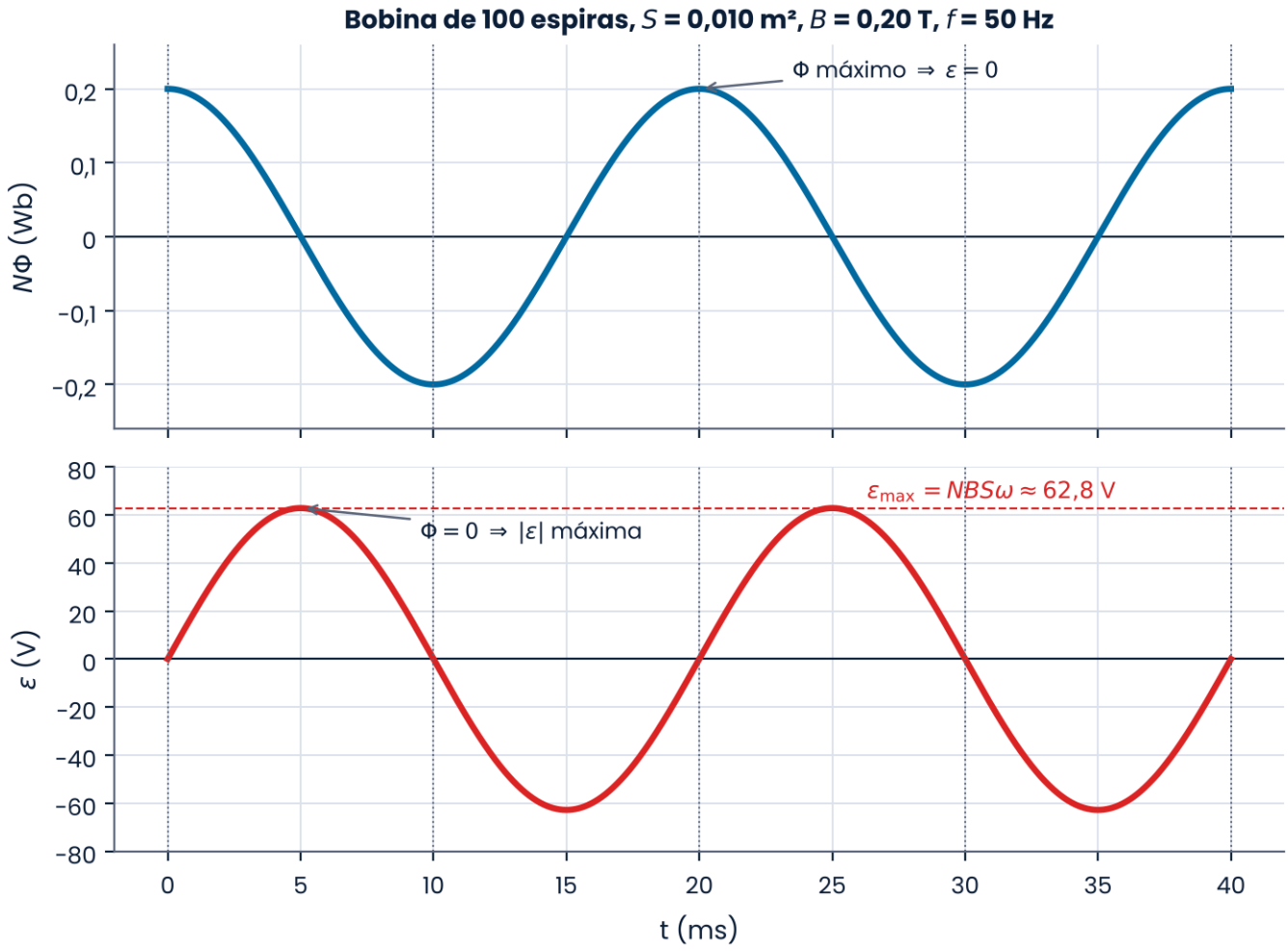
Una bobina de 300 espiras circulares de 2 cm de radio gira en un campo magnético uniforme de 0,5 T. ¿Cuál debería ser su frecuencia para inducir una fuerza electromotriz máxima de 12 V?

Respuesta modelo

$\varepsilon_{\max} = NBS\omega = NBS \cdot 2\pi f$, con $S = \pi(0{,}02)^2 = 1{,}257 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2$.

$$f = \frac{\varepsilon_{\max}}{2\pi NBS} = \frac{12}{2\pi \cdot 300 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-3}} = 10{,}1\ \text{Hz}$$

Por qué puntúa. Es la pregunta fija B1 de la extraordinaria de 2026 (0,5 puntos, obligatoria). La solución oficial da $f = 10{,}13$ Hz.



Flujo y fem de una bobina que gira. 100 espiras de 0,010 m² en un campo de 0,20 T, a 50 Hz. El flujo es un coseno y la fem un seno de amplitud $NBS\omega = 62{,}8$ V: la fem se anula cuando el flujo es máximo y es máxima cuando el flujo pasa por cero.

8 Autoinducción, inducción mutua, motores y corrientes de Foucault

El RD 243/2022 pide entender el «funcionamiento de motores, generadores y transformadores a partir de sistemas donde se produce una variación del flujo magnético». Aquí van las ideas que faltan para explicarlos; en problemas numéricos no han caído en 2025–2026.

- **Autoinducción:** una bobina con corriente I crea su propio flujo, proporcional a ella: $N\Phi = L\,I$. Si I cambia, se induce en la propia bobina una fem $\varepsilon = -L\,\dfrac{dI}{dt}$ que se opone al cambio (Lenz). L es el **coeficiente de autoinducción** y se mide en **henrios** (1 H = 1 Wb/A). Por eso salta una chispa al desconectar un circuito con una bobina.
- **Inducción mutua:** si dos bobinas están cerca, la corriente variable de una induce fem en la otra. Es la experiencia de las dos bobinas de Faraday y el principio del transformador. Extremadura la nombra en sus aspectos curriculares («Inducción mutua. El transformador elemental»).
- **El motor eléctrico** es un generador al revés: se le da corriente, el campo ejerce un par sobre la espira (Tema 10) y la hace girar. Al girar, la espira induce en sí misma una fem que se opone a la corriente que la alimenta (**fuerza contraelectromotriz**). Muchas máquinas pueden funcionar como motor o como generador.
- **Corrientes de Foucault:** en una pieza metálica maciza dentro de un campo variable se inducen corrientes en remolino. Calientan el metal: es la **placa de inducción** (en Andalucía 2026 extraordinaria, un campo de 25 000 Hz). Frenan imanes y piezas en movimiento: **frenos magnéticos** de trenes y atracciones. Y son una pérdida en los transformadores, por eso su núcleo se hace de **chapas** aisladas.
- **Otros contextos:** el sensor ABS de una rueda (Andalucía 2026, reserva), los aerogeneradores, los cargadores inalámbricos o los detectores de metales.

9 El transformador y el transporte de la energía eléctrica

Un **transformador** tiene dos bobinas enrolladas en un mismo núcleo de hierro: el **primario** (N_1 espiras), conectado a una tensión alterna V_1, y el **secundario** (N_2 espiras). La corriente alterna del primario crea en el núcleo un flujo variable que atraviesa el secundario e induce en él una tensión alterna de la **misma frecuencia**.

- **Relación de tensiones:** el flujo por espira es el mismo en las dos bobinas, así que la fem es proporcional al número de espiras:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

  Si $N_2 > N_1$ es **elevador**; si $N_2 < N_1$, **reductor**.
- **Transformador ideal** (sin pérdidas): la potencia se conserva, $V_1 I_1 = V_2 I_2$, y las intensidades van al revés que las tensiones: $\dfrac{I_1}{I_2} = \dfrac{N_2}{N_1}$. Subir la tensión es bajar la intensidad.
- **Solo funciona con corriente alterna.** Con continua el flujo del núcleo es constante y en el secundario no se induce nada (salvo al conectar y desconectar). Es una pregunta de razonar clásica.
- **Por qué se transporta en alta tensión:** la potencia perdida en los cables es $P_{pérdida} = I^2 R$. Para llevar la misma potencia $P = VI$, multiplicar la tensión por 20 divide la intensidad entre 20 y las pérdidas entre $20^2 = 400$. Por eso las centrales elevan la tensión, la red la transporta muy alta y las subestaciones y los transformadores de distribución la bajan hasta los 230 V de casa.
- **En España** la red de transporte es, en la península, la de 220 kV o más (en los sistemas no peninsulares, desde 66 kV): la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico (art. 34) define el transporte primario con «tensiones nominales iguales o superiores a 380 kV» (las líneas de 400 kV) y el secundario con las de «iguales o superiores a 220 kV», y establece que «Red Eléctrica de España, S.A., actuará como transportista único». Navarra lo preguntó con una línea de 100 kV y su subestación (2025 ordinaria, en «Ponte a prueba»).
- **Murcia** pide **describir** el fundamento del transformador: sus especificaciones 2027 (B6 d) dicen «Describir el campo magnético en el interior de un solenoide infinito cuando la intensidad de la corriente eléctrica cambia

sinusoidalmente y la fuerza electromotriz generada en una espira perpendicular al eje como fundamento de los transformadores» (no dice «solo»: no es una limitación). **Madrid** excluye los circuitos de alterna («No circuitos de corriente alterna», directrices de 2025-26; pendiente de confirmar para 2027), no los transformadores.

CARGADOR DE 12 V

Un transformador ideal se conecta a 230 V y su primario tiene 1150 espiras. ¿Cuántas espiras necesita el secundario para dar 12 V? Si el secundario entrega 2,0 A, ¿qué intensidad pasa por el primario?

Respuesta modelo

$N_2 = N_1\frac{V_2}{V_1} = 1150 \cdot \frac{12}{230} = 60$ espiras. Conservación de la potencia: $I_1 = I_2\frac{V_2}{V_1} = 2{,}0 \cdot \frac{12}{230} = 0{,}104$ A.

Por qué puntúa. Reductor: menos tensión y más intensidad en el secundario.

PÉRDIDAS EN UNA LÍNEA

Hay que transportar 100 MW por una línea de 1,0 Ω de resistencia. Compara las pérdidas si se transporta a 400 kV y a 20 kV.

Respuesta modelo

A 400 kV: $I = P/V = 10^8/(4{,}00 \cdot 10^5) = 250$ A y $P_{pérdida} = I^2R = 250^2 \cdot 1{,}0 = 6{,}25 \cdot 10^4$ W (el 0,06 %). A 20 kV: $I = 5000$ A y $P_{pérdida} = 5000^2 \cdot 1{,}0 = 2{,}5 \cdot 10^7$ W, ¡el 25 %!

Por qué puntúa. Con 20 veces más tensión, 400 veces menos pérdidas. Datos inventados para el ejemplo; la idea es la que pide el RD.

10 Qué te piden en tu comunidad

La inducción ha salido en **34 de las 68 convocatorias** ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en **16 comunidades** (en La Rioja no ha caído en esos dos años, pero está en su matriz). Lo más habitual es una pregunta o un apartado de 1–2,5 puntos dentro del bloque de campo electromagnético (desde la pregunta fija de 0,5 puntos de Castilla-La Mancha).

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que tienes que saber
Andalucía	En las cuatro: varilla (2025 ord.), verdadero/falso de flujo y fem (2025 extr., 2026 ord.), aerogenerador (2026 ord.), espira junto a un hilo y placa de inducción (2026 extr.).	Flujo «limitándose al caso de superficies planas»; cuestiones sobre la polaridad de la fem y su origen. Motores y transformadores no se citan en las orientaciones (no hay exclusión).
Aragón	2025 ord.: bobina con un campo que se invierte y área que se reduce a la mitad. Modelo 2026: varilla.	Se acepta la fem positiva. Cada unidad que falte: -0,1.
Asturias	2025 extr.: gráfica B(t) triangular (flujo máximo, cuándo es mayor la fem, intensidad y sentido). También en el modelo 2025.	La ficha incluye gráficas de flujo o fem, el generador de alterna y el transformador. Sin unidad en el resultado: -0,25.
Illes Balears	2025 ord.: fem en una espira de 5 mm con $B(t) = 60\cos(70t + 0{,}8)$ mT y dos orientaciones; 2026 ord.: fem con $B(t) = 2{,}50\cos(20t + 0{,}51)$ T a 30° del plano de la espira.	El formulario da $\varepsilon = -d\phi/dt$. En 2027 la pregunta 2 se elige entre eléctrico y magnético. El modelo 2027 repite la pregunta de 2026 con «680 ms» donde 2026 decía 680 µs (posible errata, sin corrección oficial).
Canarias	2025 extr.: espira con $B(t) = 5\cos(3\pi t)$ a 60° (también en los modelos 2026 y 2027).	$B(t)$ polinómica, exponencial, seno o coseno; intensidad con la ley de Ohm. Desde 2027, tres cifras significativas.
Cantabria	2025 ord.: varilla y fuerza sobre ella; 2025 extr.: bobina con $B(t) = 0{,}5t(1 - t)$. En 2026 la pregunta de magnetismo fue de Lorentz.	Concreción 24: alternador y gráfica de la fem. Planteamiento 80 %, resultado 20 %; sin unidades, -10 %.

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que tienes que saber
Castilla-La Mancha	2025 extr.: imán y bobina (cualitativa); 2026 ord.: espira que gira; 2026 extr.: frecuencia para una fem máxima (B1). Modelo 2027: $B = 2\cos(2\pi t)$.	Piden «Deducir el flujo magnético». La pregunta fija B1 (0,5) puede ser $\varepsilon_{\max} = NBS\omega$.
Castilla y León	2025 ord.: campo que se invierte (fem media); 2025 extr.: $B(t) = 0{,}02 + 0{,}08t^2$ a 30° del eje y gráfica de la fem.	La matriz cita flujo, Faraday y Lenz, alternador y gráfica de la fem. Errores leves: -0,1 (máximo 20 % de la pregunta por tipo).
Cataluña	2025 ord. y extr.: barra sobre un conductor en U (fem, sentido, fuerza); 2026 extr.: espira que atraviesa una franja.	Errores u olvidos de unidades: -0,25 por problema; resultados con 6 o más cifras o con una sola: -0,1.
Comunitat Valenciana	2025 ord.: gráfica B(t), dibujo del campo y de la corriente; 2026 extr.: espira en reposo (por qué no hay corriente).	Su documento de orientación añade el alternador con la gráfica fem–t. Planteamiento 60 %, resultado 40 %.
Extremadura	2025 extr.: varilla y $B(t)$ senoidal; 2026 extr.: espira que gira a 75 rpm. Modelo 2027: $B = 0{,}04t^2$ y Lenz.	Aspectos curriculares: generador, alternador, inducción mutua y transformador elementales. Fallo de unidades: -50 % de la cuestión en los criterios de 2025 y 2026 (los generales de 2026-27 solo mantienen el tope de 1 punto por examen).
Galicia	2025 extr.: test sobre cuándo es máximo el flujo. Modelo 2025: test sobre en qué caso es mayor la fem.	Prácticas de Faraday y Henry y de la corriente alterna, «procedemental e cualitativa». Planteamiento 75 %, cálculo 25 %.
La Rioja	No ha caído en 2025–2026 ni en el modelo.	Está en la matriz (flujo, Faraday-Lenz, alternador, par sobre una espira). Su guía 2025-26 dice que «no se pedirán demostraciones» (pendiente de confirmar para 2027).
Madrid	2025 ord.: espira que gira y campo senoidal (intensidad máxima); 2026 extr.: gráfica B(t). Modelos 2026-2027: espira que entra en el campo.	«No circuitos de corriente alterna»; «Ley de Ohm como herramienta» (directrices de 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). La fem puede darse con cualquier signo.
Murcia	2025 ord.: elegir la gráfica B(t) que da fem constante; 2026 ord.: flujo antes y después de girar 45°; 2026 extr.: $B = 3t^3 + 2$ y sentido.	Transformadores: las Especificaciones 2027 piden «Describir» su fundamento (B6 d), sin «solo». En las preguntas de texto, 0,2 puntos dependen de la ortografía.
Navarra	2025 ord.: transformador de 100 kV a 25 kV; 2026 ord.: $B = 0{,}5t$ en una espira triangular; 2026 extr.: freno magnético.	Preguntas largas que mezclan electrostática, magnetismo e inducción. Equivocarte de ley deja la pregunta a 0.
País Vasco	2025 extr.: bobina con $B(t) = 0{,}5t + 0{,}8t^2$; 2026 ord.: microgenerador (obligatorio y competencial, resuelto abajo).	Piden enunciar la ley de Faraday-Lenz, explicar el signo menos y deducir. Unidades: -0,1.

Fuentes: investigación de los documentos oficiales 2025-26 y 2026-27 de cada comisión (enlaces en las fuentes del tema). «No ha caído» no quiere decir que no entre: ningún documento oficial excluye la inducción en ninguna comunidad.

11 Ejercicio resuelto: microgenerador de una estación meteorológica, B(t) y espira que gira (País Vasco 2026)

PAU PAÍS VASCO 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PROBLEMA 2, B1 (BLOQUE B, OBLIGATORIO Y SIN OPCIONALIDAD; 2,5 PUNTOS)

Una estación meteorológica instalada en una zona de montañosa aislada de la red eléctrica alimenta sus sensores con un microgenerador electromagnético. El dispositivo consiste en una espira circular plana de radio R=6.0 cm, montada sobre un eje de giro dentro de un campo magnético uniforme. Durante las pruebas de laboratorio, el equipo de ingeniería ensaya el prototipo en dos configuraciones: • **Configuración I** (caracterización): La espira permanece fija, inicialmente situada en el plano XY. Un electroimán genera un campo magnético $\vec{B}$ dirigido en el sentido positivo del eje OZ, cuyo módulo varía con el tiempo según $B(t)$ =3t^2 (B en teslas, t en segundos). • **Configuración II** (modo generador): El campo magnético, de módulo constante B_0=8.0 mT, está creado por imanes permanentes y dirigido en el sentido positivo del eje OZ. La

espira gira alrededor del eje OY con velocidad angular constante ω=60 rad/s, partiendo del plano XY en el instante t=0.

a) Para diseñar el sistema de detección de la señal eléctrica del generador, los ingenieros necesitan conocer los fundamentos de la inducción electromagnética. 1. Expresa matemáticamente el flujo del campo magnético a través de una superficie plana inmersa en un campo uniforme. Escribe su expresión matemática e indica el significado de cada magnitud. (0.25 puntos) 2. Enuncia la ley de Faraday-Lenz de la inducción electromagnética y explica el significado físico del signo negativo en la expresión de la fuerza electromotriz inducida. (0.25 puntos) (0,50 puntos)

b) Configuración I, Caracterización - electroimán variable. 1. Justifica que, cuando el dispositivo está en esta configuración, el ángulo entre $\vec{B}$ y el vector unitario normal a la espira, $\hat{n}$, es constante, e indica su valor. Escribe la expresión del flujo magnético a través de la espira en función del tiempo. (0.25 puntos) 2. Deduce, aplicando la ley de Faraday, la expresión de la fuerza electromotriz inducida en la espira en función del tiempo. (0.25 puntos) 3. Calcula el valor numérico de la fem inducida en el instante t=7.0 ms. Expresa los resultados en notación científica con dos decimales e indica sus unidades. (0.50 puntos) (1,00 puntos)

c) Configuración II - modo generador. 1. Escribe la expresión del flujo magnético a través de la espira en función del tiempo y, a partir de ella, deduce la expresión de la fem inducida. Calcula el valor de la fem en el instante t=7.0 ms. (0.50 puntos) 2. Las especificaciones técnicas del sensor meteorológico exigen que el generador proporcione una fem máxima de al menos 0.50 mV. Indica si el prototipo actual cumple este requisito. (0.50 puntos) (1,00 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** es teoría pura y vale medio punto: definición del flujo y enunciado de la ley con el porqué del signo.
2. **1. Flujo:** $\Phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = B\,S\cos\theta$, con $\vec{S} = S\,\hat{n}$. B: módulo del campo (T); S: área de la superficie (m²); θ: ángulo entre $\vec{B}$ y la normal $\hat{n}$. Unidad: weber (1 Wb = 1 T·m²). En general, $\Phi = \int_S \vec{B}\cdot d\vec{S}$.
3. **2. Ley de Faraday-Lenz:** la fem inducida en un circuito es igual a la rapidez con que varía el flujo magnético que lo atraviesa, cambiada de signo: $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi}{dt}$.
4. **El signo menos (Lenz):** la corriente inducida circula en el sentido en que su propio campo magnético **se opone a la variación del flujo** que la produce. Es una consecuencia de la conservación de la energía: si la reforzara, la corriente crecería sin aporte de energía.

SOLUCIÓN $\Phi = BS\cos\theta$ (Wb) y $\varepsilon = -d\Phi/dt$ (V); el signo menos expresa la ley de Lenz.

Apartado b)

1. **La idea:** la espira está quieta y solo cambia el **módulo** de $\vec{B}$: flujo $\Phi(t) = B(t)\,S$, y la fem es su derivada cambiada de signo.
2. **1. Ángulo:** la espira está en el plano XY, así que su normal es $\hat{n} = \vec{k}$ (o $-\vec{k}$). El campo apunta según $+OZ$: $\vec{B} \parallel \hat{n}$ y $\theta = 0^\circ$ (o 180° con la otra normal). Es **constante** porque la espira no se mueve y el campo no cambia de dirección, solo de módulo.
3. Área: $S = \pi R^2 = \pi(0{,}060)^2 = 1{,}131\cdot10^{-2}\ \mathrm{m}^2$. Flujo:

$$\Phi(t) = B(t)\,S\cos 0^\circ = 3t^2\cdot\pi(0{,}060)^2 = 3{,}39\cdot10^{-2}\,t^2\ \mathrm{Wb}$$

4. **2. Ley de Faraday:**

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -6\pi R^2\,t = -6{,}79\cdot10^{-2}\,t\ \mathrm{V}$$

(el solucionario escribe $-0{,}0678\,t$ porque dobla el 0,0339 ya redondeado).

5. **3. En $t = 7{,}0$ ms $= 7{,}0 \cdot 10^{-3}$ s:** $\varepsilon = -6{,}786 \cdot 10^{-2} \cdot 7{,}0 \cdot 10^{-3} = -4{,}75 \cdot 10^{-4}$ V. Con «dos decimales» en notación científica: $|\varepsilon| = 4{,}75 \cdot 10^{-4}$ V $= 0{,}475$ mV. El solucionario oficial da «4.7 × 10⁻⁴ V = 0.47 mV» (con un solo decimal).
6. **Sentido (no lo piden, pero se razona igual):** el flujo según $+Z$ crece, así que el campo inducido apunta a $-Z$ y la corriente es **horaria vista desde** $+Z$.

SOLUCIÓN $\theta = 0^\circ$ constante; $\Phi(t) = 3{,}39 \cdot 10^{-2}\, t^2$ Wb; $\varepsilon(t) = -6{,}79 \cdot 10^{-2}\, t$ V; en 7,0 ms, $|\varepsilon| = 4{,}75 \cdot 10^{-4}$ V.

Apartado c)

1. **La idea:** ahora el campo es constante y lo que cambia es el **ángulo**: la espira gira y es un alternador.
2. **1. Flujo:** en $t = 0$ la espira está en el plano XY ($\hat{n} \parallel \vec{B}$, flujo máximo). Al girar alrededor de OY con ω constante, el ángulo entre $\hat{n}$ y $\vec{B}$ es $\theta = \omega t$:

$$\Phi(t) = B_0 S \cos(\omega t) = 8{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}131 \cdot 10^{-2} \cos(60t) = 9{,}05 \cdot 10^{-5} \cos(60t)\ \text{Wb}$$

3. **Fem:**

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = B_0 S \omega \,\text{sen}(\omega t) = 5{,}43 \cdot 10^{-3} \,\text{sen}(60t)\ \text{V}$$

4. **En $t = 7{,}0$ ms:** $\omega t = 60 \cdot 7{,}0 \cdot 10^{-3} = 0{,}42$ rad (**calculadora en radianes**): $\text{sen}(0{,}42) = 0{,}408$ y $\varepsilon = 5{,}43 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}408 = 2{,}21 \cdot 10^{-3}$ V $\approx 2{,}2$ mV.
5. **2. Fem máxima:** $\varepsilon_{\max} = B_0 S \omega = 5{,}43 \cdot 10^{-3}$ V $= 5{,}4$ mV. Como $5{,}4\ \text{mV} > 0{,}50\ \text{mV}$, el prototipo **cumple** el requisito, con un margen de más de diez veces.

SOLUCIÓN $\Phi(t) = 9{,}05 \cdot 10^{-5} \cos(60t)$ Wb; $\varepsilon(t) = 5{,}43 \cdot 10^{-3} \,\text{sen}(60t)$ V; $\varepsilon(7{,}0\ \text{ms}) = 2{,}2$ mV; $\varepsilon_{\max} = 5{,}4$ mV > 0,50 mV: cumple.

Lo que puntúa. Solucionario y criterios de la UPV/EHU (ordinaria 2026): a.1 0,25 «Definición de flujo magnético»; a.2 0,25 «Ley de Faraday-Lenz y signo negativo»; b.1 0,25 «Ángulo constante y Φ(t) Configuración I»; b.2 0,25 «Deducción fem ε(t)» («Se acepta trabajar en módulo»); b.3 0,50 por el cálculo a 7 ms; c.1 «0.25 — Expresiones» y «0.25 — Cálculo»; c.2 0,50 «Análisis fem máxima y viabilidad». Criterios generales: «Cálculo simbólico antes que numérico», «Unidades ausentes o incorrectas: -0.1 puntos» y «Errores de redondeo y cifras significativas: -0.1 puntos».

Error típico que te quita puntos. Calcular $\text{sen}(0{,}42)$ con la calculadora en **grados** (sale $7{,}3 \cdot 10^{-3}$ en lugar de 0,408 y una fem 56 veces menor), no pasar los milisegundos a segundos o los centímetros a metros, y en el b) decir que el ángulo es 90° porque «la espira está en el plano XY y el campo en el eje Z»: el ángulo es con la **normal**, que es paralela a Z.

12 Ejercicio resuelto: espira que entra y sale de un campo, flujo y gráfica de la fem (Cataluña 2026)

PAU CATALUÑA 2026 · CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA · EJERCICIO 2, OPCIÓN B (A ELEGIR ENTRE A Y B; 2,5 PUNTOS; VERSIÓN EN CASTELLANO PUBLICADA POR LA COMISIÓN)

Una espira cuadrada de 10,0 cm de lado se mueve a una velocidad constante de 5,00 cm s⁻¹ y entra en una región donde existe un campo magnético uniforme, perpendicular al plano de la página y dirigido hacia el interior. El módulo del campo magnético es de 5,00 mT. La anchura de la región con campo magnético es de 30,0 cm. Se toma como instante inicial t = 0 s, el momento en que la espira comienza a entrar en la región con campo magnético. [Figura: la espira, de 10 cm × 10 cm, avanza hacia la derecha con velocidad $\vec{v}$; en $t = 0$ su lado derecho toca el borde izquierdo de una franja de 30 cm de anchura con el campo $\vec{B}$ entrante (⊗).]

2.1) Calcule el valor absoluto del flujo magnético que atraviesa la espira en los instantes t = 1,00 s, t = 5,00 s y t = 7,00 s. (1,25 puntos)

2.2) Represente en la cuadrícula de abajo el valor absoluto de la fuerza electromotriz inducida en función del tiempo durante los primeros 9,00 s. Justifique el sentido de la corriente inducida en los diferentes intervalos en los que se genera la fuerza electromotriz. (1,25 puntos)

Apartado 2.1)

1. **La idea:** el campo es uniforme y perpendicular a la espira ($\theta = 0^\circ$), así que $|\Phi| = B\,S_{dentro}$, donde S_{dentro} es la parte de la espira que está en la franja en cada instante.
2. **Cronología** con $v = 5{,}00$ cm/s: el lado delantero avanza $x = vt$. La espira tarda $10{,}0/5{,}00 = 2{,}00$ s en entrar entera; está entera dentro hasta que el lado delantero llega al final de la franja ($30{,}0/5{,}00 = 6{,}00$ s) y termina de salir en $40{,}0/5{,}00 = 8{,}00$ s.
3. $t = 1{,}00$ **s:** han entrado $x = 5{,}00$ cm: $S = 10{,}0 \cdot 5{,}00 = 50{,}0\ \text{cm}^2 = 5{,}00 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2$. $|\Phi| = 5{,}00 \cdot 10^{-3}\ \text{T} \cdot 5{,}00 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2 = 2{,}50 \cdot 10^{-5}$ Wb.
4. $t = 5{,}00$ **s:** $x = 25{,}0$ cm: la espira está entera dentro, $S = 1{,}00 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2$ y $|\Phi| = 5{,}00 \cdot 10^{-5}$ Wb.
5. $t = 7{,}00$ **s:** $x = 35{,}0$ cm: el lado delantero ya ha salido 5,0 cm y quedan dentro $40{,}0 - 35{,}0 = 5{,}0$ cm. $S = 5{,}00 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2$ y $|\Phi| = 2{,}50 \cdot 10^{-5}$ Wb.

SOLUCIÓN $|\Phi(1\ \text{s})| = 2{,}50 \cdot 10^{-5}$ Wb; $|\Phi(5\ \text{s})| = 5{,}00 \cdot 10^{-5}$ Wb; $|\Phi(7\ \text{s})| = 2{,}50 \cdot 10^{-5}$ Wb.

Apartado 2.2)

1. **La idea:** por la ley de Faraday solo hay fem mientras el flujo **cambia**, es decir, mientras la espira entra (0–2 s) o sale (6–8 s).
2. **Entrando (0–2 s):** $\Phi(t) = B\,l\,vt$, así que $|\varepsilon| = \left|\dfrac{d\Phi}{dt}\right| = Blv = 5{,}00 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}100 \cdot 0{,}0500 = 2{,}50 \cdot 10^{-5}$ V.
3. **Saliendo (6–8 s):** $\Phi(t) = Bl(0{,}400 - vt)$ y $|\varepsilon| = Blv = 2{,}50 \cdot 10^{-5}$ V, el mismo valor porque la velocidad es la misma.
4. **Entre 2 y 6 s y después de 8 s:** el flujo es constante (máximo o nulo) y $\varepsilon = 0$.
5. **La gráfica:** dos rectángulos de altura $2{,}50 \cdot 10^{-5}$ V, uno entre 0 y 2 s y otro entre 6 y 8 s; cero en el resto hasta 9 s. Rotula los ejes con magnitud y unidad ($|\varepsilon|$ en V o en 10^{-5} V; t en s).
6. **Sentido al entrar:** el flujo entrante **aumenta**; por la ley de Lenz el campo inducido es **saliente** y, por la regla de la mano derecha, la corriente es **antihoraria**.
7. **Sentido al salir:** el flujo entrante **disminuye**; el campo inducido es **entrante** (a favor de $\vec{B}$) y la corriente es **horaria**.

SOLUCIÓN $|\varepsilon| = 2{,}50 \cdot 10^{-5}$ V entre 0 y 2 s (corriente antihoraria) y entre 6 y 8 s (horaria); $\varepsilon = 0$ entre 2 y 6 s y desde 8 s.

Lo que puntúa. Pauta oficial de corrección (en catalán; traducida): en 2.1, 0,5 por definir el flujo como el producto escalar del campo por el área de la espira y 0,25 por cada uno de los tres flujos (nota a los correctores: no se penaliza usar directamente $|\phi| = B \cdot S$ sin justificarlo). En 2.2, 0,5 por aplicar la ley de Faraday a los dos intervalos (entrando y saliendo), 0,25 por razonar que entre 2 y 6 s y después de 8 s la fem es nula, y 0,25 por cada sentido: «antihorari» al entrar y «horari» al salir. Criterios generales: «Un o més errors d'unitats o no posar-les (resultats intermedis i finals) en un problema es penalitzaran amb 0,25 punts» (uno o más errores de unidades, -0,25 por problema) y resultados con 6 o más cifras significativas o con una sola, -0,1.

Error típico que te quita puntos. Pensar que la fem es máxima cuando la espira está entera dentro (es cuando el **flujo** es máximo, pero no cambia: $\varepsilon = 0$), o creer que empieza a salir a los 8 s, cuando el lado trasero llega al final de la franja

(empieza a salir a los 6 s, cuando el lado delantero cruza el borde, y termina a los 8 s). Otro clásico: dar el mismo sentido de corriente al entrar y al salir.

13 Ejercicio resuelto: fem por tramos a partir de una gráfica B(t), intensidad y sentido (Madrid 2026)

PAU COMUNIDAD DE MADRID 2026 · CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 3.B (BLOQUE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO; A ELEGIR ENTRE 3.A Y 3.B; 2,5 PUNTOS)

Una espira circular de área S = 10 cm² se sitúa perpendicular a un campo magnético $\vec{B}$ tal y como se muestra en la Figura (a). Por otra parte, en la Figura (b) se muestra la variación con el tiempo del campo magnético. [Figura (a): espira circular en un campo $\vec{B}$ perpendicular al papel y dirigido hacia dentro ($\otimes$). Figura (b): B (mT) frente a t (ms): sube en línea recta de 0 a 60 mT entre 0 y 5 ms, se mantiene en 60 mT hasta 20 ms y baja en línea recta hasta 0 en 30 ms.]

a) Calcule la fuerza electromotriz inducida en la espira en los intervalos de tiempo (0, 5) ms, (5, 20) ms y (20, 30) ms. (1,5 puntos)

b) Si la resistencia de la espira es de 2 Ω, determine la intensidad de corriente eléctrica, indicando el sentido de esta, para los intervalos de tiempo (0, 5) ms y (20, 30) ms. (1 punto)

Apartado a)

1. **La idea:** la espira está quieta y es perpendicular al campo ($\theta = 0^\circ$): $\Phi = B\,S$ y $\varepsilon = -S\,\dfrac{dB}{dt}$. En cada tramo recto, dB/dt es la **pendiente** de la gráfica, $\Delta B/\Delta t$.
2. $S = 10\ \text{cm}^2 = 10 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2 = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2$.
3. **(0, 5) ms:** $\dfrac{\Delta B}{\Delta t} = \dfrac{60 \cdot 10^{-3}\ \text{T}}{5 \cdot 10^{-3}\ \text{s}} = 12$ T/s. $\varepsilon = -1{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = -1{,}2 \cdot 10^{-2}$ V $= -12$ mV.
4. **(5, 20) ms:** B es constante (60 mT) y la espira no se mueve: el flujo no varía y $\varepsilon = 0$, aunque el campo sea el máximo.
5. **(20, 30) ms:** $\dfrac{\Delta B}{\Delta t} = \dfrac{-60 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} = -6$ T/s. $\varepsilon = -1{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot (-6) = +6 \cdot 10^{-3}$ V $= 6$ mV.

SOLUCIÓN $\varepsilon = -12$ mV en (0, 5) ms, $\varepsilon = 0$ en (5, 20) ms y $\varepsilon = +6$ mV en (20, 30) ms (el signo depende del sentido elegido para la normal).

Apartado b)

1. **Intensidad (ley de Ohm):** $I = |\varepsilon|/R$.
2. **(0, 5) ms:** $I = \dfrac{12 \cdot 10^{-3}}{2} = 6 \cdot 10^{-3}$ A $= 6$ mA. **Sentido:** el campo entrante **aumenta**; la corriente inducida crea un campo **saliente** que se opone al aumento: corriente **antihoraria** vista desde el lector.
3. **(20, 30) ms:** $I = \dfrac{6 \cdot 10^{-3}}{2} = 3 \cdot 10^{-3}$ A $= 3$ mA. **Sentido:** el campo entrante **disminuye**; el campo inducido es **entrante**, a favor de $\vec{B}$: corriente **horaria**.
4. El tramo de subida es el doble de inclinado que el de bajada: por eso la corriente es el doble.

SOLUCIÓN 6 mA en sentido antihorario en (0, 5) ms y 3 mA en sentido horario en (20, 30) ms.

Lo que puntúa. Madrid publica una solución orientativa («Documento de trabajo orientativo») con -12 mV, 0 y 6 mV en a) y 6 mA antihoraria y 3 mA horaria en b), pero no un reparto por pasos. Sus criterios específicos dicen que se tendrá en cuenta «el proceso seguido en la resolución de las mismas, valorándose positivamente la identificación de los principios y leyes físicas involucradas», que «Se valorará la destreza en la obtención de resultados numéricos y el uso correcto de las

unidades en el Sistema Internacional» y que la nota de cada apartado va «desglosada en múltiplos de 0,1 puntos». Nombra la ley de Faraday-Lenz, escribe $\Phi = BS$ y razona el sentido con Lenz: sin sentido, el b) no está completo.

Error típico que te quita puntos. No pasar los mT a T y los ms a s (aquí se compensan en la pendiente, pero no en el área: 10 cm² no son 10^{-2} m², son 10^{-3} m²), decir que en (5, 20) ms la fem es máxima «porque el campo es máximo», o dar el mismo sentido de corriente en los dos tramos.

Conceptos clave

Flujo magnético

Magnitud escalar que mide el campo magnético que atraviesa una superficie: $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS\cos\theta$, con θ el ángulo entre $\vec{B}$ y la normal a la superficie. Se mide en webers.

Weber

Unidad SI del flujo magnético: $1\ \mathrm{Wb} = 1\ \mathrm{T{\cdot}m^2}$.

Vector superficie

Vector perpendicular a una superficie plana cuyo módulo es su área: $\vec{S} = S\,\vec{n}$.

Inducción electromagnética

Aparición de una fuerza electromotriz (y de una corriente, si el circuito está cerrado) cuando varía el flujo magnético que atraviesa un circuito. La descubrieron Faraday (1831) y Henry (publicado en 1832).

Fuerza electromotriz inducida

Energía por unidad de carga que la variación de flujo comunica a las cargas de un circuito; se mide en voltios. $\varepsilon = -N\,d\Phi/dt$.

Ley de Faraday-Lenz

La fem inducida en un circuito es igual a la rapidez con que varía el flujo magnético que lo atraviesa, cambiada de signo: $\varepsilon = -d\Phi/dt$.

Ley de Lenz

La corriente inducida circula en el sentido en que su campo magnético se opone a la variación del flujo que la produce. Es una consecuencia de la conservación de la energía.

Fem de movimiento

Fem que aparece en un conductor que se mueve en un campo magnético; para una varilla de longitud L con velocidad v perpendicular a $\vec{B}$, $|\varepsilon| = BLv$.

Alternador

Generador en el que una bobina gira en un campo magnético (o un imán gira dentro de una bobina) y produce una fem alterna $\varepsilon = NBS\omega\,\mathrm{sen}(\omega t)$.

Dinamo

Generador de corriente continua: como el alternador, pero con un conmutador que invierte la conexión cada media vuelta para que la corriente salga siempre en el mismo sentido.

Corriente alterna

Corriente cuyo sentido se invierte periódicamente; la de la red española es de 50 Hz.

Transformador

Dispositivo de dos bobinas sobre un núcleo de hierro que cambia el valor de una tensión alterna: $V_1/V_2 = N_1/N_2$. No funciona con corriente continua.

Autoinducción

Fem inducida en un circuito por la variación de su propia corriente: $\varepsilon = -L\,dI/dt$, con L en henrios.

Inducción mutua

Fem inducida en un circuito por la variación de la corriente de otro circuito cercano. Es el principio del transformador.

Corrientes de Foucault

Corrientes en remolino inducidas en una pieza metálica maciza por un flujo variable. Calientan el metal (placas de inducción) y frenan su movimiento (frenos magnéticos).

MODO PAU

Siete claves que valen puntos

Dibujo primero

Espira de canto, $\vec{B}$ y la **normal** $\vec{n}$: el ángulo del flujo es con la normal. Si te dan el ángulo con el plano, usa su complementario.

Qué cambia

Antes de derivar, di si cambia B, el área o el ángulo. Si no cambia nada, $\varepsilon = 0$ **aunque el flujo sea máximo**.

Ley escrita

Escribe $\Phi = BS\cos\theta$ y $\varepsilon = -N\,d\Phi/dt$ **antes** de sustituir. En el País Vasco y en la Comunitat Valenciana el enunciado de la ley y el signo menos puntúan aparte.

Sentido con Lenz

Cuatro pasos: sentido de $\vec{B}$, ¿el flujo **crece o decrece**?, campo inducido (contrario o igual), regla de la mano derecha. Di **desde dónde** miras («antihoraria vista desde $+Z$»).

Espira que gira

$\Phi = NBS\cos(\omega t)$ y $\varepsilon = NBS\omega\,\mathrm{sen}(\omega t)$; $\varepsilon_{\max} = NBS\omega$. rpm → rad/s ($\times 2\pi/60$) y **calculadora en radianes**.

Unidades

cm² → m² ($10\ \mathrm{cm}^2 = 10^{-3}\ \mathrm{m}^2$), mT → T, ms → s. **Extremadura** quitó el 50 % de la cuestión por un fallo de unidades en 2025 y 2026; **Cataluña**, 0,25 por problema.

Transformador

$V_1/V_2 = N_1/N_2$ y, si es ideal, $V_1 I_1 = V_2 I_2$. Solo con **alterna**. Alta tensión porque las pérdidas son I^2R.

Cómo te lo pueden preguntar

- Inducción con la ley de Faraday-Lenz (flujo, fem, intensidad y sentido de la corriente en cualquiera de sus montajes): sale en **33 de las 68 convocatorias** ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en **16 comunidades** (todas menos La Rioja). Contando también generadores y transformadores, el tema sale en 34 de 68.
- Espira o bobina quieta en un **campo que varía con el tiempo**, dado como función $B(t)$ (polinómica, senoidal, exponencial) o como gráfica: es el montaje más repetido; en 2025–2026 ha caído en Andalucía, Aragón, Asturias, Illes Balears, Canarias, Cantabria, Castilla y León, la Comunitat Valenciana, Extremadura, Madrid, Murcia, Navarra y el País Vasco.
- **Generadores y transformadores** (espira que gira con fem alterna, $\varepsilon_{\max} = NBS\omega$, o relación de espiras de un transformador): sale en **7 de las 68 convocatorias**, en **6 comunidades** (Andalucía, Castilla-La Mancha, Extremadura, Madrid, Navarra y el País Vasco).
- **Fem de movimiento**: varilla que se desliza sobre un conductor en U o espira que entra en un campo, con la fuerza que frena: Andalucía (2025 ordinaria), Cantabria (2025 ordinaria), Cataluña (2025 ordinaria y extraordinaria, 2026 extraordinaria), Extremadura (2025 extraordinaria) y Navarra (2026 extraordinaria); también en los modelos de Aragón (2026) y Madrid (2026 y 2027).
- **Cuestiones sin cálculo** (verdadero/falso de flujo y fem, imán y bobina, cuándo es máximo el flujo, por qué no hay corriente, espira junto a un hilo): Andalucía (2025 extraordinaria, 2026 ordinaria y extraordinaria), Castilla-La Mancha (2025 extraordinaria), Galicia (2025 extraordinaria), la Comunitat Valenciana (2026 extraordinaria) y Murcia (2026 ordinaria).

No lo confundas

- **Flujo con fem:** el flujo dice cuánto campo atraviesa la espira; la fem, lo deprisa que **cambia**. Flujo máximo puede ir con fem nula, y flujo nulo con fem máxima (espira que gira).
- **Ángulo con la normal con ángulo con el plano:** $\Phi = BS\cos\theta$ usa el ángulo con la normal; si te dan el ángulo α con el plano, $\Phi = BS\,\mathrm{sen}\,\alpha$.
- **Campo nulo con flujo nulo:** una espira paralela al campo tiene flujo nulo aunque el campo sea intenso.
- **Ley de Faraday con ley de Lenz:** Faraday da el **valor** de la fem; Lenz, el **sentido** de la corriente (el signo menos).
- **Oponerse al flujo con oponerse a su variación:** el campo inducido no va siempre contra $\vec{B}$; va contra $\vec{B}$ solo si el flujo crece. Si decrece, va a favor.

- **Fem con intensidad:** la fem existe aunque el circuito esté abierto; la corriente necesita circuito cerrado y vale $I = \varepsilon/R$.
- **Alternador con dinamo:** los dos giran una bobina en un campo; el alternador da alterna (anillos) y la dinamo continua (conmutador).
- **Generador con motor:** el generador convierte trabajo mecánico en energía eléctrica (inducción); el motor, energía eléctrica en trabajo (par sobre una espira con corriente, Tema 10).
- **Frecuencia con velocidad angular:** $\omega = 2\pi f$; 50 Hz son $100\pi \approx 314$ rad/s, y 1500 rpm son 50π rad/s (25 Hz).

Ponte a prueba

PAU Andalucía 2026 (ordinaria), Ejercicio B, apartado b1 (a elegir entre b1 y b2; 1,5 puntos). En un parque eólico del estrecho de Gibraltar, un aerogenerador posee una espira circular de área 40 cm² que gira a 1500 rpm alrededor de un eje que pasa por su diámetro y es perpendicular a un campo magnético uniforme de módulo 0,25 T. La espira tiene una resistencia de 10 Ω. Considere que en t = 0 s el flujo es máximo. i) (0,75 puntos) Determine el flujo magnético en función del tiempo. ii) (0,75 puntos) Calcule la fuerza electromotriz y la intensidad de corriente inducida en la espira en función del tiempo. ¿La corriente en la espira es continua o alterna?

Solución: i) $S = 40\ \text{cm}^2 = 4{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2$; $\omega = 1500 \cdot \dfrac{2\pi}{60} = 50\pi \approx 157$ rad/s. Al girar, el ángulo entre $\vec{B}$ y la normal es ωt y, como el flujo es máximo en $t = 0$,

$$\Phi(t) = BS\cos(\omega t) = 0{,}25 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-3}\cos(50\pi t) = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\cos(50\pi t)\ \text{Wb}$$

ii) Ley de Faraday-Lenz: $\varepsilon(t) = -\dfrac{d\Phi}{dt} = BS\omega\,\text{sen}(\omega t) = 0{,}157\,\text{sen}(50\pi t)$ V. Ley de Ohm: $I(t) = \varepsilon/R = 1{,}57 \cdot 10^{-2}\,\text{sen}(50\pi t)$ A. La corriente es **alterna**: cambia de sentido cada medio periodo, con $f = \omega/2\pi = 25$ Hz. Los criterios de Andalucía son generales (sin reparto por pasos): valoran la explicación de la situación y de las leyes, los esquemas y las unidades, y quitan 0,1 por cada unidad ausente o incorrecta, hasta 0,25 en cada apartado b).

PAU Navarra 2025 (ordinaria), Pregunta 2.B (a elegir entre 2.B y 2.C; 1,5 puntos). Las líneas de alta tensión conectan subestaciones eléctricas, donde se realiza el cambio de tensión necesario para el transporte de la energía. Dado un cable de alta tensión de 100 kV que admite una corriente máxima de 500 A, calcular: a) (0.5 puntos) La intensidad del campo magnético que genera la corriente a 50 m del cable. b) (1 punto) Si la bobina del primario del transformador tiene 2500 espiras, ¿cuál será el número de espiras del secundario necesario para reducir el voltaje hasta una línea de media tensión de 25 kV? ¿Cuál es la potencia suministrada? Datos: μ_0 = 4π·10⁻⁷ TmA⁻¹ ; K = 8,99·10⁹ Nm²C⁻²

Solución: a) Campo de un hilo rectilíneo (ley de Ampère, Tema 10): $B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi d} = \dfrac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500}{2\pi \cdot 50} = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ T, con líneas circulares alrededor del cable. **b)** Transformador: $\dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{N_1}{N_2} \Rightarrow N_2 = N_1\dfrac{V_2}{V_1} = 2500 \cdot \dfrac{25}{100} = 625$ espiras (reductor). Potencia (transformador ideal, se conserva): $P = V_1 I_1 = 100 \cdot 10^3 \cdot 500 = 5{,}0 \cdot 10^7$ W $= 50$ MW, y en el secundario circulan $I_2 = P/V_2 = 2000$ A. El enunciado no dice que el transformador sea ideal: dilo tú como hipótesis. La guía de Navarra da hasta un 25 % por escribir la ley y por qué se aplica.

PAU Cantabria 2025 (ordinaria), Pregunta 4 (Apartado 2: a elegir entre las preguntas 3 y 4; 2,5 puntos). En la Figura 4.1 adjunta, se representa una varilla metálica de 10 cm de longitud, cuyos extremos deslizan sin rozamiento sobre unos raíles metálicos horizontales, paralelos al eje X. Los raíles y la varilla tienen resistencia despreciable. La varilla se mueve con velocidad $\vec{v} = 50\,\vec{\imath}$ cm/s. Los raíles están conectados en $x = 0$ por una resistencia de valor $R = 1\ \Omega$. [Figura 4.1: raíles horizontales separados 10 cm, la resistencia a la izquierda en $x = 0$, la varilla vertical moviéndose hacia $+X$ y el campo saliente del papel ($\odot$).] En la región hay un campo magnético uniforme $\vec{B} = 2\,\vec{k}$ T. Calcular: a) [1 PUNTO]. La fuerza electromotriz inducida en el circuito formado por la varilla, los raíles y la resistencia. b) [0,5 PUNTOS]. La intensidad de corriente en el circuito. c) [1 PUNTO]. Razonar si sobre la varilla se ejerce algún tipo de fuerza a consecuencia del campo magnético y en caso de ser así, justificar la dirección y el sentido de la misma.

Solución: a) Con la varilla en $x(t)$, el área del circuito es $S(t) = L\,x(t)$ y $\Phi(t) = B\,L\,x(t)$ (campo perpendicular). Ley de Faraday: $|\varepsilon| = BL\dfrac{dx}{dt} = BLv = 2 \cdot 0{,}10 \cdot 0{,}50 = 0{,}10$ V. **b)** $I = \varepsilon/R = 0{,}10/1 = 0{,}10$ A. **Sentido:** el flujo según $+Z$ (saliente) **crece** porque crece el área; el campo inducido va hacia $-Z$ y la corriente es **horaria** vista desde $+Z$, es decir, baja por la varilla ($-\vec{\jmath}$). **c)** Sí: sobre la varilla con corriente actúa $\vec{F} = I\,\vec{L} \times \vec{B} = 0{,}10\,(-0{,}10\,\vec{\jmath}) \times (2\,\vec{k}) = -2{,}0 \cdot 10^{-2}\,\vec{\imath}$ N. Dirección del eje X y sentido **negativo**: frena la varilla, como exige la ley de Lenz. Los criterios de Cantabria dan 0,5 por plantear $\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$ con la corriente horaria y piden la dirección y el sentido (-X), no el módulo.

Fuentes

1. Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, enseñanzas mínimas del Bachillerato (Física, bloque B: «Generación de la fuerza electromotriz: funcionamiento de motores, generadores y transformadores»)
2. Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, artículo 34 (red de transporte y transportista único)
3. Real Decreto 842/2002, Reglamento electrotécnico para baja tensión, artículo 4 (tensiones de 230/400 V y frecuencia de 50 Hz)
4. NIST, CODATA: constante magnética μ0
5. Smithsonian Institution Archives: Joseph Henry y el descubrimiento de la inducción electromagnética
6. PAU País Vasco 2026, ordinaria: examen de Física
7. PAU País Vasco 2026, ordinaria: solucionario y criterios de Física
8. PAU Cataluña 2026, extraordinaria: examen de Física (versión en castellano)
9. PAU Cataluña 2026, extraordinaria: pautas de corrección de Física (en catalán)
10. PAU Comunidad de Madrid 2026, extraordinaria: examen, criterios y soluciones de Física
11. PAU Andalucía 2026, ordinaria: examen de Física
12. PAU Andalucía 2026, ordinaria: criterios específicos de corrección de Física
13. PAU Navarra 2025, ordinaria: examen de Física
14. PAU Cantabria 2025, ordinaria: examen de Física
15. PAU Cantabria 2025, ordinaria: criterios de corrección de Física
16. Andalucía: Directrices y orientaciones generales para la PAU 2026-27, Física
17. Madrid: presentación de la Comisión de Materia de Física, PAU 2025-2026 (directrices)
18. Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física, PAU 2027
19. Canarias: Matriz de especificaciones de Física, PAU 2027
20. Comunitat Valenciana: Documento de orientación de Física, PAU 2026-27
21. Comunitat Valenciana: Modelo de examen de Física 2027 con solución y criterios de corrección
22. Extremadura: Aspectos curriculares orientativos, bloque B (Comisión Permanente de Física de la PAU, 2025-26)
23. Universidad de Extremadura: Física, Modelo de examen PAU 2026-2027 (octubre de 2026)
24. Galicia (CiUG): Prácticas de Física para la PAU 2027
25. Cantabria: Física, saberes básicos, concreciones y criterios (Universidad de Cantabria)
26. Cataluña: Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2026-2027

Imágenes: Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib).

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 1 de noviembre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.