Física: 10 Problemas Resueltos Paso a Paso Electromagnetismo, Lorentz, Inducción y Faraday-Lenz

Cuadernillo Técnico Oficial de Examen • Formato Imprimible A4
Elaborado y supervisado pedagógicamente por: **D. José Garcés Ávila** (Ingeniero Mecánico • Director Pedagógico de Academia MJ)
Canal de Dudas y Clases de Preparación: WhatsApp **+34 679 71 06 64** • academia-santafe.es

EJERCICIO OFICIAL #1: FUERZA DE LORENTZ Y RADIO DE GIRO DE UN PROTÓN (PRINCIPIO DEL CICLOTRÓN)

Enunciado: *Un protón ($q = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, $m = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg) penetra perpendicularmente en un campo magnético uniforme $B = 0{,}5$ T con una velocidad $v = 2 \cdot 10^{5}$ m/s. a) Calcule el radio de la órbita descrita y la fuerza magnética que experimenta. b) Calcule el periodo y la frecuencia de giro, justificando razonadamente si dependen de la velocidad.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Fuerza magnética y radio de la trayectoria:
La fuerza magnética de Lorentz es perpendicular a v y B: $F_m = q(v \times B)$. Al ser $v \perp B$ (sen 90° = 1):
$F_m = q \cdot v \cdot B = (1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}) \cdot (2 \cdot 10^{5}\ \text{m/s}) \cdot (0{,}5\ \text{T}) =$ **$1{,}60 \cdot 10^{-13}$ N**.
Como la fuerza actúa únicamente como fuerza centrípeta:
$F_m = F_c \rightarrow q \cdot v \cdot B = m \cdot v^2 / R \rightarrow$ **$R = (m \cdot v) / (q \cdot B)$**.
$R = (1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 2 \cdot 10^{5}) / (1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}5) =$ **$4{,}18 \cdot 10^{-2}$ m (4,18 cm)**.

b) Periodo y Frecuencia Ciclotrónica:
Periodo: $T = 2\pi R / v = 2\pi \cdot (m \cdot v / q \cdot B) / v \rightarrow$ **$T = (2\pi \cdot m) / (q \cdot B)$**.
$T = (2 \cdot \pi \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27}) / (1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}5) =$ **$1{,}31 \cdot 10^{-7}$ s**.
Frecuencia: $f = 1 / T =$ **$7{,}63 \cdot 10^{6}$ Hz (7,63 MHz)**.
Justificación: El periodo y la frecuencia **NO dependen de la velocidad**. Si la partícula viaja más rápido, describe una órbita de mayor radio ($R \propto v$), tardando exactamente el mismo tiempo en completar una vuelta.

La Trampa de la Ponencia: Olvidar justificar por qué T es independiente de v. Además, debes indicar la regla de la mano derecha para el sentido de giro del vector fuerza.

EJERCICIO OFICIAL #2: FUERZAS ENTRE CONDUCTORES RECTILÍNEOS PARALELOS E INDUCCIÓN MAGNÉTICA

Enunciado: *Dos conductores rectilíneos paralelos e indefinidos separados 15 cm transportan corrientes de I■ = 4 A e I■ = 6 A en el mismo sentido. a) Calcule la fuerza por unidad de longitud entre ellos e indique razonadamente si es de atracción o repulsión. b) Calcule el campo magnético en el punto medio de la línea que los separa. (Dato: μ■ = 4π·10■■ T·m/A).*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Fuerza por unidad de longitud:
El conductor 1 genera a una distancia d un campo magnético: B■ = (μ■·I■) / (2πd).
El conductor 2, inmerso en dicho campo, experimenta una fuerza: F = I■ · L · B■.
F / L = (μ■ · I■ · I■) / (2π · d).
F / L = (4π·10■■ · 4 · 6) / (2π · 0,15) = **3,20·10■■ N/m**.
Sentido: Corrientes en el **MISMO sentido se ATRAEN** (aplicando regla de la mano derecha para B■ y luego para la fuerza de Lorentz F = I■ L × B■).

b) Campo magnético en el punto medio (d/2 = 0,075 m):
Por la regla de la mano derecha, en el plano medio B■ apunta hacia dentro del papel (⊗) y B■ hacia fuera (■). Por tanto, se restan:
B■ = (4π·10■■ · 4) / (2π · 0,075) = 1,067·10■■ T (hacia dentro).
B■ = (4π·10■■ · 6) / (2π · 0,075) = 1,600·10■■ T (hacia fuera).
B_total = B■ - B■ = 5,33·10■■ T con dirección perpendicular al plano y sentido hacia fuera (■).

■■ **La Trampa de la Ponencia:** ¡Corrientes paralelas en el mismo sentido SE ATRAEN! No confundir con la ley de Coulomb (cargas de igual signo se repelen).

EJERCICIO OFICIAL #3: SELECTOR DE VELOCIDADES: CAMPOS E Y B CRUZADOS

Enunciado: *Un electrón (q = -1,6·10■¹■ C, m = 9,1·10■³¹ kg) se desplaza horizontalmente hacia la derecha con velocidad v = 4·10■ m/s y entra en una región con un campo magnético uniforme B = 0,2 T perpendicular y hacia dentro del plano (⊗). a) Determine el módulo, dirección y sentido del campo eléctrico E para que el electrón atraviese la región sin desviarse. b) ¿Qué ocurriría si la partícula fuese un protón a la misma velocidad?*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Condición de no desviación (F_total = 0):
La fuerza magnética sobre el electrón (q < 0): F_m = q(v × B). Para v hacia la derecha y B hacia dentro (⊗), el producto v × B apunta hacia arriba. Al ser q < 0, **F_m apunta hacia ABAJO**.
Para no desviarse, la fuerza eléctrica debe equilibrar a la magnética: F_e = -F_m ➔ **F_e debe apuntar hacia ARRIBA**.
Como F_e = q·E y el electrón es negativo, el campo eléctrico **E debe apuntar hacia ABAJO**.
Igualdad de módulos: e·E = e·v·B ➔ **E = v · B = (4·10■ m/s) · (0,2 T) = 8·10■ N/C (o V/m)**.

b) Caso de un protón:
Para un protón (q = +e > 0), F_m apunta hacia arriba y F_e = +e·E apuntaría hacia abajo. Ambas fuerzas se invierten a la vez pero siguen siendo opuestas e iguales:
e·E = e·v·B ➔ v = E / B.
El protón TAMPOCO se desviará, ya que la condición v = E/B es **independiente de la carga y de la masa** de la partícula.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** El signo de la carga del electrón invierte el sentido de la fuerza respecto a v × B y respecto a E. Omitir el signo del electrón invalida la dirección de E.

EJERCICIO OFICIAL #4: LEY DE FARADAY-LENZ: ESPIRA EN CAMPO MAGNÉTICO DEPENDIENTE DEL TIEMPO

Enunciado: *Una espira circular plana de radio r = 10 cm y resistencia eléctrica R = 2 Ω está situada perpendicularmente a un campo magnético uniforme B(t) = 0,4 t² - 0,1 t + 2 (en unidades del S.I.). a) Deduzca la expresión del flujo magnético en función del tiempo. b) Calcule la fuerza electromotriz inducida (fem) y la intensidad de corriente para t = 3 s, razonando el sentido de la corriente inducida.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Flujo magnético a través de la espira:
Superficie de la espira: $S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,1)^2 = 0,01\pi\ m^2 \approx 3,14 \cdot 10^{-2}\ m^2$.
Al ser B perpendicular a la espira, el vector superficie S es paralelo a B (cos 0° = 1):
$\Phi(t) = B(t) \cdot S \cdot \cos 0° = (0,4\ t^2 - 0,1\ t + 2) \cdot 0,01\pi = (1,257 \cdot 10^{-2}\ t^2 - 3,14 \cdot 10^{-3}\ t + 6,28 \cdot 10^{-2})$ Wb.

b) Fem e Intensidad de corriente en t = 3 s:
Por la **Ley de Faraday-Henry**: $\varepsilon = -d\Phi/dt$.
$d\Phi/dt = (0,8\ t - 0,1) \cdot S$.
Para t = 3 s: $d\Phi/dt = (0,8 \cdot 3 - 0,1) \cdot 0,01\pi = 2,3 \cdot 0,01\pi = +7,226 \cdot 10^{-2}$ Wb/s.
$\varepsilon(3\ s) = -7,23 \cdot 10^{-2}$ V (-72,3 mV).
Intensidad inducida: **$I = |\varepsilon| / R = (7,226 \cdot 10^{-2}) / 2 = 3,61 \cdot 10^{-2}$ A (36,1 mA)**.
Sentido de la corriente (Ley de Lenz): Como $d\Phi/dt > 0$ (el flujo aumenta hacia dentro), la corriente inducida genera un campo magnético inducido B_ind que se OPONE al aumento, apuntando hacia fuera. Por la regla de la mano derecha, la corriente circula en **sentido ANTIHORARIO**.

■■ La Trampa de la Ponencia: El signo menos en $\varepsilon = -d\Phi/dt$. Si no explicas la Ley de Lenz y el sentido de la corriente inducida, te quitarán 0,5 puntos.

EJERCICIO OFICIAL #5: VARILLA DESLIZANTE EN CAMPO MAGNÉTICO: FEM CINÉTICA Y BALANCE DE POTENCIA

Enunciado: *Una barra conductora de longitud L = 40 cm desliza sin fricción con velocidad constante v = 5 m/s sobre dos raíles paralelos unidos por una resistencia R = 4 Ω, en una región con campo magnético uniforme B = 0,8 T perpendicular al plano del circuito (⊗). a) Calcule la fem inducida y la corriente que recorre el circuito. b) Calcule la fuerza externa que debe aplicarse para mantener la velocidad constante y demuestre que la potencia mecánica suministrada coincide con la disipada por efecto Joule.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Fem cinética y corriente inducida:
El área encerrada varía con la posición: $S(t) = L \cdot x(t) \rightarrow dS/dt = L \cdot dx/dt = L \cdot v$.
Por la Ley de Faraday: $|\varepsilon| = d\Phi/dt = B \cdot (dS/dt) =$ **$B \cdot L \cdot v$**.
$|\varepsilon| = 0,8\ T \cdot 0,4\ m \cdot 5\ m/s =$ **1,60 V**.
Corriente inducida: **$I = \varepsilon / R = 1,60\ V / 4\ \Omega = 0,40\ A$**.
Por la ley de Lenz, el flujo hacia dentro aumenta → corriente inducida en sentido antihorario.

b) Fuerza externa y balance de potencia:
La corriente I que atraviesa la barra en presencia de B genera una fuerza magnética de frenado: $F_m = I \cdot L \cdot B$.
$F_m = 0,4\ A \cdot 0,4\ m \cdot 0,8\ T =$ **0,128 N** (hacia la izquierda, frenando).
Para mantener v constante (a = 0), la fuerza externa debe ser igual y opuesta: **$F_{ext} = 0,128$ N** (hacia la derecha).
Potencia mecánica suministrada: $P_{mec} = F_{ext} \cdot v = 0,128\ N \cdot 5\ m/s =$ **0,64 W**.
Potencia eléctrica disipada (Efecto Joule): $P_J = I^2 \cdot R = (0,4\ A)^2 \cdot 4\ \Omega =$ **0,64 W**.
Se cumple rigurosamente el Principio de Conservación de la Energía: **$P_{mec} = P_J$**.

■■ La Trampa de la Ponencia: Demostrar explícitamente que $P_{mec} = P_J$. Si dejas la demostración a medias pierdes la mitad de la nota del apartado b.

EJERCICIO OFICIAL #6: CAMPO ELÉCTRICO Y TRABAJO EN UN DIPOLO ELECTROSTÁTICO

Enunciado: *Dos cargas puntuales fijas q■ = +4 μC y q■ = -4 μC están situadas en los puntos A(0, 3) y B(0, -3) de un plano cartesiano (en metros). a) Calcule el vector campo eléctrico y el potencial eléctrico en el punto C(4, 0). b) Calcule el trabajo realizado por el campo para trasladar una carga q■ = +1 μC desde C(4, 0) hasta el origen de coordenadas O(0, 0). (Dato: K = 9·10■ N·m²/C²).*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Vector Campo y Potencial en C(4, 0):
Distancia de A a C: d■ = √[4² + (0 - 3)²] = 5 m. Distancia de B a C: d■ = √[4² + (0 - (-3))²] = 5 m.
Módulo de los campos individuales: E■ = E■ = K·|q| / d² = (9·10■ · 4·10■■) / 25 = 1440 N/C.
Por simetría, las componentes horizontales (E_x) se cancelan y las verticales (E_y) se suman en sentido negativo (hacia abajo):
sen α = 3/5 = 0,6 ➔ E_y = -2 · E■ · sen α = -2 · 1440 · 0,6 = -1728 N/C.
Vector campo total: **E_total = (0, -1728) N/C = -1728 j N/C**.
Potencial en C: **V_C = K·q■/d■ + K·q■/d■ = (9·10■/5) · (4·10■■ - 4·10■■) = 0 V**.

b) Trabajo para trasladar q■ desde C(4, 0) hasta O(0, 0):
Potencial en el origen O(0, 0): d_O = 3 m ➔ V_O = K·q■/3 + K·q■/3 = 0 V.
El trabajo realizado por el campo electrostático conservativo es:
W_campo = q■ · (V_C - V_O) = 1·10■■ C · (0 - 0) = 0 J.
Al estar ambos puntos sobre el plano bisector perpendicular al dipolo (línea equipotencial V = 0), el trabajo es nulo.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** El trabajo del campo es W = q(V_inicial - V_final), mientras que el trabajo de una fuerza externa es W_ext = q(V_final - V_inicial). ¡Cuidado con el orden!

EJERCICIO OFICIAL #7: ESPECTRÓMETRO DE MASAS: SEPARACIÓN DE ISÓTOPOS

Enunciado: *Dos iones isótopos monovalentes de un elemento químico (q = +1,6·10■¹■ C) de masas m■ = 3,5·10■²■ kg y m■ = 3,8·10■²■ kg parten del reposo y son acelerados por una diferencia de potencial V = 1000 V. A continuación entran perpendicularmente en un campo magnético uniforme B = 0,3 T, describiendo semicircunferencias. Calcule: a) La velocidad de cada isótopo al entrar al campo magnético. b) La distancia de separación entre sus puntos de impacto sobre la placa colectora.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Velocidades tras aceleración electrostática:
Por el teorema de las fuerzas vivas: q·V = ½ m v² ➔ **v = √(2qV / m)**.
v■ = √[(2 · 1,6·10■¹■ · 1000) / (3,5·10■²■)] = **9,56·10■ m/s**.
v■ = √[(2 · 1,6·10■¹■ · 1000) / (3,8·10■²■)] = **9,18·10■ m/s**.

b) Radios de trayectoria y distancia de impacto en placa:
Radio en campo magnético: R = (m·v) / (q·B) = √[2·m·V / (q·B²)].
R■ = (3,5·10■²■ · 9,56·10■) / (1,6·10■¹■ · 0,3) = **6,97·10■² m (6,97 cm)**.
R■ = (3,8·10■²■ · 9,18·10■) / (1,6·10■¹■ · 0,3) = **7,27·10■² m (7,27 cm)**.
Distancia de impacto: Como describen semicircunferencias antes de chocar, la distancia al punto de entrada es el DIÁMETRO (2R). La separación entre impactos es:
Δd = 2·R■ - 2·R■ = 2·(7,27 - 6,97) = 0,60 cm (6,0 mm).

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Calcular la diferencia entre radios (R■ - R■) en lugar de diámetros. La placa detectora recoge las partículas tras media vuelta, por lo que la separación es 2(R■ - R■).

EJERCICIO OFICIAL #8: GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA (ALTERNADOR): FLUJO Y FEM MÁXIMA

Enunciado: *Una bobina compuesta por N = 200 espiras rectangulares de dimensiones 15 cm × 10 cm gira a una frecuencia de 3000 rpm alrededor de un eje perpendicular a un campo magnético uniforme B = 0,25 T. a) Deduzca la expresión analítica del flujo magnético y de la fem inducida en función del tiempo. b) Calcule el valor máximo de la fem inducida (amplitud) y la frecuencia en hercios de la corriente alterna generada.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Expresión analítica del Flujo y de la Fem:
Superficie de una espira: S = 0,15 m · 0,10 m = 1,5·10■² m².
Velocidad angular: ω = 3000 rpm · (2π rad / 60 s) = **100π rad/s** ≈ **314,16 rad/s**.
El ángulo varía como θ(t) = ω·t (suponiendo θ■ = 0). Flujo para N espiras:
Φ(t) = N · B · S · cos(ωt) = (200 · 0,25 · 0,015) · cos(100π t) = 0,75 · cos(100π t) Wb.
Por la ley de Faraday: ε(t) = -dΦ/dt = -0,75 · (-100π · sen(100π t)):
ε(t) = 75π · sen(100π t) ≈ **235,62 · sen(314,16 t) V**.

b) Amplitud de la Fem y Frecuencia:
Fem máxima (Amplitud): ε_max = N · B · S · ω = 75π V = **235,6 V**.
Frecuencia: f = ω / (2π) = (100π) / (2π) = **50 Hz** (frecuencia estándar de la red eléctrica).

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Olvidar multiplicar por el número de espiras N = 200. Convertir siempre rpm a rad/s dividiendo entre 60 y multiplicando por 2π.

EJERCICIO OFICIAL #9: ACELERACIÓN EN CAMPO ELÉCTRICO VS INVARIANZA DE ENERGÍA EN CAMPO MAGNÉTICO

Enunciado: *Una partícula alfa (q = +2e = +3,2·10■⁻¹■ C, m = 6,64·10■⁻²■ kg) parte del reposo y es acelerada por un campo eléctrico uniforme E = 5000 N/C a lo largo de una distancia d = 20 cm. a) Calcule la diferencia de potencial recorrida y la velocidad final alcanzada. b) Justifique rigurosamente si un campo magnético puro podría realizar trabajo sobre la partícula y modificar su energía cinética.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Campo Eléctrico y Velocidad Adquirida:
Diferencia de potencial: ΔV = E · d = 5000 N/C · 0,20 m = **1000 V**.
Por el principio de conservación de la energía mecánica (W = q·ΔV = ΔE_c):
q · ΔV = ½ m v² ➔ v = √[2·q·ΔV / m] = √[(2 · 3,2·10■⁻¹■ · 1000) / (6,64·10■⁻²■)] = **3,11·10■ m/s**.

b) Justificación Teórica sobre el Campo Magnético:
NO, un campo magnético NUNCA puede realizar trabajo ni modificar la energía cinética.
La fuerza magnética de Lorentz es: F_m = q(v × B). Por definición de producto vectorial, F_m es siempre **perpendicular a la velocidad instantánea v** en todo momento:
dW = F_m · dr = F_m · (v · dt) = (F_m · v) · dt = 0 (ya que F_m ⊥ v ➔ cos 90° = 0).
Al ser el trabajo elemental nulo en todo punto (W_m = 0), por el teorema de las fuerzas vivas: ΔE_c = W = 0.
Por tanto, el módulo de la velocidad y la energía cinética **permanecen estrictamente constantes**; el campo magnético solo modifica la dirección del movimiento (aceleración normal pura).

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Esta justificación conceptual de por qué W_m = 0 (fuerza normal a la trayectoria) es una pregunta estrella en Selectividad y debe demostrarse con el producto escalar F_m · v = 0.

EJERCICIO OFICIAL #10: CIRCUITO EN U CON VARILLA DE VELOCIDAD VARIABLE EN EL TIEMPO

Enunciado: *Un circuito conductor en U de resistencia nula tiene sus ramas separadas L = 25 cm. Una varilla metálica de resistencia R = 0,5 Ω desliza sobre los raíles en una región con campo magnético uniforme B = 0,6 T perpendicular al plano (⊗). La posición de la varilla sigue la ley x(t) = 0,2 t² + 0,5 t (en metros). a) Calcule la fem inducida en función del tiempo y su valor en t = 2 s. b) Calcule la fuerza magnética que se opone al movimiento en t = 2 s.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Fem Inducida en función del tiempo:
Superficie del circuito en función del tiempo: $S(t) = L \cdot x(t) = 0{,}25 \cdot (0{,}2\ t^2 + 0{,}5\ t) = 0{,}05\ t^2 + 0{,}125\ t$.
Flujo magnético: $\Phi(t) = B \cdot S(t) = 0{,}6 \cdot (0{,}05\ t^2 + 0{,}125\ t) = 0{,}03\ t^2 + 0{,}075\ t$ (Wb).
Por la ley de Faraday: $\mathbf{|\varepsilon(t)| = d\Phi/dt = 0{,}06\ t + 0{,}075\ (V)}$.
Para t = 2 s: $\mathbf{|\varepsilon(2\ s)| = 0{,}06 \cdot (2) + 0{,}075 = 0{,}195\ V\ (195\ mV)}$.

b) Fuerza magnética de frenado en t = 2 s:
Intensidad de corriente en t = 2 s: $I(2\ s) = \varepsilon(2\ s) / R = 0{,}195\ V / 0{,}5\ \Omega =$ **0,39 A**.
La varilla experimenta una fuerza magnética contraria al movimiento (Ley de Lenz):
$\mathbf{F_m = I \cdot L \cdot B = 0{,}39\ A \cdot 0{,}25\ m \cdot 0{,}6\ T = 0{,}0585\ N\ (58{,}5\ mN)}$.
Esta fuerza magnética frena la varilla; para mantener el movimiento prescrito se debe aplicar una fuerza externa idéntica hacia adelante.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Aquí la velocidad NO es constante: $v(t) = dx/dt = 0{,}4\ t + 0{,}5$ m/s. Se debe derivar respecto al tiempo, no aplicar v constante.