FÍSICA SELECTIVIDAD PAU ANDALUCÍA

10 Problemas Estrella Resueltos Paso a Paso: Ondas Mecánicas, Sonido y Óptica Geométrica

Dirección Pedagógica: D. José Garcés Ávila (Ingeniero Mecánico • Academia MJ)

ESTÁNDAR DE EXCELENCIA TÉCNICA (PAU ANDALUCÍA):
Este compendio recoge los 10 tipos de problemas más recurrentes de los bloques de **Ondas y Óptica** en las convocatorias oficiales de la Junta de Andalucía (2020-2026). Cada ejercicio incluye su desarrollo analítico completo, deducción algebraica exigida por la Ponencia, convenio de signos DIN y el recuadro **«La Trampa de la Ponencia»** donde se alertan los fallos típicos que restan entre 0,25 y 0,5 puntos.

■ LOS 4 MANDAMIENTOS TÉCNICOS EN ONDAS Y ÓPTICA:
1. Velocidad de onda vs vibración: La velocidad de propagación v = λ·f es constante; la velocidad transversal vy = dy/dt oscila.
2. Invarianza de frecuencia: En la refracción, la frecuencia f permanece constante; λ y v cambian según el medio (n = c/v).
3. Decibelios: Escala logarítmica β = 10·log(I/I■). Duplicar la fuente no duplica los dB, suma exactamente +3,01 dB.
4. Convenio DIN en Lentes: Origen en el centro óptico; objetos reales a la izquierda (s < 0). Convergentes f' > 0; divergentes f' < 0.

EJERCICIO OFICIAL #1: ECUACIÓN DE ONDA ARMÓNICA TRANSVERSAL Y VELOCIDAD DE VIBRACIÓN

Enunciado: *Una onda transversal se propaga hacia el sentido positivo del eje X con amplitud A = 0,05 m, longitud de onda λ = 0,4 m y frecuencia f = 25 Hz. En x = 0 y t = 0 la elongación es máxima positiva (y = +A). Calcule: a) La ecuación de la onda y(x,t). b) La velocidad de propagación y la velocidad máxima de vibración transversal. c) La diferencia de fase entre dos puntos separados 0,1 m.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Ecuación de la onda y(x,t):
Pulsación: ω = 2π·f = 2π·25 = **50π rad/s**. Número de onda: k = 2π / λ = 2π / 0,4 = **5π m■¹**.
Forma general: y(x,t) = A · sen(ωt - kx + ϕ■). Para x = 0, t = 0: y(0,0) = A · sen(ϕ■) = A ➔ sen(ϕ■) = 1 ➔ **ϕ■ = π/2 rad**.
Por tanto: **y(x,t) = 0,05 · sen(50π t - 5π x + π/2) = 0,05 · cos(50π t - 5π x) (en unidades S.I.)**.

b) Velocidades de propagación y vibración máxima:
Velocidad de fase (propagación): **v = λ · f = 0,4 m · 25 s■¹ = 10,0 m/s** (constante hacia +X).
Velocidad transversal de vibración: v_y(x,t) = ∂y/∂t = -0,05 · (50π) · sen(50π t - 5π x).
Velocidad máxima: **v_max = ω · A = 50π · 0,05 = 2,5π m/s ≈ 7,85 m/s**.

c) Diferencia de fase espacial entre dos puntos (Δx = 0,1 m):
Δϕ = k · Δx = 5π m■¹ · 0,1 m = 0,5π rad (90°) (los dos puntos se encuentran en cuadratura de fase).

■■ La Trampa de la Ponencia: Confundir la velocidad de fase constante (10 m/s) con la velocidad de oscilación armónica transversal (7,85 m/s). La fase inicial ϕ■ = π/2 debe justificarse analíticamente.

EJERCICIO OFICIAL #2: ONDA ESTACIONARIA EN CUERDA CON EXTREMOS FIJOS Y MODOS PROPIOS

Enunciado: *Una cuerda de longitud L = 1,2 m fija por ambos extremos vibra según la onda estacionaria y(x,t) = 0,04 · sen(2,5π x) · cos(40π t) (S.I.). Calcule: a) Longitud de onda, frecuencia y velocidad de propagación de las ondas componentes. b) Posición de los nodos y de los vientres. c) Número de armónico al que corresponde la vibración.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Parámetros de las ondas viajeras que interfieren:
De la ecuación estacionaria: k = 2,5π m■¹ ➔ **λ = 2π / k = 2π / (2,5π) = 0,80 m**.
Pulsación: ω = 40π rad/s ➔ **f = ω / (2π) = (40π) / (2π) = 20,0 Hz**.
Velocidad de propagación: **v = λ · f = 0,80 · 20 = 16,0 m/s**.

b) Posición de nodos y vientres en la cuerda (0 ≤ x ≤ 1,2 m):
Nodos (amplitud nula): sen(2,5π x) = 0 ➔ 2,5π x = n·π ➔ x = n / 2,5 = 0,40·n (m).
Para la longitud L = 1,2 m: **x = 0 m; 0,40 m; 0,80 m; 1,20 m** (4 nodos en total, incluidos los extremos).
Vientres (amplitud máxima): sen(2,5π x) = ±1 ➔ 2,5π x = (2n+1)·π/2 ➔ x = (2n+1)·0,20 m.
Vientres en: **x = 0,20 m; 0,60 m; 1,00 m** (3 vientres o antinodos).

c) Determinación del armónico:
En una cuerda con extremos fijos: L = n · (λ / 2) ➔ 1,2 = n · (0,80 / 2) = 0,40·n ➔ **n = 3**.
Corresponde exactamente al **tercer armónico (segundo sobretono)**, coincidente con sus 3 vientres de vibración.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** Los extremos x = 0 y x = 1,2 m deben ser forzosamente nodos. Comprobar siempre que el número de vientres coincide con el orden del armónico n = 3.

EJERCICIO OFICIAL #3: INTENSIDAD SONORA, ATENUACIÓN ESFÉRICA Y NIVEL EN DECIBELIOS

Enunciado: *Un foco puntual emite ondas sonoras esféricas con una potencia P = 50 W en un medio homogéneo sin absorción (I■ = 10■¹² W/m²). Calcule: a) Intensidad y nivel de intensidad sonora a r■ = 10 m. b) Distancia a la que el nivel sonoro se reduce a 70 dB. c) Variación en decibelios si entran en funcionamiento dos focos idénticos simultáneos.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Intensidad y nivel sonoro a r■ = 10 m:
Superficie de la esfera: S■ = 4π r■² = 4π · (10)² = 400π m² ≈ 1256,6 m².
Intensidad: **I■ = P / (4π r■²) = 50 / (400π) = 3,98·10■² W/m²**.
Nivel sonoro: **β■ = 10 · log(I■ / I■) = 10 · log(3,98·10■² / 10■¹²) = 10 · log(3,98·10¹■) = 106,0 dB**.

b) Distancia r■ para un nivel de β■ = 70 dB:
Despejando intensidad: I■ = I■ · 10^(β■ / 10) = 10■¹² · 10^(7) = **10■■ W/m²**.
Por la ley del inverso del cuadrado: I■ / I■ = r■² / r■² ➔ r■ = r■ · √(I■ / I■):
r■ = 10 · √(3,98·10■² / 10■■) = 10 · √3978,87 = 10 · 63,08 = 630,8 m.

c) Incremento al emitir dos fuentes sonoras idénticas:
Intensidad total duplicada: I_tot = 2·I■. Nivel resultante: β_tot = 10·log(2·I■ / I■) = 10·log(I■/I■) + 10·log(2).
β_tot = β■ + 10 · (0,3010) = β■ + 3,01 dB ➔ El nivel aumenta exactamente en +3 dB.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** El área de la esfera es 4πr², no πr². Por tratarse de una escala logarítmica, duplicar la fuente jamás duplica los decibelios, solo suma +3 dB.

EJERCICIO OFICIAL #4: EFECTO DOPPLER: FRECUENCIA APARENTE Y LONGITUD DE ONDA

Enunciado: *Una ambulancia con sirena de f = 800 Hz circula a v_F = 30 m/s hacia un peatón situado en reposo junto a la calzada. La velocidad del sonido en el aire es v = 340 m/s. Determine: a) La frecuencia percibida durante la aproximación. b) La frecuencia percibida tras el cruce (alejamiento). c) La longitud de onda aparente de los frentes de onda por delante de la ambulancia.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Frecuencia percibida durante la aproximación (fuente móvil hacia receptor en reposo):
Al acercarse, los frentes de onda se comprimen y la frecuencia aparente aumenta:
f' = f · [v / (v - v_F)] = 800 · [340 / (340 - 30)] = 800 · (340 / 310) = 877,4 Hz (tono más agudo).

b) Frecuencia percibida durante el alejamiento:
Al alejarse, los frentes de onda se distancian y la frecuencia percibida disminuye:
f'' = f · [v / (v + v_F)] = 800 · [340 / (340 + 30)] = 800 · (340 / 370) = 735,1 Hz (tono más grave).

c) Longitud de onda aparente por delante del vehículo:
En el tiempo de un periodo T = 1/f, la ambulancia avanza una distancia d = v_F / f, acortando λ:
λ' = (v - v_F) / f = (340 - 30) / 800 = 310 / 800 = 0,388 m (38,8 cm).
Comprobación: v = λ' · f' = 0,3875 · 877,42 = 340,0 m/s.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** El signo del denominador: en acercamiento se resta (v - v_F) para que f' aumente; en alejamiento se suma (v + v_F). Indicar siempre el cambio cualitativo agudo/grave.

EJERCICIO OFICIAL #5: REFRACCIÓN DE SNELL, LONGITUD DE ONDA EN MEDIO Y ÁNGULO LÍMITE

Enunciado: *Un haz luminoso monocromático de λ■ = 589 nm incide desde el aire (n■ = 1) sobre una lámina de vidrio (n■ = 1,52) con ángulo de incidencia θ■ = 45°. Calcule: a) Ángulo de refracción, velocidad y longitud de onda de la luz en el vidrio. b) Ángulo límite para la reflexión total si el rayo viaja por el vidrio y alcanza una frontera con agua (n■ = 1,33).*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Propagación y refracción en el vidrio:
Ley de Snell: n■ · sen(θ■) = n■ · sen(θ■) ➔ 1 · sen(45°) = 1,52 · sen(θ■).
sen(θ■) = sen(45°) / 1,52 = 0,7071 / 1,52 = 0,4652 ➔ **θ■ = arcsen(0,4652) = 27,72° (27° 43')**.
Velocidad de la luz en el vidrio: **v = c / n■ = (3·10■ m/s) / 1,52 = 1,97·10■ m/s**.
Longitud de onda en el vidrio: **λ' = λ■ / n■ = 589 nm / 1,52 = 387,5 nm (3,88·10■■ m)**.
Nota teórica: La frecuencia permanece constante: f = c / λ■ = 5,09·10¹■ Hz.

b) Ángulo límite Vidrio ➔ Agua (n■ = 1,52 > n■ = 1,33):
La reflexión total ocurre al pasar de un medio de mayor a menor índice para θ■ = 90°:
n■ · sen(θ_L) = n■ · sen(90°) ➔ **sen(θ_L) = n■ / n■ = 1,33 / 1,52 = 0,8750**.
θ_L = arcsen(0,8750) = 61,04° (61° 2').
Para cualquier ángulo de incidencia en el vidrio θ > 61,04°, la luz sufre reflexión total interna.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** La frecuencia f NO varía al pasar de un medio a otro. La reflexión total solo es físicamente posible si la luz viaja del medio de mayor índice al de menor índice (n■ > n■).

EJERCICIO OFICIAL #6: LENTE DELGADA CONVERGENTE: ECUACIÓN DE GAUSS Y FORMACIÓN DE IMÁGENES

Enunciado: *Un objeto de tamaño y = 3 cm se coloca a una distancia s = -30 cm a la izquierda de una lente delgada convergente de distancia focal f' = +20 cm. a) Calcule la posición y el tamaño de la imagen formada. b) Describa la naturaleza de la imagen (real/virtual, derecha/invertida, mayor/menor). c) Trace el diagrama de rayos principales.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Posición y tamaño de la imagen formada:
Ecuación fundamental de Gauss (convenio DIN): 1/s' - 1/s = 1/f'.
1/s' = 1/f' + 1/s = 1/20 + 1/(-30) = (3 - 2) / 60 = 1/60 ➔ **s' = +60,0 cm**.
Aumento lateral: A_L = y' / y = s' / s = (+60) / (-30) = **-2,0**.
Tamaño de la imagen: **y' = A_L · y = (-2,0) · 3 cm = -6,0 cm**.

b) Caracterización rigurosa de la imagen:
• **Real:** Se forma a la derecha de la lente (s' > 0) por la intersección de los propios rayos refractados.
• **Invertida:** El aumento lateral y el tamaño son negativos (A_L = -2 < 0; y' < 0).
• **Mayor:** El módulo del aumento lateral es mayor que la unidad (|A_L| = 2 > 1; doble de tamaño).

c) Diagrama de rayos principales:
1. Rayo paralelo al eje óptico: se refracta pasando por el foco imagen F' (a +20 cm).
2. Rayo que pasa por el centro óptico: continúa en línea recta sin desviarse.
Ambos rayos convergen nítidamente en s' = +60 cm y por debajo del eje óptico (y' = -6 cm).

■■ **La Trampa de la Ponencia:** El objeto real tiene posición negativa s = -30 cm. El signo menos en el aumento A_L indica que la imagen está invertida, no que sea más pequeña.

EJERCICIO OFICIAL #7: DEFECTOS DE LA VISIÓN: MIOPÍA Y POTENCIA DE LENTE CORRECTORA

Enunciado: *Una persona con miopía tiene su punto remoto a d_R = 50 cm de sus ojos (no puede enfocar objetos más allá de esa distancia). a) Explique el defecto óptico de la miopía y justifique qué tipo de lente necesita. b) Calcule la distancia focal y la potencia en dioptrías de la lente que debe usar para ver nítidamente objetos situados en el infinito.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Justificación óptica del defecto visual:
En el ojo miope, el globo ocular es más largo de lo normal o la potencia córnea-cristalino es excesiva.
Los rayos paralelos de un objeto lejano convergen y forman el foco **delante de la retina**, produciendo una mancha borrosa.
Para corregirlo se emplea una **lente divergente (f' < 0)**, que abre ligeramente los rayos antes de entrar al ojo para que el foco se traslade exactamente sobre la retina.

b) Cálculo de la lente correctora:
La lente debe coger rayos procedentes del infinito (s = -∞) y proyectar una imagen virtual en el punto remoto del ojo miope (s' = -50 cm = -0,50 m):
1/s' - 1/s = 1/f' ➔ 1/(-0,50) - 1/(-∞) = 1/f' ➔ 1/f' = -2,0 m■¹.
Distancia focal de la lente: **f' = -0,50 m (-50 cm)**.
Potencia óptica: **P = 1 / f' = 1 / (-0,50 m) = -2,00 dioptrías (D)**.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** La distancia focal f' debe convertirse siempre a metros para calcular las dioptrías. El signo negativo es obligatorio por tratarse de una lente divergente.

EJERCICIO OFICIAL #8: LENTE DELGADA DIVERGENTE Y FORMACIÓN DE IMAGEN VIRTUAL

Enunciado: *Frente a una lente delgada divergente de distancia focal f' = -15 cm se sitúa un objeto de altura y = 4 cm a una distancia s = -30 cm. a) Determine la posición y el tamaño de la imagen. b) Caracterice la naturaleza de la imagen formada y justifique si una lente divergente puede generar imágenes reales de objetos reales.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Posición y tamaño de la imagen:
Aplicando la ecuación de Gauss: 1/s' = 1/f' + 1/s.
1/s' = 1/(-15) + 1/(-30) = (-2 - 1) / 30 = -3 / 30 = -1 / 10 ➔ **s' = -10,0 cm** (a la izquierda de la lente).
Aumento lateral: **A_L = s' / s = (-10) / (-30) = +1/3 ≈ +0,333**.
Tamaño de la imagen: **y' = A_L · y = (+1/3) · 4 cm = +1,33 cm**.

b) Naturaleza y propiedad universal de las lentes divergentes:
• **Virtual:** s' < 0, formada por la prolongación hacia atrás de los rayos divergentes.
• **Derecha:** A_L > 0 e y' > 0.
• **Menor:** |A_L| = 1/3 < 1 (reducida a la tercera parte del objeto).
Conclusión teórica: Una lente divergente **NUNCA puede formar una imagen real** de un objeto real. Dado que 1/s' = 1/f' + 1/s y ambos sumandos son estrictamente negativos (f' < 0 y s < 0), 1/s' es necesariamente negativo y s' < 0 en cualquier circunstancia.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** En lentes divergentes f' es siempre negativa. La demostración de por qué una lente divergente nunca produce imágenes reales otorga máxima puntuación.

EJERCICIO OFICIAL #9: POLARIZACIÓN POR REFLEXIÓN: LEY DE BREWSTER Y RAYOS PERPENDICULARES

Enunciado: *Un rayo de luz viaja por el aire (n■ = 1) e incide sobre la superficie de un líquido. Se comprueba que para un ángulo de incidencia θ_p = 53,1° la luz reflejada resulta totalmente polarizada linealmente. a) Calcule el índice de refracción del líquido y el ángulo de refracción. b) Demuestre razonadamente que en estas condiciones el rayo reflejado y el rayo refractado son perpendiculares entre sí.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Ley de Brewster e Índice de Refracción:
Según la Ley de Brewster: **tg(θ_p) = n■ / n■**.
n■ = n■ · tg(53,1°) = 1 · 1,3319 ≈ **1,33** (el líquido es agua).
Por la ley de Snell: n■ · sen(θ_p) = n■ · sen(θ■) ➔ 1 · sen(53,1°) = 1,33 · sen(θ■).
sen(θ■) = 0,7997 / 1,3319 = 0,6004 ➔ **θ■ = arcsen(0,6004) = 36,9°**.

b) Demostración analítica de perpendicularidad:
Partiendo de Snell y Brewster: sen(θ_p) / cos(θ_p) = n■ / n■ = sen(θ_p) / sen(θ■).
De aquí se deduce inmediatamente: **sen(θ■) = cos(θ_p) = sen(90° - θ_p)** ➔ **θ■ = 90° - θ_p**.
Por tanto: **θ_p + θ■ = 90° (ángulos complementarios: 53,1° + 36,9° = 90°)**.
El ángulo α formado entre el rayo reflejado (con ángulo θ_p respecto a la normal) y el transmitido (con ángulo θ■) es:
α = 180° - (θ_p + θ■) = 180° - 90° = 90° (π/2 rad).
Queda demostrado formalmente que el rayo reflejado y el refractado forman un ángulo recto perfecto.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** La relación tg(θ_B) = n■/n■ exige que n■ sea el medio incidente. La demostración geométrica de perpendicularidad (θ_p + θ■ = 90°) es una exigencia habitual.

EJERCICIO OFICIAL #10: INTERFERENCIA LUMÍNICA: EXPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA DE YOUNG

Enunciado: *En un dispositivo de Young, dos rendijas estrechas separadas d = 0,2 mm se iluminan con luz monocromática de longitud de onda λ = 600 nm. Las franjas de interferencia se observan sobre una pantalla situada a D = 1,5 m. a) Calcule la separación entre dos máximos consecutivos (interfranja). b) Calcule la distancia en la pantalla desde el máximo central hasta el tercer mínimo de interferencia.*

Resolución Oficial Paso a Paso:

a) Separación entre dos máximos consecutivos (Interfranja Δy):
Condición de interferencia constructiva (máximos brillantes): $d \cdot \text{sen}(\theta) = m \cdot \lambda$.
Para ángulos pequeños ($\text{sen}\ \theta \approx \text{tg}\ \theta = y / D$): $y_m = m \cdot (\lambda \cdot D) / d$.
Interfranja: $\Delta y = y_{(m+1)} - y_m = (\lambda \cdot D) / d$.
Sustituyendo datos en S.I. ($\lambda = 6 \cdot 10$■■ m, D = 1,5 m, d = $2 \cdot 10$■■ m):
$\Delta y = (6 \cdot 10$■■ $\cdot\ 1,5) / (2 \cdot 10$■■$) = (9 \cdot 10$■■$) / (2 \cdot 10$■■$) = 4,5 \cdot 10$■^{3} m = 4,50 mm**.

b) Posición del tercer mínimo de interferencia (mínimos oscuros):
Condición de interferencia destructiva: $d \cdot \text{sen}(\theta) = (n - ½) \cdot \lambda$ con n = 1, 2, 3...
Posición de los mínimos: $y_n = (n - ½) \cdot [(\lambda \cdot D) / d] = (n - ½) \cdot \Delta y$.
Para el **tercer mínimo oscuro (n = 3)**:
y■ = (3 - ½) · Δy = 2,5 · (4,50 mm) = 11,25 mm = 1,125 cm desde el centro del patrón.

■■ **La Trampa de la Ponencia:** El tercer mínimo ocurre para n = 3 con factor 2,5 · Δy, NO para 3 · Δy (que correspondería al 3º máximo brillante). No confundir la separación de rendijas d con la distancia a la pantalla D.