

## Tema 06: Ondas electromagnéticas. Óptica geométrica. HOJA DE EJERCICIOS 06.

### ACTIVIDADES

#### 061. Naturaleza de la luz.

No se plantean ejercicios para este apartado.

#### 062. Características de las ondas electromagnéticas

**A-1** Obtén la frecuencia y la longitud de onda del campo eléctrico definido por la ecuación:

$E = 10^{-3} \operatorname{sen}(5 \cdot 10^{10}t - 200x)$  ¿Cuál es la velocidad de la luz en ese medio? ¿Y su índice de refracción?

**A-2** Las longitudes de onda del espectro visible (radiaciones a las que el ojo humano es sensible) en el aire, están comprendidas entre los 780 nm de la luz roja y los 380 nm de la luz violeta. a) Calcula sus frecuencias. ¿Cuál de ellas se propaga a mayor velocidad? b) Determine entre qué longitudes de onda está comprendido el espectro visible en el agua,  $n = 4/3$ .

**A-3** Una onda EM de 1 MHz se propaga por el vacío en el sentido positivo del eje OX. Escribir las ecuaciones de los campos E y B sabiendo que la amplitud de E es 9 N/C.

**A-4** Una onda electromagnética plana polarizada se propaga por el vacío, tiene un campo eléctrico de amplitud 3 V/m y una frecuencia de 1 MHz. Determinar la ecuación de onda que representa al campo eléctrico si la onda avanza en el eje Y y el campo está polarizado en el eje Z. Calcula así mismo la ecuación del campo magnético.

#### 063. Propagación de la luz: reflexión, refracción y dispersión.

**A-5** Un rayo de luz avanza por el aire y se encuentra con un bloque de vidrio. La luz en parte se refleja formando un ángulo de 45° con la superficie de separación de ambos medios, y en parte se refracta formando 70° con la misma superficie. Calcula la velocidad de la luz en ese vidrio y su índice de refracción.

**A-6** Un rayo de luz monocromática que se propaga por el aire incide sobre una superficie de agua. Determina el ángulo de incidencia para que el rayo reflejado sea perpendicular al refractado. (Índice de refracción del agua = 1,33)

**A-7** Se tienen tres medios transparentes de índices de refracción  $n_1$ ,  $n_2$  y  $n_3$ , separados entre sí por superficies planas y paralelas. Un rayo de luz de frecuencia  $63 \cdot 10^{14}$  Hz incide desde el primer medio ( $n_1 = 1,5$ ) sobre el segundo formando un ángulo de 30° con la normal a la superficie de separación. A) Sabiendo que el ángulo de refracción en el segundo medio es 23,5°, ¿cuál será la longitud de onda de la luz en ese segundo medio? B) Tras atravesar el segundo medio la luz llega a la superficie de separación con el tercer medio ( $n_3 = 1,3$ ), ¿cuál será el ángulo de emergencia del rayo?

**A-8** Un rayo de luz pasa a través de un bloque de vidrio de índice de refracción  $n$  y grosor  $d$ . A) Dibuja correctamente el camino seguido por un rayo que llega a la superficie de separación formando un ángulo cualquiera con la normal. B) Encuentra la relación existente entre el ángulo de entrada y el de salida. C) Si  $d = 2$  cm, ángulo de incidencia = 30° y  $n = 1,5$ , ¿cuánto tiempo está viajando la luz dentro del vidrio?

**A-9** Sobre un prisma de vidrio de índice de refracción 2 y ángulo 60° incide un rayo luminoso con un ángulo de 45° (con la normal). A) Calcule el ángulo de refracción dentro del prisma y el ángulo de emergencia. B) Si el ángulo de incidencia es 0°, trace la marcha de los rayos.

#### 064. Propiedades ondulatorias de las ondas EM.

No se plantean ejercicios para este apartado.

#### 065. Óptica geométrica.

No se plantean ejercicios para este apartado.

#### 066. Sistemas ópticos: espejos

**A-10** Un espejo esférico cóncavo tiene un radio de curvatura 0,5 m. Determina analíticamente y gráficamente la posición y el aumento de la imagen de un objeto de 5 cm de altura situado en dos posiciones diferentes: A) A 1 m del espejo; B) A 0,3 m del espejo.

**A-11** Un espejo cóncavo tiene una distancia focal de 4 cm: a) ¿Cuál es el radio de curvatura? b) Hallar la distancia de la imagen si el objeto se encuentra a 2 cm del espejo. c) Dibujar un diagrama de rayos en este caso. d) ¿La imagen es derecha o invertida?

#### 067. Sistemas ópticos: dioptrios

**A-12** Dentro de una pecera esférica de 15 cm de radio llena de agua, con un índice de refracción 1,33 se encuentra un pez. El pez mira a través de la pecera y ve un gato sentado sobre la mesa con su nariz a 10 cm de la pecera. ¿En dónde está la imagen de la nariz del gato y cuál es su aumento? Despreciar la influencia de la delgada pared de la pecera. Dibuja el diagrama de rayos correspondiente.

**A-13** Cuando un avión y un submarino que están en la misma vertical, el piloto del avión, que vuela a 200 m sobre el nivel del mar, observa al submarino a una distancia aparente de 250 m. Calcula: a) La profundidad a la que navega el submarino. b) La distancia aparente a la que se encuentra el aeroplano visto desde el submarino.

### 068 Sistemas ópticos: lentes

**A-14** Para las siguientes distancias objeto y distancias focales imágenes de lentes delgadas en el aire, halla la distancia imagen y el aumento, y si la imagen es real o virtual, derecha o invertida. A)  $s = -40\text{ cm}$ ,  $f' = 20\text{ cm}$ . B)  $s = -10\text{ cm}$ ,  $f' = 20\text{ cm}$ . C)  $s = -40\text{ cm}$ ,  $f' = -30\text{ cm}$ . D)  $s = -10\text{ cm}$ ,  $f' = -30\text{ cm}$ . Realiza los diagramas de rayos correspondientes.

**A-15** Los radios de curvatura de las caras de una lente bicóncava delgada son 6 y 4 cm respectivamente y su índice de refracción 1,50. Delante de la lente, a 20 cm de ella, situamos un objeto de 2,5 cm de altura. Determina: a) La distancia focal de la lente. b) La posición, el tamaño y las características de la imagen formada.

**A-16** Una lente bicóncava simétrica de radio de curvatura 20 cm está construida con un plástico de índice de refracción 1,7. Determina: a) La potencia óptica de la lente. b) Dónde hemos de colocar un objeto para que el tamaño de su imagen sea la tercera parte.

### 069. El ojo humano. Defectos de la visión. Instrumentos ópticos.

**A-17** Calcula la potencia de la lente que se debe emplear para corregir la miopía de un ojo cuyo punto remoto está situado a 50 cm.

**A-18** Un presbíta cuyo punto próximo está situado a 1,20 m quiere leer a una distancia de 25 cm. ¿Qué lentes debe emplear?

## EJERCICIOS DEL TEMA

### VERDADERO O FALSO

- a) La difracción de la luz no es fácilmente observable.
- b) Las ondas electromagnéticas no pueden propagarse por el vacío.
- c) La velocidad de las ondas electromagnéticas es siempre constante e igual a 300.000 km/s.
- d) En una onda electromagnética los módulos de los campos eléctrico y magnético son iguales.
- e) Cuando la luz pasa a un medio con mayor índice de refracción se acerca a la normal.
- f) Al iluminar un objeto verde con luz roja se ve negro.
- g) El efecto Doppler no es directamente observable en la luz.
- h) Todos los rayos paralelos al eje de un espejo esférico se reflejan pasando por un solo punto.
- i) Se puede distinguir una lente convergente de otra divergente simplemente por el tacto.
- j) Las lentes convergentes producen siempre imágenes reales.

### CUESTIONES

1. Explica cuál es la causa de la dispersión de la luz.
2. Ordena las radiaciones (colores) del espectro visible: a) de menor a mayor frecuencia; b) de menor a mayor longitud de onda; c) de menor a mayor desviación en la dispersión.
3. Explica: a) por qué vemos los objetos de distintos colores; b) cómo influye la luz utilizada para iluminar los objetos en el color de éstos.
4. Describe la condición necesaria en la diferencia de recorrido entre dos ondas que interfieren en un punto: a) constructivamente, b) destructivamente.
5. Si la nieve refleja casi toda la luz que recibe, ¿cómo es que no nos vemos reflejados en ella?
6. Si frente a un espejo esférico nos vemos en cualquier posición en que nos situemos, ¿qué clase de espejo es? ¿Y si a cierta distancia la imagen desaparece?
7. ¿En qué condiciones producirá un espejo cóncavo una imagen derecha? ¿Una imagen virtual? ¿Una imagen menor que el objeto? ¿Mayor que el objeto? Repetir si el espejo es convexo.
8. Indica qué tipo de espejos y en qué condiciones producen: A) Una imagen real. B) Una imagen virtual. C) Una imagen derecha. D) Una imagen invertida. E) Una imagen de mayor tamaño que el objeto. F) Una imagen de menor tamaño.
9. ¿De qué color se vería una tela roja si se ilumina con luz blanca? ¿Y si se ilumina con luz azul? Explica tu respuesta.

- 10.** Explica qué es y como se forma el arco iris.
- 11.** ¿Qué es el ángulo límite? ¿Qué es la reflexión total? Calcula el ángulo límite de un plástico de índice de refracción 1,21.
- 12.** Explica por qué cuando se observa desde el aire un remo sumergido parcialmente en el agua, parece estar doblado. Haz un esquema de la propagación de los rayos de luz.
- 13.** Explica en qué consisten y cómo se forman los espejismos.
- 14.** Explique dónde debe estar situado un objeto respecto a una lente delgada para obtener una imagen virtual y derecha: A) Si la lente es convergente. B) Si la lente es divergente. Realice en ambos casos las construcciones geométricas e indique si la imagen es mayor o menor que el objeto.
- 15.** Dibuja el diagrama de formación de imagen de un sistema óptico constituido por dos lentes convergentes iguales, situadas recíprocamente una en el foco de la otra, en el caso de que el objeto se sitúe a una distancia superior a la focal de la primera lente.

### PROBLEMAS

- 1.** Un rayo de luz incide sobre una lámina de caras paralelas de vidrio de  $n = 3/2$ , formando un ángulo de  $45^\circ$  con la normal. A) ¿Cuál es el ángulo de refracción? B) ¿Cuál es el ángulo de salida al otro lado de la lámina?
- 2.** Una onda electromagnética plana armónica, polarizada linealmente según el plano XY, se propaga en el sentido positivo del eje OX. Su velocidad es de  $2,5 \cdot 10^8$  m/s, tiene una longitud de onda de  $2 \cdot 10^4$  m y la amplitud del campo eléctrico es  $8 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$ . Determina: a) La frecuencia de la onda. b) El índice de refracción del medio. c) La ecuación del campo eléctrico.
- 3.** Calcular gráfica y numéricamente la posición y el tamaño de la imagen de un objeto de 5 cm situado a 25 cm de una lente convergente de 5 dioptrías de potencia.
- 4.** A la derecha de una lente convergente de 10 cm de distancia focal y a 15 cm de ella se coloca una segunda lente de distancia focal +6 cm. Situar la imagen de un objeto situado a 4 cm de la primera lente.
- 5.** Se tiene un espejo cóncavo de 1 m de radio. Hallar: a) ¿A qué distancia hay que colocar un pequeño objeto en el eje para tener una imagen 3 veces mayor que el objeto pero invertida. b) En el caso de que el espejo fuera convexo, determina la distancia a la que hay que colocar el objeto para que su imagen tenga la mitad de tamaño.
- 6.** Un dioptrio esférico convexo de 10 cm de radio separa dos medios de índice de refracción 1 y 1,5. Determina la posición, el tamaño y cómo es la imagen de un objeto de 4 mm situado 30 cm por delante de la superficie de separación de los medios.
- 7.** Un haz de luz de 500 nm de longitud de onda incide desde el aire sobre un material transparente con un ángulo de  $42^\circ$  con la normal y se refracta con un ángulo de  $25^\circ$ . Calcula: a) el índice de refracción del material; b) la velocidad de la luz y la longitud de onda en el medio.
- 8.** Galileo empleó en sus observaciones astronómicas un telescopio refractor formado por dos lentes elaboradas con el mismo tipo de vidrio: I) el objetivo era una lente plano-convexa con una distancia focal de 98,0 cm; el radio de curvatura de la cara convexa era 53,5 cm. II) El ocular era una lente bicóncava con una distancia focal imagen de -4,75 cm. A) Determina cuál es la potencia del objetivo y del oocular. B) Calcula el índice de refracción del vidrio que forma ambas lentes y los radios de curvatura del oocular. C) En este telescopio el foco objeto del oocular está situado en el foco imagen del objetivo. Calcula la longitud mínima del telescopio, es decir, la distancia entre las lentes. ¿Dónde se forma la imagen de una estrella a través del telescopio?
- 9.** Una capa de aceite está depositada sobre un vidrio de índice de refracción  $n = 1,5$ . El índice de refracción de la capa de aceite varía con la longitud de onda de acuerdo con la expresión:  $n = 0,75 + 65/\lambda$  (con  $\lambda$  medida en nm). El ángulo crítico para la reflexión total es  $70^\circ$ . A) Calcula la longitud de onda de ese haz de luz. B) Si el haz de luz procede del aceite, determina cual es el máximo valor de  $\lambda$  para que ocurra la reflexión total.
- 10.** Una onda electromagnética se propaga en el vacío en el sentido positivo del eje OX, su campo eléctrico oscila paralelo al eje OY con una amplitud de  $10^{-3} \text{ NC}^{-1}$ , y su frecuencia es  $7,96 \cdot 10^9$  Hz. Halla las ecuaciones de los campos.
- 11.** Un rayo de luz incide sobre un vidrio plano de índice de refracción  $n = 1,52$ . Se producen dos rayos, uno reflejado y otro refractado. A) Si el ángulo de incidencia es de  $20^\circ$ , determina el ángulo que forman entre sí los rayos reflejado y refractado. B) Si el ángulo de incidencia es un poco mayor que  $20^\circ$ , ¿crecerá o decrecerá el ángulo calculado en el apartado anterior?

**12.** Un recipiente contiene agua cuya superficie está recubierta de una capa de aceite. A) Haz un esquema de cómo se propaga la luz que proviene del aire. B) Un haz de luz procedente del aire llega a la superficie de separación aire-aceite con un ángulo de  $40^\circ$ . Calcula el ángulo con el que penetra en el agua. C) Para un haz de luz procedente del agua, calcula el ángulo de incidencia para que la luz no penetre en el aire. DATOS. Índices de refracción: Agua = 1,33. Aceite = 1,45.

**13.** Una onda electromagnética de 10 MHz se propaga por un material transparente de índice de refracción  $n = 1,32$  en el sentido positivo del eje OX. A) Escribe las funciones de onda de los campos eléctrico y magnético sabiendo que la amplitud del campo eléctrico es  $0,2 \text{ N C}^{-1}$ . B) Calcula la longitud de onda en dicho material y en el vacío. C) Calcula la energía de un fotón de dicha radiación y exprésala en eV.

**17.** Una lámina de vidrio de caras planas y paralelas, situada en el aire, tiene un espesor de 5,4 cm y un índice de refracción de 1,64. Un rayo de luz monocromática incide en la cara superior de la lámina formando  $45^\circ$  con la normal. Calcula: a) El ángulo de refracción en el interior de la lámina. b) El ángulo de emergencia al otro lado de la lámina. c) El desplazamiento lateral experimentado por el rayo al atravesar la lámina. d) El tiempo empleado por la luz en atravesar la lámina.

**14.** Una lente delgada biconvexa tiene un índice de refracción  $n = 1,6$  y radios de curvatura del mismo valor. Si su distancia focal es de 15 cm, ¿cuál es el valor del radio de curvatura de cada superficie? Si se coloca un objeto a 10 cm de la lente, hallar la distancia imagen y el aumento. Realizar un diagrama de rayos. ¿La imagen es real o virtual? ¿Derecha o invertida?

**15.** Se tiene un espejo cóncavo de 1,2 m de radio. Hallar: a) ¿A qué distancia hay que colocar un pequeño objeto en el eje para tener una imagen cuatro veces mayor que el objeto, pero invertida? b) En el caso de que el espejo sea convexo, determina la distancia a la que hay que colocar el objeto para que su imagen tenga la mitad de tamaño.

**16.** El objetivo de una cierta cámara de fotos de foco fijo, de 35 mm de distancia focal, consiste en una lente biconvexa con radios de curvatura de 3 y 5 cm. a) ¿Cuál es la potencia de la lente? b) Calcule el índice de refracción de la lente. c) Determine la distancia necesaria entre la lente y la película fotográfica para formar la imagen enfocada de un objeto situado a 1 m de distancia, y obtenga el aumento lateral para dicho objeto.

**18.** Hallar la profundidad aparente de un pez que se encuentra quieto a 1 m de profundidad cuando miramos verticalmente. Índice de refracción del agua  $n = 4/3$ .

**19.** Una lente bicóncava delgada de índice de refracción 1,5 tiene radios de curvatura de 4 cm y 3 cm respectivamente. a) Calcula su distancia focal. b) Si se sitúa un objeto de 1,2 cm de altura delante de la lente, perpendicularmente al eje óptico, a 10 cm de la misma, ¿cuáles son las características de la imagen que se forma? Sol. a)  $f' = -3,4 \text{ cm}$ ; b)  $s' = -2,5 \text{ cm}$ ;  $y' = 0,3 \text{ cm}$ ; (virtual, derecha, menor).

**20.** A 0,5 m de distancia del centro óptico de una lente de 4D se sitúa un objeto. Al otro lado de la lente y a 1,1 m se coloca un espejo convexo de 0,6 m de radio. Determina la posición de la imagen y cuál es su naturaleza. ¿Cuál es el aumento del sistema?

**21.** Dos lentes con la misma distancia focal de 10 cm distan 15 cm entre sí. Hallar la imagen final de un objeto situado a 15 cm de una de las lentes.

**22.** Un ojo miope tiene el punto remoto a 16,7 cm y el punto próximo a 10 cm. Calcula: A) La potencia de las lentes que necesita para ver claramente un objeto situado en el infinito. B) La posición de su punto próximo cuando use estas lentes.

**23.** Un sistema óptico está formado por dos lentes delgadas convergentes, de 10 dioptrías la primera y de 5 dioptrías la segunda, separadas por una distancia de 60 cm. Un objeto luminoso de 2 mm de altura está situado 15 cm delante de la primera lente. a) Calcule la posición y el tamaño de la imagen final del sistema. b) Efectúe la construcción geométrica de la imagen mediante el trazado de rayos correspondiente.

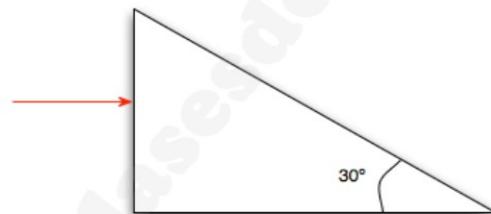
**24.** Un ojo miope necesita una lente correctora de -2 dioptrías de potencia para poder ver nítidamente objetos muy alejados. a) Sin lente correctora, ¿cuál sería la distancia máxima a la que se puede ver nítidamente con ese ojo? (A ese punto se lo denomina punto remoto del ojo miope). b) Se sitúa un objeto de 0,3 m de altura a 1 m a la izquierda del vértice de esa lente. Calcula la posición y tamaño de la imagen y realiza un esquema de rayos.

**25.** Imagina que quieres proyectar sobre una pantalla la imagen de un objeto de 4 cm de alto. Para ello puedes usar una lente convergente de 4 dioptrías de potencia o un espejo cóncavo de 0,4 m de radio, situados ambos a 2 m de una pantalla. A) ¿A qué distancia de la lente debe situarse el objeto si queremos obtener una imagen nítida sobre la pantalla? B) ¿cómo varía la respuesta si utilizamos el

espejo? C) Calcula el tamaño de la imagen en ambos casos.

**26.** Un haz de luz blanca incide sobre una lámina de vidrio vertical de grosor "d" con un ángulo de  $60^\circ$ . (A) Dibujar de forma esquemática y clara las trayectorias de los rayos rojo y violeta; (B) Determina la altura respecto del punto de incidencia del punto por el que la luz roja emerge de la lámina, siendo  $d = 1\text{ cm}$ ; (C) Calcular el grosor "d" que debería tener la lámina para que los puntos de salida de la luz roja y de la luz violeta estén separados 1 cm. (DATOS: los índices de refracción en el vidrio de la luz roja y violeta son  $n_R = 1,4$ ;  $n_V = 1,6$  respectivamente)

**27.** El índice de refracción del prisma de la figura es  $\sqrt{2}$ . Dibuja la trayectoria que seguirá el rayo de luz en él, sabiendo que el exterior es el aire.



**28.** Una lámina de vidrio de caras planas y paralelas, situada en el aire, tiene un espesor de 8,2 cm y un índice de refracción de  $n = 1,61$ . Un rayo de luz monocromática incide en la superficie superior de la lámina con un ángulo de  $30^\circ$ . Calcula: a) El valor del ángulo de refracción en el interior de la lámina y el ángulo de emergencia. b) El desplazamiento lateral experimentado por el rayo al atravesar la lámina y la distancia recorrida por el rayo dentro de la lámina.

**29.** Un rayo de luz de 500 nm incide con un ángulo de  $45^\circ$  en el centro de una lámina de 12 mm de espesor y 22 mm de altura. El índice de refracción del material de que está hecha la lámina es desconocido. A la salida el rayo se ha desplazado 6 mm en la vertical de la lámina respecto al punto de entrada. a) determina el índice de refracción del medio así como la velocidad de la luz en dicho medio. b) Si la lámina estuviese sumergida en agua ( $n = 1,33$ ), ¿cuál sería el punto de salida del rayo?

**30.** Determina el índice de refracción de un prisma de  $30^\circ$  sabiendo que la trayectoria de un rayo luminoso es paralela a la base del prisma para un ángulo de incidencia de  $23^\circ$ . Sol. 1,51.

**31.** Un láser con una longitud de onda de 633 nm incide sobre el centro de la cara de un diamante ( $n = 2,42$ ) cuya sección transversal tiene forma de triángulo equilátero. A) Si el ángulo de incidencia en la primera cara es de  $30^\circ$ , ¿cuál es la dirección del rayo cuando sale del diamante? B) Haz un esquema con la trayectoria de los rayos. C) Calcula la longitud de onda y la velocidad de la luz en el diamante.

**32.** Delante de un espejo esférico cóncavo cuyo radio de curvatura es de 40 cm se sitúa un objeto de 2,5 cm de altura, perpendicularmente al eje óptico del espejo, a 50 cm de su vértice. a) Construye la imagen gráficamente. b) Halla la distancia focal del espejo. c) Calcula la posición y el tamaño de la imagen. Sol. b)  $f = -20\text{ cm}$ ; c)  $s' = -33\text{ cm}$ ;  $y' = -1,7\text{ cm}$ .

**33.** Un objeto está situado a 4 m de una pantalla. Entre el objeto y la pantalla se coloca una lente esférica delgada, de distancia focal desconocida, que produce sobre la pantalla una imagen tres veces mayor que el objeto. a) Determina la naturaleza de la lente, así como su posición respecto del objeto y la pantalla. b) Calcula la distancia focal, la potencia de la lente y efectúa la construcción geométrica. Sol. a) convergente,  $s = -1\text{ m}$ ,  $s' = 3\text{ m}$ ; b)  $f' = 0,75\text{ m}$ ;  $P = 1,3\text{ D}$ .

**34.** ¿A qué distancia de una lente delgada de 5 dioptrías hay que colocar un objeto para obtener de él una imagen virtual de tamaño doble? Sol.  $s = -10\text{ cm}$ .