

© International Baccalaureate Organization 2023

All rights reserved. No part of this product may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without the prior written permission from the IB. Additionally, the license tied with this product prohibits use of any selected files or extracts from this product. Use by third parties, including but not limited to publishers, private teachers, tutoring or study services, preparatory schools, vendors operating curriculum mapping services or teacher resource digital platforms and app developers, whether fee-covered or not, is prohibited and is a criminal offense.

More information on how to request written permission in the form of a license can be obtained from <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

© Organisation du Baccalauréat International 2023

Tous droits réservés. Aucune partie de ce produit ne peut être reproduite sous quelque forme ni par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris des systèmes de stockage et de récupération d'informations, sans l'autorisation écrite préalable de l'IB. De plus, la licence associée à ce produit interdit toute utilisation de tout fichier ou extrait sélectionné dans ce produit. L'utilisation par des tiers, y compris, sans toutefois s'y limiter, des éditeurs, des professeurs particuliers, des services de tutorat ou d'aide aux études, des établissements de préparation à l'enseignement supérieur, des fournisseurs de services de planification des programmes d'études, des gestionnaires de plateformes pédagogiques en ligne, et des développeurs d'applications, moyennant paiement ou non, est interdite et constitue une infraction pénale.

Pour plus d'informations sur la procédure à suivre pour obtenir une autorisation écrite sous la forme d'une licence, rendez-vous à l'adresse <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

© Organización del Bachillerato Internacional, 2023

Todos los derechos reservados. No se podrá reproducir ninguna parte de este producto de ninguna forma ni por ningún medio electrónico o mecánico, incluidos los sistemas de almacenamiento y recuperación de información, sin la previa autorización por escrito del IB. Además, la licencia vinculada a este producto prohíbe el uso de todo archivo o fragmento seleccionado de este producto. El uso por parte de terceros —lo que incluye, a título enunciativo, editoriales, profesores particulares, servicios de apoyo académico o ayuda para el estudio, colegios preparatorios, desarrolladores de aplicaciones y entidades que presten servicios de planificación curricular u ofrezcan recursos para docentes mediante plataformas digitales—, ya sea incluido en tasas o no, está prohibido y constituye un delito.

En este enlace encontrará más información sobre cómo solicitar una autorización por escrito en forma de licencia: <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

# Física

## Nivel Superior

### Prueba 3

2 de mayo de 2023

Zona A tarde | Zona B mañana | Zona C mañana

Número de convocatoria del alumno

1 hora 15 minutos

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

#### Instrucciones para los alumnos

- Escriba su número de convocatoria en las casillas de arriba.
- No abra esta prueba hasta que se lo autoricen.
- Escriba sus respuestas en las casillas provistas a tal efecto.
- En esta prueba es necesario usar una calculadora.
- Se necesita una copia sin anotaciones del **cuadernillo de datos de Física** para esta prueba.
- La puntuación máxima para esta prueba de examen es **[45 puntos]**.

Sección A	Preguntas
Conteste todas las preguntas.	1 – 2

Sección B	Preguntas
Conteste todas las preguntas de una de las opciones.	
Opción A — Relatividad	3 – 7
Opción B — Física en ingeniería	8 – 11
Opción C — Toma de imágenes	12 – 15
Opción D — Astrofísica	16 – 20

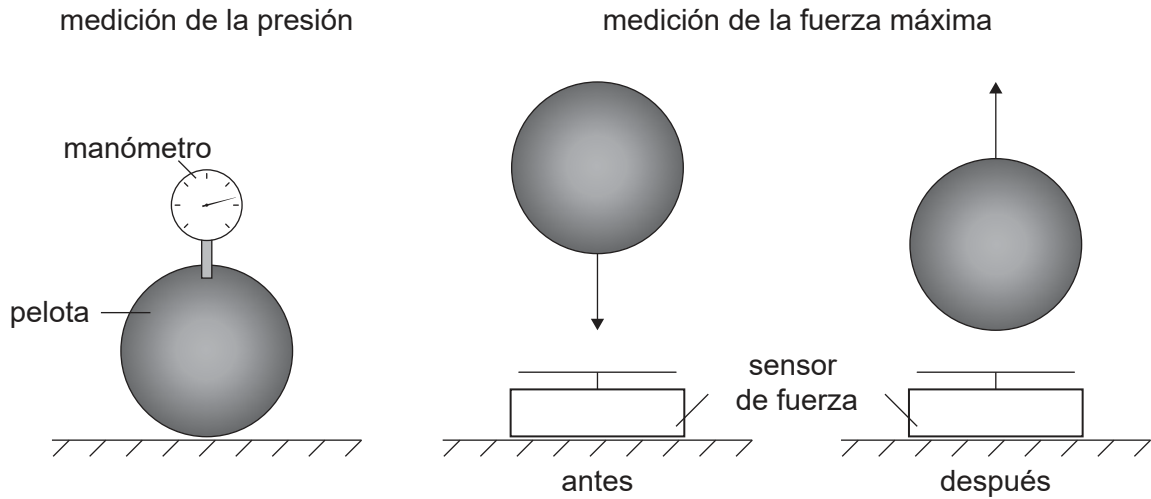


### Sección A

Conteste **todas** las preguntas. Escriba sus respuestas en las casillas provistas a tal efecto.

1. Un alumno investiga la relación entre la presión en una pelota y la máxima fuerza que la pelota produce al rebotar.

Un manómetro mide una diferencia  $\Delta p$  entre la presión atmosférica y la presión en la pelota.  
Un sensor de fuerza mide la fuerza máxima  $F_{\max}$  que la pelota ejerce sobre él durante el rebote.



- (a) Indique **una** variable que tenga que ser controlada durante la investigación. [1]

.....

.....

(Esta pregunta continúa en la página siguiente)



**(Pregunta 1: continuación)**

El alumno obtiene los siguientes datos.

Presión medida $\Delta p$ / kPa	Fuerza máxima $F_{\max}$ / N
10	108
20	133
30	158
40	170
50	188
60	192
70	206
80	220

El alumno plantea inicialmente la hipótesis de que  $F_{\max}$  es proporcional a  $\Delta p$ .

- (b) Deduzca, utilizando **dos** datos adecuados de la tabla, que la hipótesis inicial del alumno no se sustenta.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(Esta pregunta continúa en la página siguiente)**



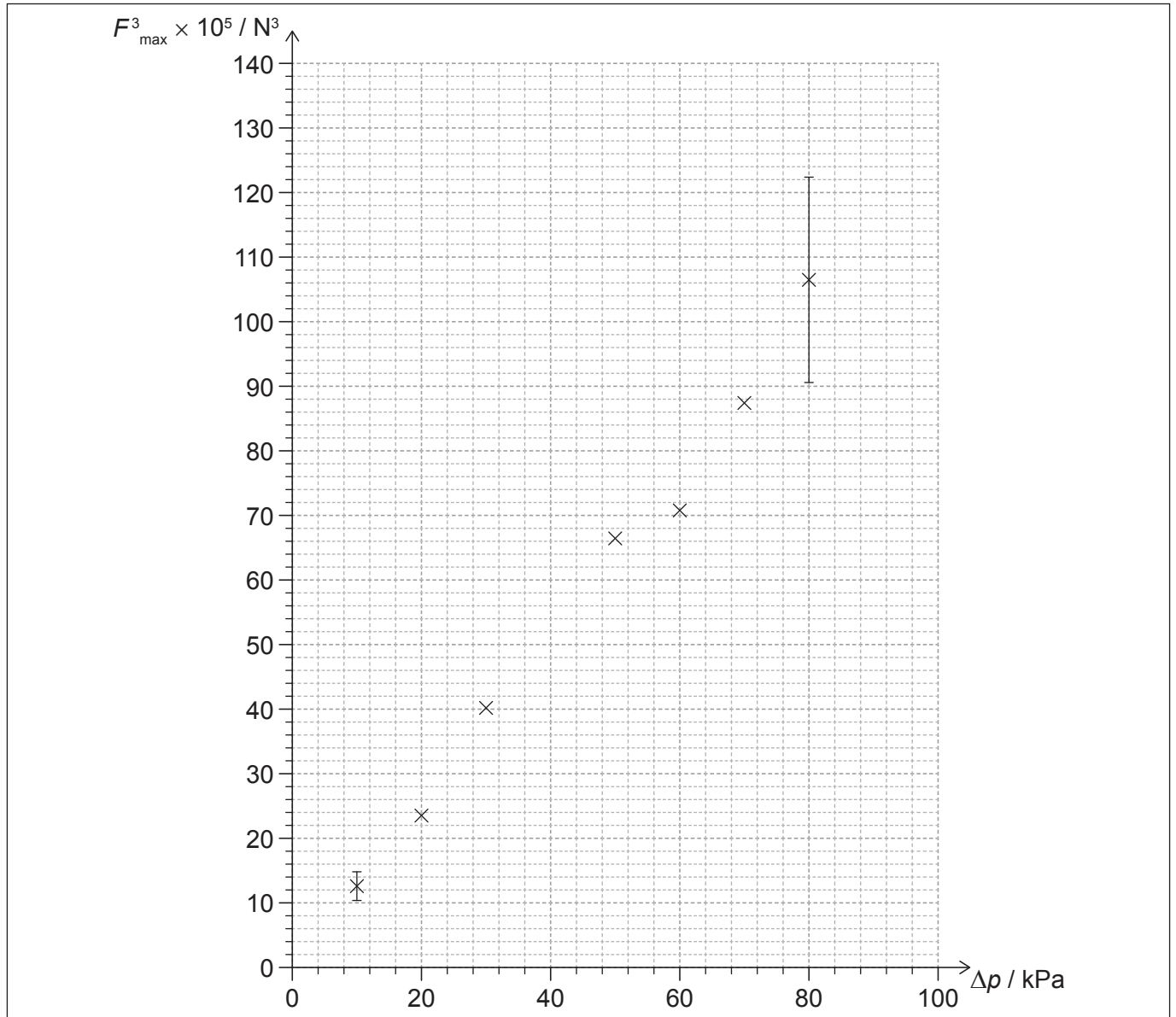
44EP03

**Véase al dorso**

**(Pregunta 1: continuación)**

El alumno propone ahora que  $F_{\max}^3 = k\Delta p$ .

El alumno representa en un gráfico la variación de  $F_{\max}^3$  con  $\Delta p$ .



(c) (i) Indique la unidad para  $k$ . [1]

.....

(ii) Sitúe sobre el gráfico la posición del punto que falta para el valor de  $\Delta p$  de 40 kPa. [1]

**(Esta pregunta continúa en la página siguiente)**



44EP04

**(Pregunta 1: continuación)**

La incertidumbre en porcentaje en  $F_{\max}$  es  $\pm 5\%$ . Se muestran las barras de error para  $\Delta p = 10 \text{ kPa}$  y para  $\Delta p = 80 \text{ kPa}$ .

- (d) (i) Calcule la incertidumbre absoluta en  $F_{\max}^3$  para  $\Delta p = 30 \text{ kPa}$ . Indique un número apropiado de cifras significativas en su respuesta. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (ii) Sitúe la incertidumbre absoluta determinada en el apartado (d)(i), como barra de error sobre el gráfico. [1]

- (iii) Explique por qué la nueva hipótesis queda respaldada. [1]

.....

.....

.....

.....



44EP05

Véase al dorso

2. Una alumna lleva a cabo un experimento para determinar el calor específico de un cubo metálico. Se calienta el cubo en un vaso de agua hirviendo hasta una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  para después transferirlo rápidamente a un recipiente aislado de capacidad térmica despreciable. El recipiente contiene agua a  $20^{\circ}\text{C}$  y de calor específico conocido.

(a) Indique otra medición que tendrá que hacer la alumna. [1]

.....  
.....

(b) Sugiera una modificación que pueda hacer la alumna para reducir la incertidumbre relativa en la variación de temperatura del cubo metálico. [1]

.....  
.....

(c) Por error, se transfiere un poco de agua desde el vaso junto con el cubo.  
Discuta cómo afectará esto al valor calculado para el calor específico del cubo. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

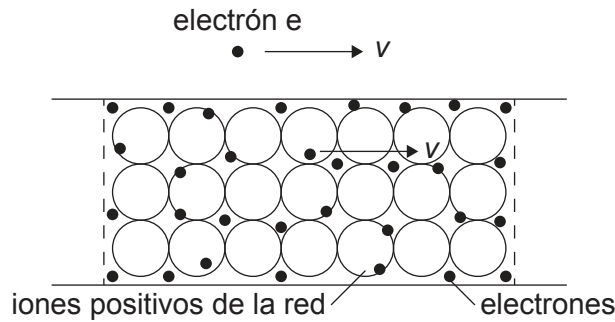


### Sección B

Conteste **todas** las preguntas de **una** de las opciones. Escriba sus respuestas en las casillas provistas a tal efecto.

#### Opción A — Relatividad

- 3. Un cable transporta una corriente eléctrica. Un electrón externo  $e$  se desplaza a la velocidad de desplazamiento  $v$  de los electrones del cable. El observador  $O$  se encuentra en reposo respecto al cable.



- (a) Indique qué se entiende por un sistema de referencia. [1]

.....

.....

- (b) Indique y explique la naturaleza de la fuerza electromagnética que actúa sobre el electrón  $e$  en el sistema de referencia del

- (i) observador  $O$ . [2]

.....

.....

.....

.....

- (ii) electrón  $e$ . [2]

.....

.....

.....

.....

(La opción A continúa en la página siguiente)



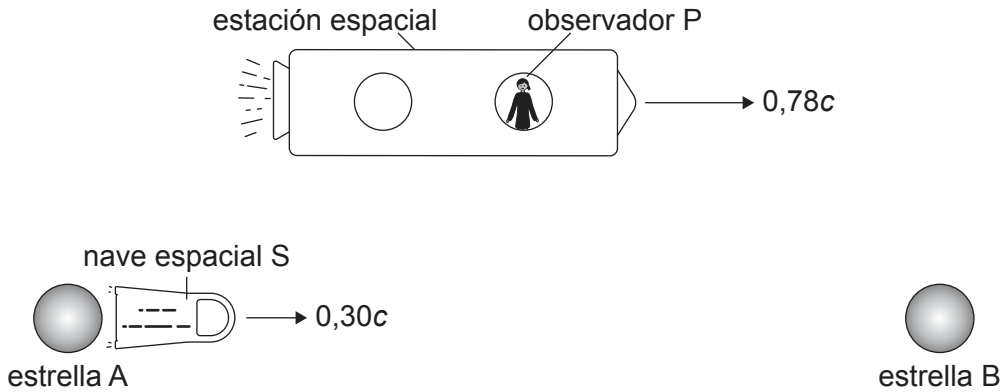
44EP07

Véase al dorso



**(Opción A: continuación)**

4. Una estrella A y una estrella B se encuentran separadas una distancia fija de 4,8 años luz, tal como se mide en el sistema de referencia en el que permanecen estacionarias. Un observador P, en reposo en una estación espacial, se mueve hacia la derecha con velocidad  $0,78c$  respecto a las estrellas. Una nave espacial S viaja desde la estrella A hacia la estrella B a una velocidad de  $0,30c$  respecto a las estrellas.



- (a) Indique el valor de la máxima distancia entre las estrellas que puede ser medida en cualquier sistema de referencia. [1]

.....  
.....

- (b) Escriba la velocidad de la nave espacial S respecto al observador P utilizando la relatividad de Galileo. [1]

.....  
.....

- (c) Calcule la distancia entre la estrella A y la estrella B respecto al observador P. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción A, pregunta 4)**

- (d) Muestre que la velocidad de la nave espacial S respecto al observador P es aproximadamente  $0,6c$ . [2]

.....

.....

.....

.....

- (e) Calcule el tiempo, según el observador P, que le llevará a la nave espacial S viajar desde la estrella A hasta la estrella B. [2]

.....

.....

.....

.....

- (f) Identifique y explique el sistema de referencia en el que puede medirse el tiempo propio que le lleva a la nave espacial S desplazarse desde la estrella A hasta la estrella B. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**

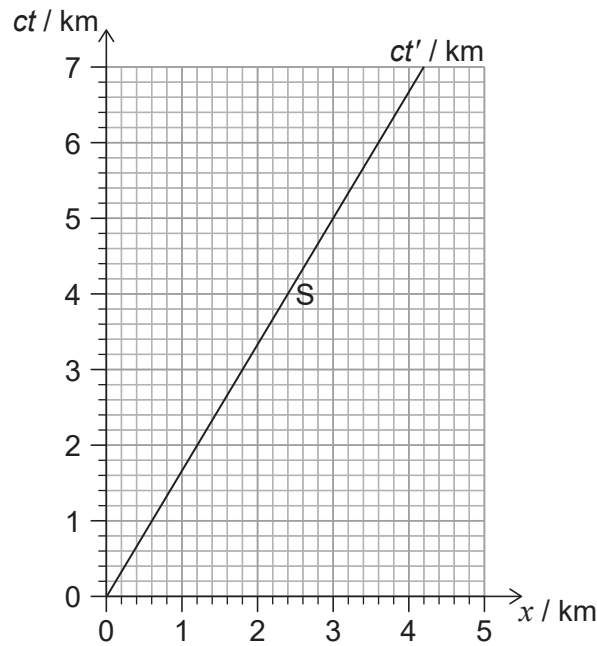


44EP09

**Véase al dorso**

**(Opción A: continuación)**

5. El diagrama de espacio-tiempo muestra el sistema de referencia de la Tierra con la línea de universo de una nave espacial S que se aleja de la Tierra.  $ct' = 0$  cuando  $ct = 0$ .



- (a) Determine la velocidad de la nave espacial respecto a la Tierra. [1]

.....  
.....

Un destello de luz enviado por un observador en la Tierra a  $ct = 2,0 \text{ km}$  se dirige hacia la nave espacial.

- (b) Estime, utilizando el diagrama de espacio-tiempo, el tiempo en segundos cuando el destello de luz alcance la nave espacial según el observador de la Tierra. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción A, pregunta 5)**

- (c) Determine la coordenada de tiempo  $ct'$  cuando el destello de luz alcanza la nave espacial, según un observador que esté en reposo en la nave espacial.

[2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(La opción A continúa en la página 13)**



44EP11

**Véase al dorso**

**No** escriba en esta página.

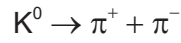
Las respuestas que se escriban en esta página no serán corregidas.



44EP12

**(Opción A: continuación)**

6. En el sistema de referencia del laboratorio, un kaón se desintegra espontáneamente en un pion positivo y un pion negativo, que pasan a moverse en sentidos opuestos.



La masa en reposo de ambos piones es  $140 \text{ MeV} c^{-2}$ . El  $\pi^+$  tiene un momento de magnitud  $340 \text{ MeV} c^{-1}$  y el  $\pi^-$  tiene momento de magnitud  $113 \text{ MeV} c^{-1}$ .

- (a) Indique la magnitud del momento del  $K^0$  en el instante anterior a desintegrarse. [1]

.....  
.....

- (b) Muestre que la energía del  $\pi^+$  es aproximadamente  $370 \text{ MeV}$ . [1]

.....  
.....

- (c) Calcule la energía en reposo del  $K^0$ . [3]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**

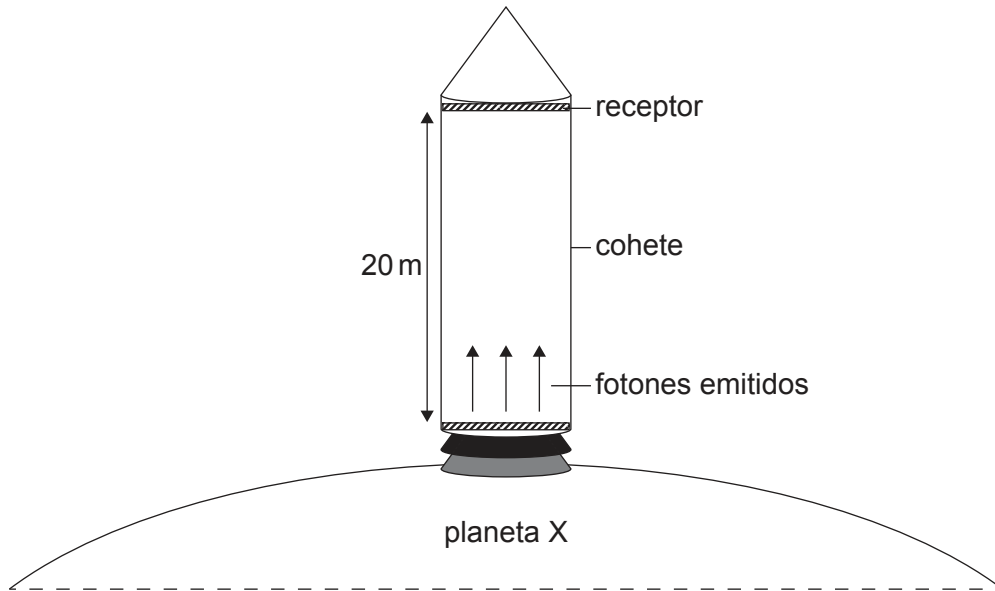


44EP13

**Véase al dorso**

**(Opción A: continuación)**

7. Un cohete se encuentra en reposo en la superficie de un planeta X que no rota. El cohete contiene una cámara de altura 20 m. Se emiten fotones con frecuencia  $3,2 \times 10^{10}$  Hz, que se desplazan desde el suelo de la cámara hasta el techo de la cámara. En el techo, hay un receptor que detecta la frecuencia de los fotones.



- (a) Explique por qué la frecuencia de los fotones detectada en el techo es menor que la frecuencia de los emitidos desde el suelo. [1]

.....  
.....

- (b) Se ha medido en  $1,2 \times 10^{-4}$  Hz el cambio en la frecuencia detectada en el techo en comparación con la del suelo. Deduzca la intensidad del campo gravitatorio del planeta X. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción A continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción A, pregunta 7)**

- (c) El cohete despegue y acelera en vertical. Explique, aludiendo al principio de equivalencia, por qué aumentará la magnitud del cambio de frecuencia observado en los fotones emitidos desde el suelo al techo del cohete cuando éste despegue. [2]

.....

.....

.....

.....

**Fin de la opción A**



44EP15

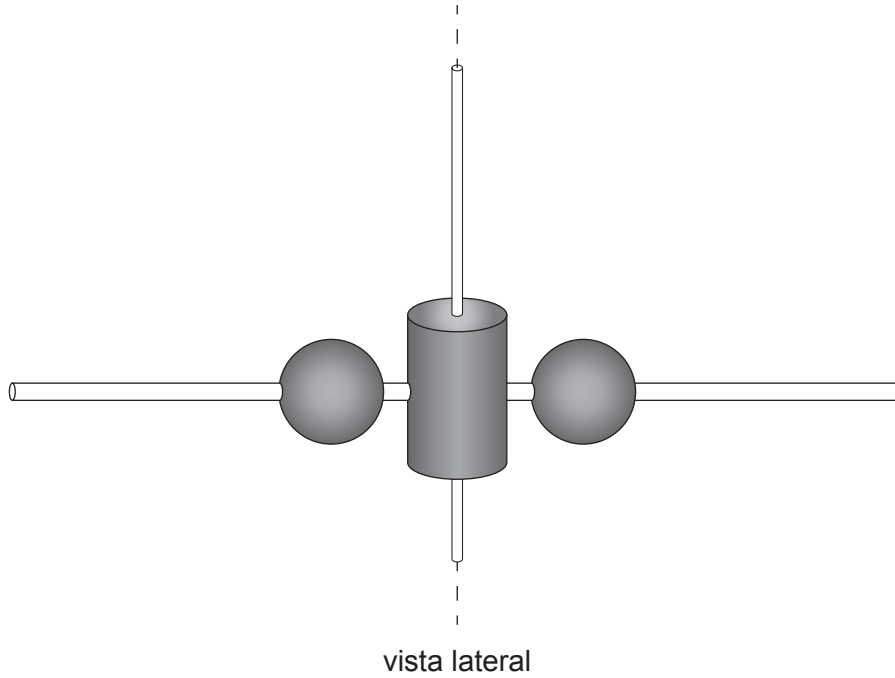
**Véase al dorso**



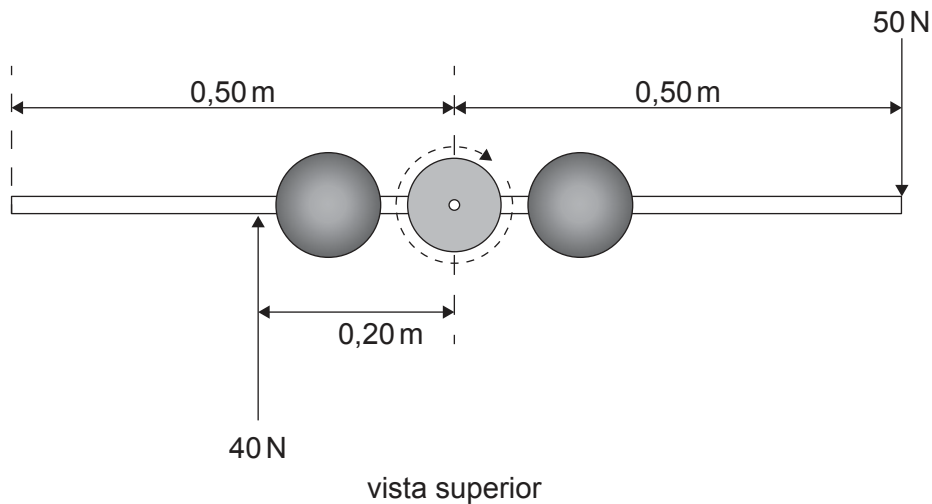
**Opción B — Física en ingeniería**

8. Un alumno hace un modelo de bailarín que da vueltas mediante un sistema que consta de un cilindro vertical, una barra horizontal y dos esferas.

El cilindro rota partiendo del reposo alrededor del eje vertical central. Hay una barra que atraviesa el cilindro con una esfera a cada lado del cilindro. Cada esfera puede moverse a lo largo de la barra. Inicialmente, las esferas se encuentran cerca del cilindro.



Se aplica una fuerza horizontal de 50 N en perpendicular a la barra, a una distancia de 0,50 m desde el eje central. Se aplica otra fuerza horizontal de 40 N en sentido opuesto, a una distancia de 0,20 m desde el eje central. La resistencia del aire es despreciable.



(La opción B continúa en la página siguiente)



44EP16

**(Continuación: opción B, pregunta 8)**

- (a) Muestre que el momento de fuerza (torque) neto sobre el sistema en torno al eje central es de aproximadamente 30 Nm. [1]

.....

.....

- (b) El sistema comienza a rotar desde el reposo y alcanza una velocidad angular máxima de  $20 \text{ rad s}^{-1}$  en un tiempo de 5,0 s. Calcule la aceleración angular del sistema. [1]

.....

.....

- (c) Determine el momento de inercia del sistema en torno al eje central. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**

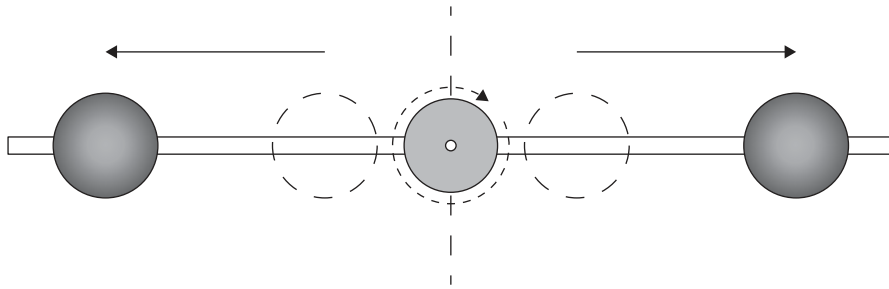


44EP17

**Véase al dorso**

**(Continuación: opción B, pregunta 8)**

- (d) Cuando el sistema ha alcanzado su máxima velocidad angular, se suprimen las dos fuerzas. Las esferas pasan a moverse hacia afuera, alejándose del eje central.



- (i) Resuma por qué la velocidad angular  $\omega$  disminuye cuando las esferas se mueven hacia afuera. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

- (ii) Muestre que la energía cinética de rotación es  $\frac{1}{2}L\omega$  donde  $L$  es el momento angular del sistema. [1]

.....  
.....

- (iii) Cuando las esferas se mueven hacia afuera, la velocidad angular disminuye desde  $20 \text{ rad s}^{-1}$  hasta  $12 \text{ rad s}^{-1}$ . Calcule el cambio en porcentaje de la energía cinética de rotación que tiene lugar cuando las esferas se mueven hacia afuera. [2]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**



44EP18

**(Continuación: opción B, pregunta 8)**

(e) Resuma una razón por la que este modelo de bailarín no es realista.

[1]

..... .....
----------------

**(La opción B continúa en la página siguiente)**

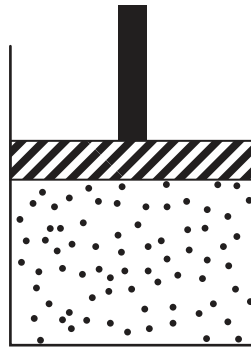


44EP19

**Véase al dorso**

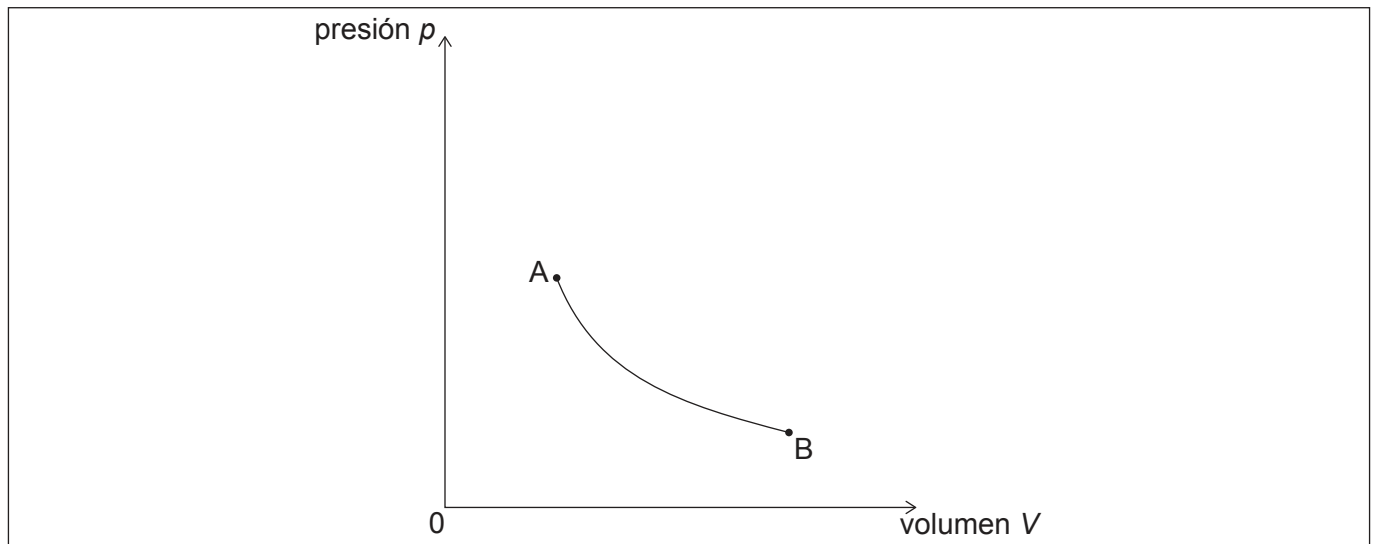
**(Opción B: continuación)**

9. Un pistón sin rozamiento retiene una masa fija de un gas ideal. El gas sufre tres procesos termodinámicos en un ciclo.



Las condiciones iniciales del gas en A son:

volumen =  $0,330 \text{ m}^3$   
presión =  $129 \text{ kPa}$   
temperatura =  $27,0 \text{ }^\circ\text{C}$



El proceso AB es un cambio isotérmico, como se muestra en el diagrama de presión y volumen ( $pV$ ), en el que el gas se expande hasta tres veces su volumen inicial.

- (a) Calcule la presión del gas en B.

[2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**



44EP20

**(Continuación: opción B, pregunta 9)**

El gas pasa ahora a sufrir una compresión adiabática BC hasta volver al volumen inicial. Para completar el ciclo el gas vuelve a A vía el proceso isovolumétrico CA.

- (b) Dibuje aproximadamente, sobre el diagrama  $pV$ , los dos procesos restantes BC y CA por los que pasa el gas. [2]
- (c) Muestre que la temperatura del gas en C es aproximadamente  $350^{\circ}\text{C}$ . [2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (d) Explique por qué el cambio de entropía para el gas durante el proceso BC es igual a cero. [1]

.....

.....

- (e) Explique por qué el trabajo efectuado por el gas durante la expansión isotérmica AB es menor que el trabajo efectuado sobre el gas durante la compresión adiabática BC. [1]

.....

.....

- (f) La cantidad de gas retenido es de  $53,2\text{ mol}$ . Calcule la energía térmica perdida por el gas durante el proceso CA. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**



44EP21

**Véase al dorso**

**(Opción B: continuación)**

10. Se utiliza un tanque grande para almacenar petróleo de densidad  $850 \text{ kg m}^{-3}$ . Se llena el tanque hasta una altura  $h_1$  desde el fondo. En la pared del tanque, hay una válvula para dejar salir el petróleo. El centro de la válvula se encuentra a una altura  $h_2$  desde el fondo del tanque. En el fondo del tanque, hay una salida de drenaje circular.

la figura no está dibujada a escala



La salida de drenaje tiene un diámetro de 100 mm y se utiliza un tapón metálico con masa de 2,5 kg para cerrar la salida.

- (a) Determine la mínima fuerza necesaria para levantar el tapón cuando  $h_1 = 4,0 \text{ m}$ . [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(La opción B continúa en la página siguiente)**



44EP22

**(Continuación: opción B, pregunta 10)**

Con el tapón metálico puesto, se abre la válvula en el lateral del tanque para dejar que el petróleo salga.

Utilizando la ecuación de Bernoulli, puede mostrarse que la velocidad  $v$  del petróleo al fluir a través de la válvula puede estimarse en  $v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ .

- (b) Indique **dos** hipótesis que se han asumido para obtener esta expresión para la velocidad  $v$ . [2]

.....

.....

.....

.....

- (c) Estime el radio máximo de la válvula para que no haya flujo turbulento. Se proporcionan los siguientes datos: [2]

Viscosidad del petróleo = 0,25 Pa s  
 $h_1 = 4,0$  m  
 $h_2 = 0,5$  m

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(La opción B continúa en la página 25)**



44EP23

Véase al dorso



**No** escriba en esta página.

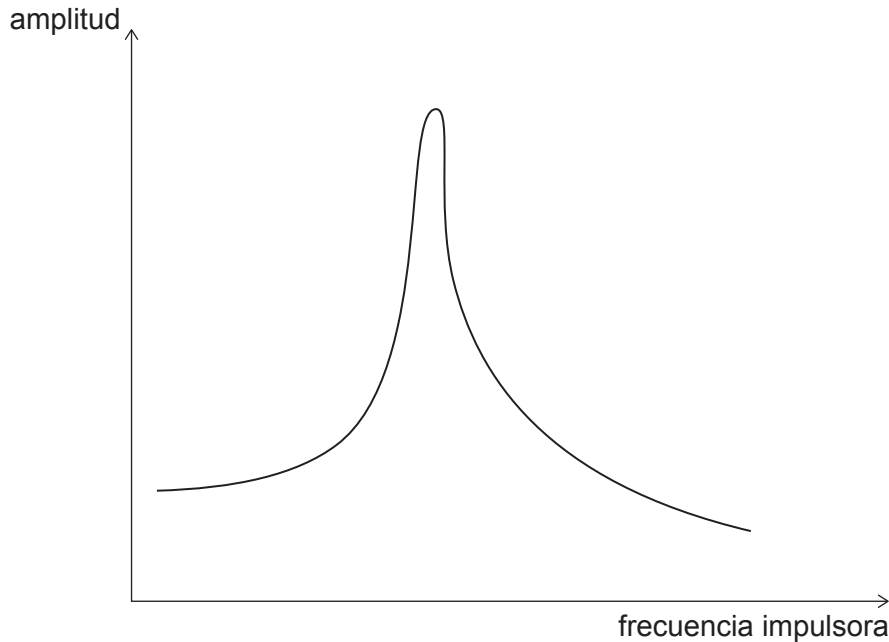
Las respuestas que se escriban en esta página no serán corregidas.



44EP24

**(Opción B: continuación)**

11. Una masa vibra sobre un resorte (muelle) vertical impulsada por una fuerza sinusoidal. En el gráfico, se muestra la variación de la amplitud de la vibración con la frecuencia impulsora para la masa. El amortiguamiento aplicado inicialmente al sistema en vibración tiene un factor  $Q$  de 50.



- (a) Se modifica el amortiguamiento de modo que disminuye el factor  $Q$ . Indique y explique **un** cambio en el gráfico. [2]

.....

.....

.....

.....

- (b) Se suprime la fuerza impulsora y el resorte pasa a oscilar libremente con un factor  $Q$  de 30. Calcule la fracción de la energía total que se ha disipado tras completarse un ciclo. [1]

.....

.....

**Fin de la opción B**

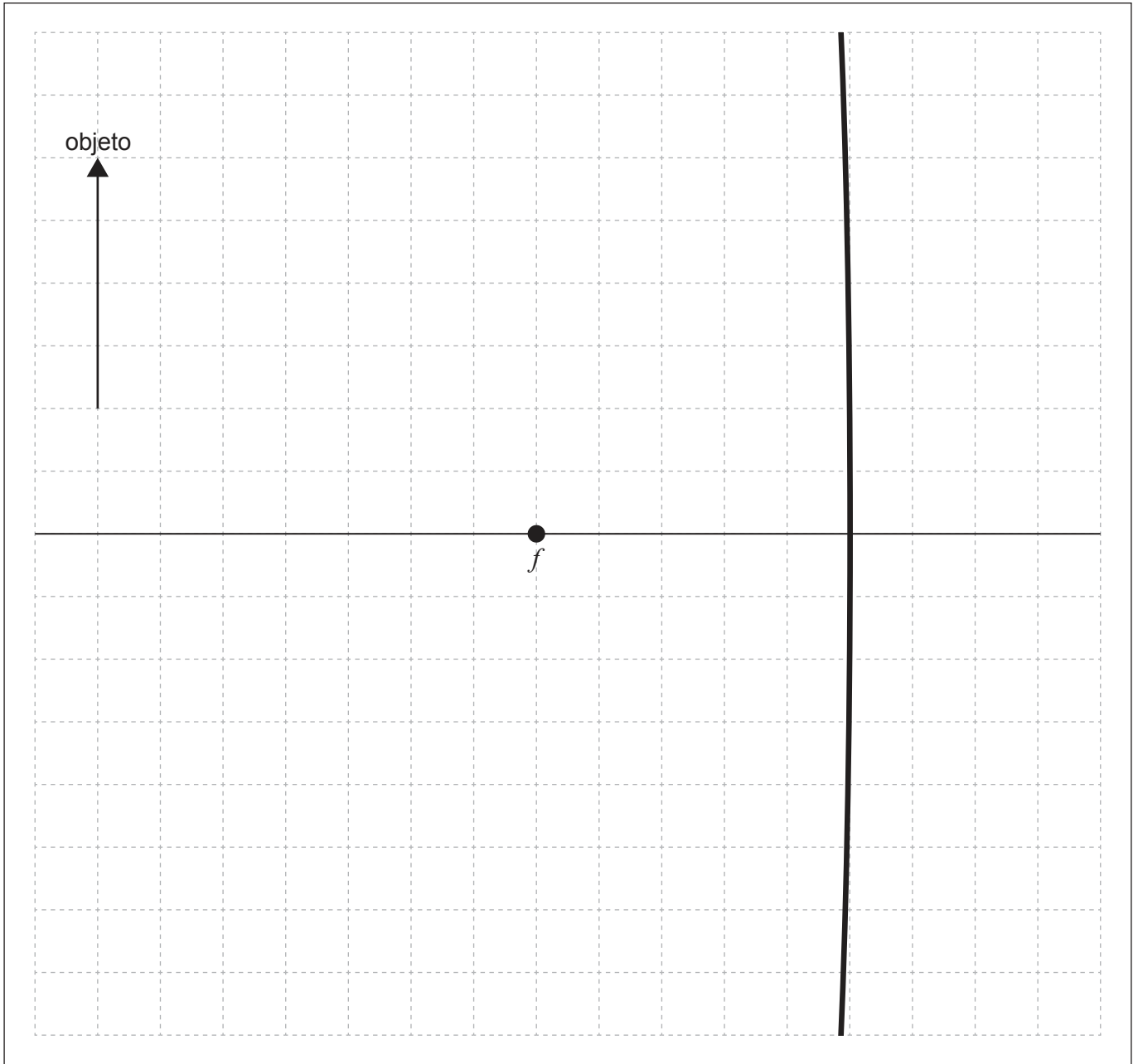


44EP25

**Véase al dorso**

**Opción C — Toma de imágenes**

12. Se coloca un objeto delante de un espejo cóncavo con punto focal  $f$  tal como se muestra.



(a) Elabore un diagrama de rayos para situar la posición de la imagen generada.

[2]

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



44EP26

**(Continuación: opción C, pregunta 12)**

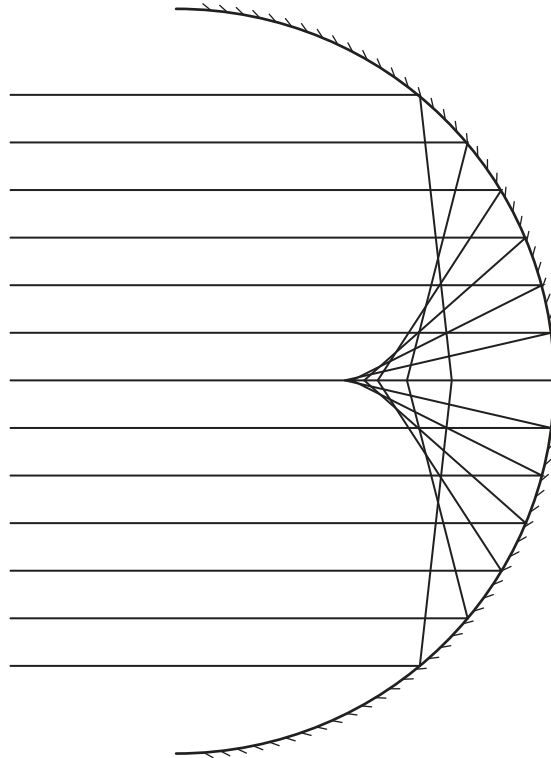
(b) Describa las características de la imagen generada.

[1]

.....

.....

(c) Sobre un espejo esférico cóncavo, inciden rayos de luz paralelos, tal como se muestra.



Indique el problema ilustrado por el diagrama y cómo se corrige en los telescopios reflectores.

[2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**

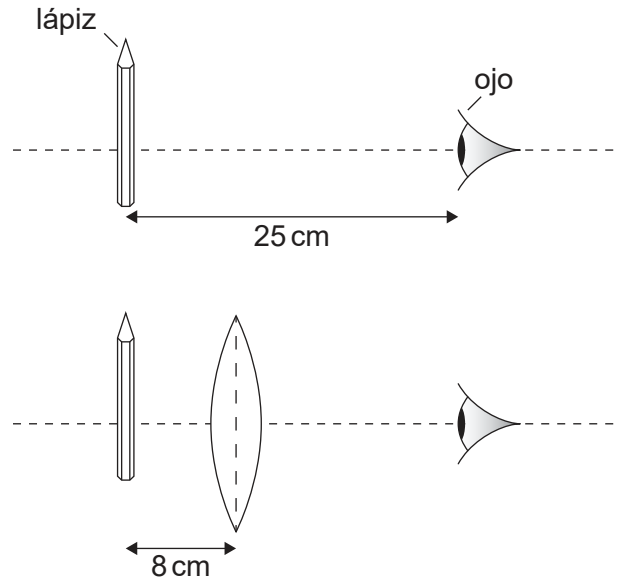


44EP27

**Véase al dorso**

**(Opción C: continuación)**

13. El ojo de un observador tiene un punto próximo de 25 cm. Se coloca un lápiz en el punto próximo. A continuación, se coloca una lente convexa con longitud focal de 8 cm entre el lápiz y el observador, tal como se muestra. El lápiz está situado en el punto focal de la lente.

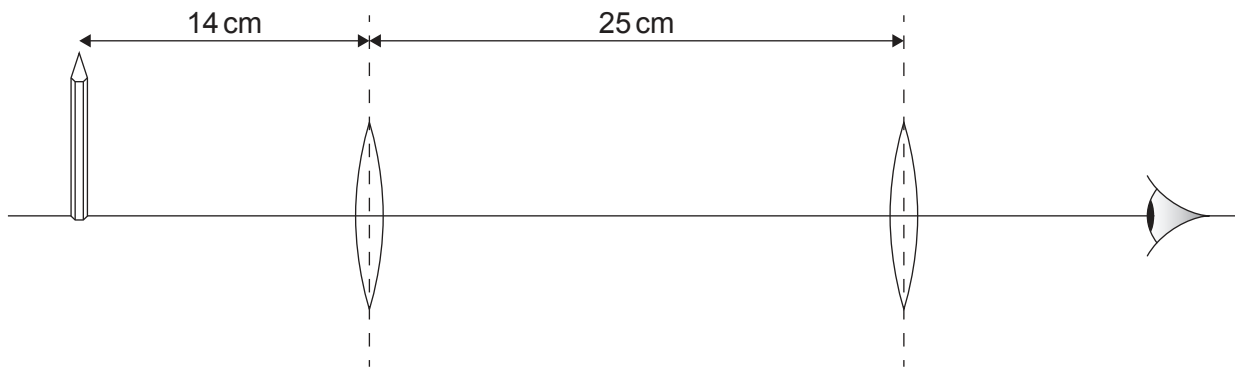


- (a) Determine el aumento angular de la lente cuando se ve en el infinito la imagen del lápiz. [1]

.....

.....

- (b) Una alumna incrementa el aumento del lápiz utilizando dos lentes convexas de 8 cm de longitud focal separadas 25 cm. El lápiz se encuentra situado a 14 cm de una de las lentes.



**(La opción C continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción C, pregunta 13)**

- (i) Muestre que la magnitud del aumento del lápiz producido por la lente más cercana al lápiz es aproximadamente 1,3. [2]

.....

.....

.....

.....

- (ii) Calcule el aumento total observado por la alumna utilizando las dos lentes como se muestra. [2]

.....

.....

.....

.....

(c) A continuación, se usan las dos lentes convexas de 8 cm de longitud focal para construir un telescopio en ajuste normal. El diámetro de las lentes es mucho mayor que el diámetro de la pupila del ojo. Indique, en comparación con el ojo desnudo,

- (i) **una** ventaja de utilizar este telescopio para las observaciones astronómicas. [1]

.....

.....

- (ii) **una** desventaja de utilizar este telescopio para las observaciones astronómicas. [1]

.....

.....

**(La opción C continúa en la página 31)**



44EP29

**Véase al dorso**

**No** escriba en esta página.

Las respuestas que se escriban en esta página no serán corregidas.



44EP30

**(Continuación: opción C, pregunta 13)**

- (d) Describa cómo la cooperación internacional puede mejorar la calidad de la imagen de los radiotelescopios conectados en red.

[2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



44EP31

**Véase al dorso**



**(Opción C: continuación)**

14. Las señales de una fibra óptica requieren amplificación cuando los niveles de intensidad en la fibra han bajado hasta un 1,5% de la señal original. Se envía por fibra óptica una señal de luz con intensidad inicial  $I_0$ .

(a) La fibra tiene una atenuación por unidad de longitud de  $0,30 \text{ dB km}^{-1}$ . Deduzca que la longitud de la fibra es de aproximadamente 60 km antes de que la señal requiera amplificación.

[2]

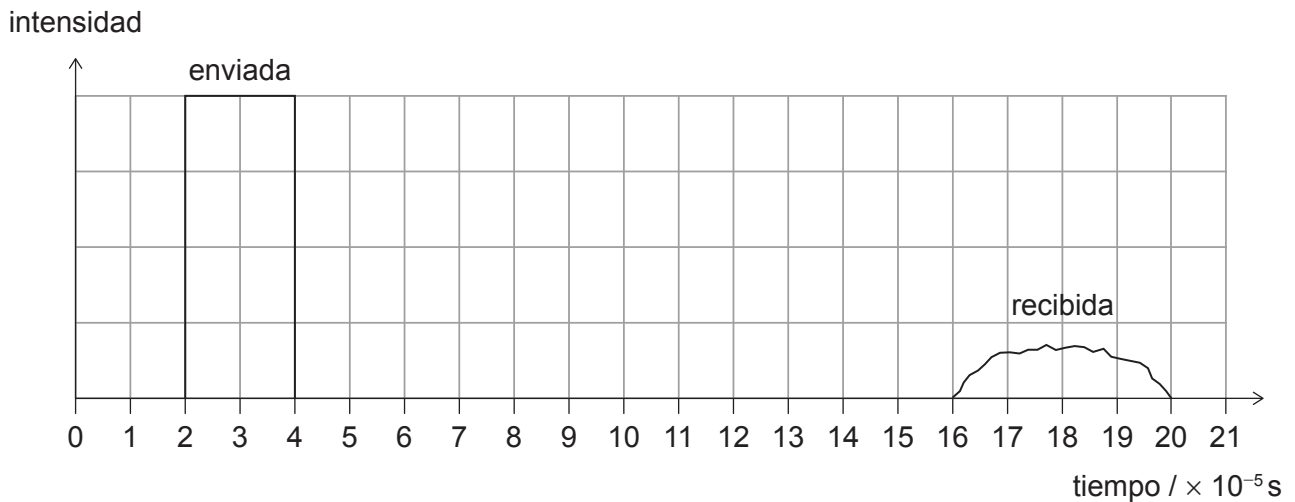
.....

.....

.....

.....

Se envía una señal por una fibra de 27 km de índice escalonado, que se recibe según el siguiente gráfico intensidad-tiempo.



(b) Calcule el índice de refracción de la fibra.

[2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



44EP32

**(Continuación: opción C, pregunta 14)**

- (c) Discuta cómo el uso de una fibra de índice gradual podría reducir la dispersión de guía de ondas.

[2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



44EP33

**Véase al dorso**

**(Opción C: continuación)**

15. Se muestran los valores del coeficiente de atenuación de rayos X para hueso y músculo a una energía de 100 keV.

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de atenuación en hueso} &= 0,348 \text{ cm}^{-1} \\ \text{Coeficiente de atenuación en músculo} &= 0,173 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

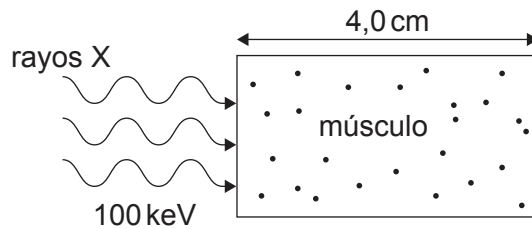
- (a) Muestre que el espesor hemirreductor del hueso cuando se utilizan rayos X con energías de 100 keV es de aproximadamente 2 cm.

[1]

.....

.....

Sobre músculo de un grosor de 4,0 cm incide un haz monocromático de rayos X de energía 100 keV e intensidad  $I_0$ .



- (b) Calcule, en función de  $I_0$ , la intensidad de haz final que sale del músculo.

[2]

.....

.....

.....

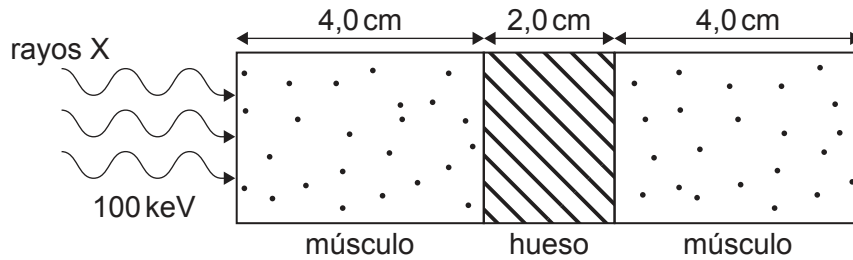
.....

**(La opción C continúa en la página siguiente)**



**(Continuación: opción C, pregunta 15)**

Se orienta un haz de rayos X de energía 100 keV y de intensidad  $I_0$  hacia una sección de la parte superior de la pierna que puede modelarse como 4,0 cm de músculo, 2,0 cm de hueso y, finalmente, 4,0 cm de músculo, tal como se muestra.



(c) Determine, en función de  $I_0$ , la intensidad de haz final que sale de esta sección de la parte superior de la pierna. [2]

.....

.....

.....

.....

Se muestran los valores de los coeficientes de atenuación adicionales de hueso y músculo para los rayos X con energías de 1 keV y 10 keV.

Energía de los rayos X / keV	Coefficiente de atenuación para el hueso / $\text{cm}^{-1}$	Coefficiente de atenuación para el músculo / $\text{cm}^{-1}$
1	7260	3910
10	55,9	56,2

(d) Compare, aludiendo al contraste y a la nitidez, las imágenes finales formadas cuando inciden rayos X de 1 keV o de 10 keV sobre la misma sección músculo–hueso–músculo de la parte superior de la pierna. [2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción C continúa en la página 37)**



44EP35

Véase al dorso

**No** escriba en esta página.

Las respuestas que se escriban en esta página no serán corregidas.



44EP36

**(Continuación: opción C, pregunta 15)**

(e) Otras técnicas de toma de imágenes médicas son las imágenes por ultrasonidos y por resonancia magnética nuclear (RMN).

(i) Indique **una** diferencia entre los modos de escaneo A y B en las imágenes médicas por ultrasonidos. [1]

.....

.....

(ii) Explique cómo se obtiene la información de posición en la toma de imágenes por resonancia magnética nuclear (RMN). [2]

.....

.....

.....

.....

**Fin de la opción C**



44EP37

**Véase al dorso**

**Opción D — Astrofísica**

16. (a) El Fantasma de Júpiter es una nebulosa.

(i) Resuma qué se entiende por una nebulosa.

[1]

.....  
.....

(ii) Los astrofísicos han deducido la naturaleza de esta nebulosa desde la Tierra. Resuma cómo son capaces de hacer estas deducciones.

[1]

.....  
.....

(b) La estrella X y la estrella Y están en nuestra galaxia. Parecen moverse con respecto a estrellas muy lejanas cuando se las observa desde la Tierra durante un período de seis meses. Se proporcionan los siguientes datos.

	Ángulo de paralaje	Brillo aparente
<b>Estrella X</b>	0,019 arco-segundo	$8,4 \times 10^{-9} \text{Wm}^2$
<b>Estrella Y</b>	0,038 arco-segundo	$3,1 \times 10^{-9} \text{Wm}^2$

(i) Deduzca qué estrella parecerá moverse más.

[2]

.....  
.....  
.....  
.....

(ii) Calcule, en m, la distancia a la estrella X.

[1]

.....  
.....

(La opción D continúa en la página siguiente)



**(Continuación: opción D, pregunta 16)**

(iii) Determine el cociente  $\frac{\text{luminosidad de la estrella X}}{\text{luminosidad de la estrella Y}}$ . [2]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**(La opción D continúa en la página siguiente)**



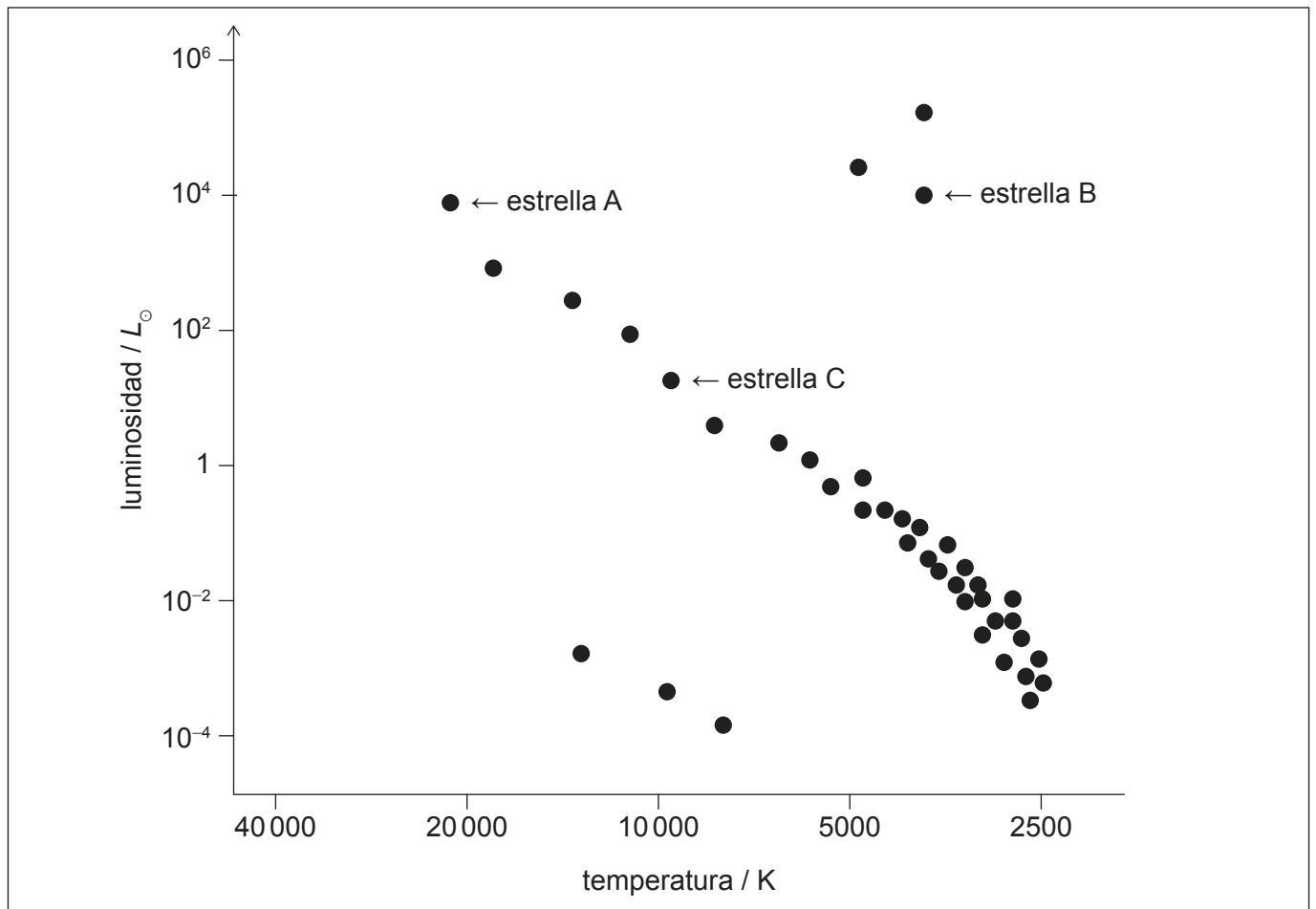
44EP39

**Véase al dorso**



**(Opción D: continuación)**

17. Tres estrellas A, B y C están etiquetadas sobre el diagrama de Hertzsprung–Russell (HR).  $L_{\odot}$  es la luminosidad del Sol.



(a) Indique el elemento principal que experimenta fusión nuclear en la estrella C. [1]

.....  
.....

(b) Explique por qué la estrella B tiene una mayor área superficial que la estrella A. [2]

.....  
.....  
.....  
.....

(La opción D continúa en la página siguiente)



**(Continuación: opción D, pregunta 17)**

- (c) En el diagrama HR, se muestran enanas blancas con volúmenes similares.

Elabore una línea, sobre el diagrama HR, para mostrar las posiciones posibles de otras estrellas enanas blancas con volúmenes similares a las que están marcadas sobre el diagrama HR.

[2]

- (d) Es probable que algunas estrellas del diagrama HR evolucionen para convertirse en estrellas de neutrones.

Resuma por qué el radio de una estrella de neutrones alcanza un valor estable.

[2]

.....

.....

.....

.....

**(La opción D continúa en la página siguiente)**



44EP41

**Véase al dorso**

**(Opción D: continuación)**

18. La galaxia D tiene un desplazamiento al rojo  $z = 0,13$ .

(a) Calcule, en Mpc, la distancia a D utilizando un valor para la constante de Hubble de  $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .

[2]

.....

.....

.....

.....

(b) Un valor para la constante de Hubble de  $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  da lugar a una edad del universo de  $13,4 \times 10^9$  años cuando se asume que ha habido un ritmo de expansión constante.

(i) Determine, en años, la edad que tenía el universo cuando fue originalmente emitida desde D la luz detectada ahora en la Tierra.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(ii) La evidencia basada en las observaciones de supernovas de tipo Ia afecta el resultado de (b)(i). Indique la conclusión relevante de estas observaciones.

[1]

.....

.....

**(La opción D continúa en la página siguiente)**



44EP42

**(Opción D: continuación)**

19. (a) Indique el criterio de Jeans para el colapso de nubes interestelares. [1]

.....  
.....

(b) Para una estrella de la secuencia principal, la energía liberada durante el tiempo total  $T$  que permanece en la secuencia principal es proporcional a su masa  $M$ .

(i) Muestre que  $T \propto \frac{1}{M^{2.5}}$ . [2]

.....  
.....  
.....  
.....

(ii) Para el Sol,  $T = 10^{10}$  años. Calcule  $T$  para una estrella 20 veces más masiva que el Sol. [1]

.....  
.....  
.....

**(La opción D continúa en la página siguiente)**



44EP43

**Véase al dorso**

**(Opción D: continuación)**

20. (a) Determine la densidad crítica del universo utilizando un valor para la constante de Hubble de  $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ . [2]

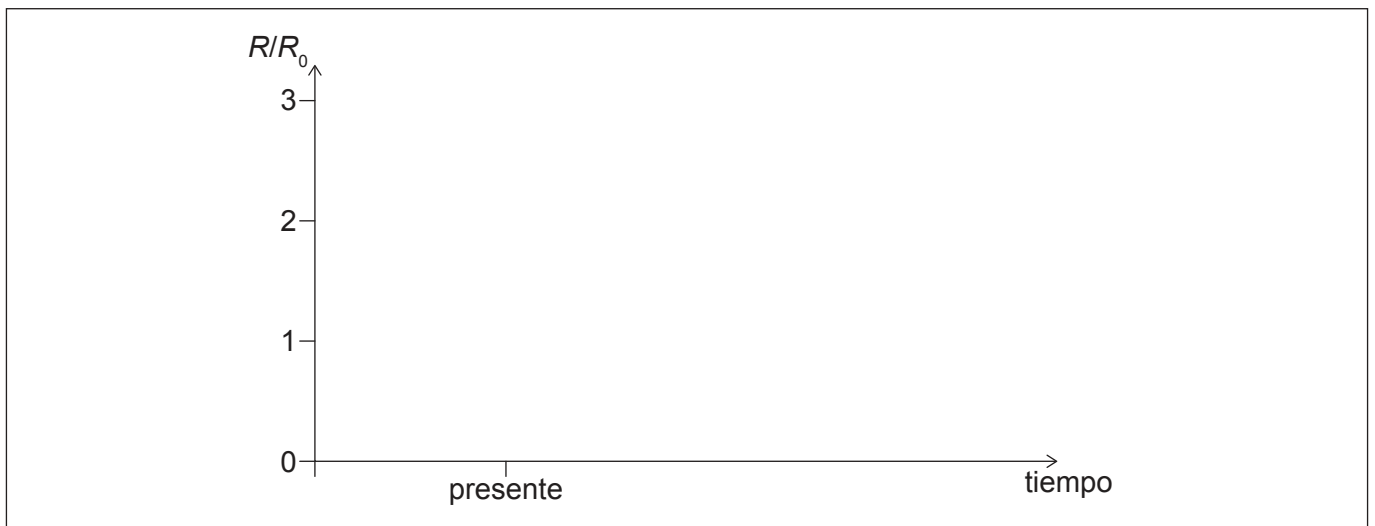
.....

.....

.....

.....

- (b) Dibuje aproximadamente, sobre los ejes mostrados, la variación de  $R/R_0$  (el factor de escala cósmica  $R$  dividido por su valor actual  $R_0$ ) frente al tiempo para un universo en el que la densidad sea mayor que la densidad crítica. [2]



- (c) Explique cómo es probable que la presencia de energía oscura afecte al ritmo futuro de cambio de temperatura del universo. [2]

.....

.....

.....

.....

**Fin de la opción D**

Fuentes:

© Organización del Bachillerato Internacional, 2023



44EP44