

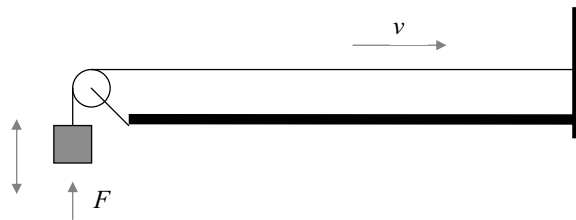
### Boletín 3 Ondas. Conceptos fundamentales y ondas electromagnéticas.

1- Un diapasón unido a un alambre tenso genera ondas transversales. La vibración del diapasón es perpendicular a la cuerda. Su frecuencia es de 440 Hz y su amplitud de oscilación de 0.5 mm. El alambre tiene una masa por unidad de longitud de 0.01 kg/m y está sometido a una tensión de 1000 N.

- Hallen el periodo y la frecuencia de las ondas en el alambre.
- ¿Cuál es la velocidad de las ondas?
- ¿Cuál es la longitud y el número de ondas?
- Escriban una función de onda adecuada para las ondas sobre el alambre.
- Calculen la velocidad y aceleración máximas de un punto en el alambre.

2- Un peso de 200 N está unido del modo indicado a un alambre de acero de densidad lineal  $\rho_l = 0.2 \text{ g/cm}$ .

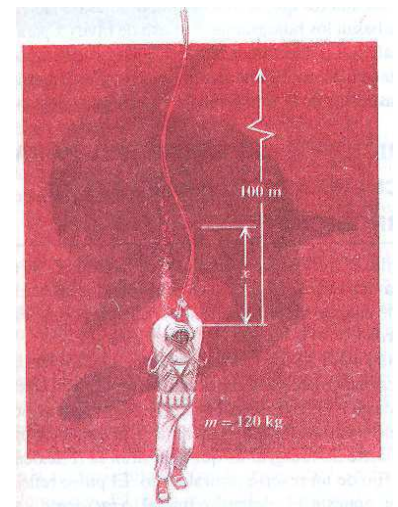
- Si el peso realiza una oscilación armónica simple por segundo de amplitud  $A = 1 \text{ mm}$ , ¿cuáles son la velocidad y la longitud de onda del pulso de onda generado sobre el alambre?
- Describan el movimiento de una partícula del alambre situada a 1 m del extremo en el que está atado el peso. Supongan que la cuerda es infinitamente larga.



3- Una cuerda de 0.07 kg/m que se mantiene tensada gracias a una fuerza de 67 N vibra transversalmente. La onda que se propaga es sinusoidal y su longitud de onda es 100 veces el máximo desplazamiento que se produce en la cuerda. Calculen la máxima velocidad con que se mueven los puntos de la cuerda.

4- Un buzo está suspendido por un cable de 100 m. de longitud que tiene una densidad lineal de masa de 1.1 kg/m. El buzo y su traje tienen una masa de 120 kg. El buzo se comunica con un barco situado en la superficie del agua, en su vertical, moviendo el cable horizontalmente, como indica la figura, para crear una onda transversal por el cable que pueda ser detectada desde el barco. Sin considerar el efecto del agua, determine:

- El tiempo que tarda en llegar la señal a la superficie del agua. ¿Dependerá este tiempo de la rapidez que imprima el buzo al movimiento del cable?
- Si el equipo del buzo tiene un sistema de seguridad que avisa a éste con un cierto tiempo antes de que se consuma el aire para respirar en la inmersión, ¿cuál debería ser el valor de este tiempo de seguridad si la velocidad de elevación del buzo desde el barco es de 40 cm/s?
- ¿Qué datos habría que añadir para tener en cuenta la influencia del agua? Su inclusión, ¿adelantaría o retrasaría la llegada de la señal a la superficie?



5- Escriban la ecuación de una onda armónica plana que se propaga a la velocidad de 8 m/s en la dirección y sentido del vector  $2\vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k}$ , que origina en el punto (0,0,0) una perturbación dada por la expresión:

$$y = 9 \cdot \cos(72\pi t + \pi/4)$$

Donde  $y$  se expresa en  $\mu\text{m}$  y  $t$  en segundos.

6- Una onda transversal se propaga a lo largo de una cuerda que coincide con el eje  $x$  y tiene una densidad de masa  $\lambda = 5.6 \text{ g/m}$ . La función de onda, en unidades del sistema internacional, se puede expresar, para  $x > 0$ , como:

$$y(x,t) = 0.05 e^{-0.1x} \sin(4.8x - 1500t),$$

- Representen gráficamente y discuta el perfil de la onda.
- Determinen la velocidad de propagación.
- Calculen la potencia media transmitida por la onda en  $x = 0$  y  $x = 5\text{m}$ .
- ¿Cuál es la relación entre las velocidades máximas de vibración en los puntos situados en el origen y en  $x = 5\text{m}$ ? Compare este resultado con el del apartado anterior.

7- Un alambre de densidad lineal de  $0.01 \text{ kg/m}$  se suelda con otro de densidad diferente, y se somete a los dos a una misma tensión ( $300 \text{ N}$ ). Cuando se produce una oscilación transversal armónica en el primero de amplitud  $A = 0.5 \text{ mm}$  y frecuencia  $400 \text{ Hz}$ , ésta se propaga por el alambre, viajando con una velocidad que resulta ser el doble que cuando pasa al segundo alambre.

- Determinen la densidad lineal desconocida.
- En el punto de soldadura de los dos alambres, la onda se refleja parcialmente, observándose que la potencia transmitida es el triple que la reflejada; ¿qué relación existirá entre las amplitudes correspondientes? ¿Podrían calcularse con los datos del problema? En caso afirmativo dé su valor.
- Manteniendo fijos los extremos del primer alambre, ¿cuánto tendría que medir éste como mínimo para que se formen ondas estacionarias de la frecuencia mencionada?

Nota: Consideren que no hay pérdidas de energía en los alambres ni en la soldadura.

8- Una onda transversal se propaga en forma de onda plana en una región del espacio de densidad volumétrica de masa  $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$ , de manera que el desplazamiento de la mismas respecto de la posición de equilibrio viene dado por:

$$y = 0.1 \sin 2\pi (x/4 - t/0.02) \text{ mm}$$

donde  $x$  esta expresado en metros y  $t$  en segundos. Se pide:

- Escribir la ecuación diferencial de ondas cuya solución es la citada onda.
- Calcular los valores de la longitud de onda, la frecuencia angular y la velocidad de propagación de la onda.
- Calcular la densidad de energía cinética por unidad de volumen en la posición  $x = 4 \text{ m}$ ,  $t = 0.8 \text{ s}$ .

Si a una distancia de  $50 \text{ m}$  del foco la onda incide en una superficie y se refleja totalmente sin cambio de fase.

- Calcular la distancia entre un máximo y un mínimo consecutivos.
- Calcular el número de nodos que aparecerán como consecuencia de la superposición de la onda y su eco.

9- Se provocan ondas estacionarias en dos cuerdas de sendos instrumentos musicales de la misma longitud ( $60 \text{ cm}$ ) y masa ( $2 \text{ g}$ ). Se ajustan las tensiones hasta que la frecuencia fundamental de cada cuerda sea  $440 \text{ Hz}$ .

- a) ¿Cuál es la tensión de cada cuerda?
- b) Suponiendo que la onda se propaga en el aire a 340 m/s ¿cuál es la longitud de onda de la onda sonora en este último medio?
- c) Ahora se cambia la tensión de la cuerda de uno de los instrumentos hasta que la frecuencia de la pulsación o batido escuchada entre los dos sea 5 Hz ¿En qué proporción se cambió la tensión?

**10-** Dos focos sonoros emiten simultáneamente ondas de la misma frecuencia = 425 Hz, siendo la velocidad del sonido en el aire  $v = 340$  m/s. Si se coloca un aparato registrador de sonido a  $x_1 = 100$  m del primer foco y a  $x_2 = 101.2$  m del segundo. ¿Se registrará sonido en el aparato?

**11-** Dos ondas transversales armónicas, cada una de las cuales tiene una amplitud de 2.5 cm y longitud de onda  $\lambda = 5$  cm, se propagan en una cuerda en sentidos opuestos, con la velocidad de 6.25 mm/s. Suponiendo que para  $t = 0$  y  $x = 0$  el desfase es nulo, representen gráficamente la forma de la cuerda en los instantes siguientes:

- a)  $t = 0$  s.
- b)  $t = 2$  s.
- c)  $t = 4$  s.

**12-** Dos ondas armónicas se mueven simultáneamente a lo largo de un alambre largo. Sus funciones de ondas son:  $y_1 = 0.002\cos(6x-600t)$ ,  $y_2 = 0.002\cos(5.8x-580t)$ ; en donde  $x$  e  $y$  están en metros y  $t$  en segundos.

- a) ¿Cuál es el desplazamiento mayor que se produce en el alambre?
- b) Escriban la función de onda de la onda resultante. ¿Cuál es la velocidad de fase de esta onda?
- c) ¿Cuál es la velocidad de grupo?
- d) ¿Cuál es la separación en el espacio de dos crestas sucesivas en el grupo?
- e) ¿Estas ondas poseen dispersión o carecen de ellas?

**13-** Una onda sonora unidimensional en un medio dispersivo es la superposición de dos ondas monocromáticas, de números de onda  $k_1 = 6 \text{ m}^{-1}$  y  $k_2 = 5.8 \text{ m}^{-1}$ . La amplitud de ambas es de  $2 \cdot 10^3$  cm y la relación de dispersión del medio viene dada por:

$$\omega^2 = v^2 k^2 + \alpha^2$$

Siendo  $v = 500$  m/s y  $\alpha = 300 \text{ s}^{-1}$ .

- a) Escriban la ecuación de onda de ambas ondas monocromáticas y de la resultante de la superposición.
- b) Calculen la velocidad de grupo y de fase de la onda resultante.

**14-** La velocidad de fase de las ondas superficiales en el agua, siempre que la longitud de onda sea menor que la profundidad es:

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\sigma}{\lambda\rho}}$$

Donde  $\sigma$  es la tensión superficial y  $\rho$  la densidad. Se pide:

- a) La velocidad mínima de propagación y la longitud de onda para esa velocidad.
- b) La longitud de onda cuando podamos despreciar la acción gravitatoria y la velocidad de propagación sea doble que la mínima.
- c) La longitud de onda cuando podamos despreciar la tensión superficial y la velocidad sea la misma que en el apartado anterior.
- d) La velocidad de grupo para este último caso.

Datos:  $\sigma = 75 \text{ din/cm}$ ;  $\rho = 1 \text{ g/cm}$ ;  $g = 980 \text{ cm/s}^2$ .

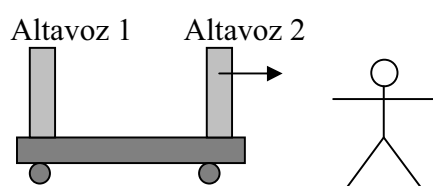
**15-** Un coche se mueve con una velocidad de  $17 \text{ m/s}$  hacia una pared estacionaria. Su bocina emite ondas sonoras de  $200 \text{ Hz}$  que se mueven a  $340 \text{ m/s}$ .

- Hallen la longitud de onda del sonido delante del coche y la frecuencia con la que la onda incide en la pared.
- Como las ondas se reflejan en la pared, ésta actúa como fuente de ondas sonoras a la frecuencia hallada en el apartado anterior. ¿Qué frecuencia oír la persona que conduce el coche de las ondas reflejadas en la pared?

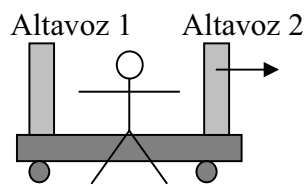
**16-** Un estudiante deja caer un diapasón vibrante de  $440 \text{ Hz}$  desde el último piso de un edificio elevado, cuando el diapasón alcanza el suelo, el estudiante oye una frecuencia de  $400 \text{ Hz}$ . ¿Qué longitud ha recorrido en su caída el diapasón?

**17-** Dos altavoces que emiten con una frecuencia de  $200 \text{ Hz}$ , se encuentran situados en los extremos de un vagón de tren que se mueve con una velocidad de  $10 \text{ m/s}$ .

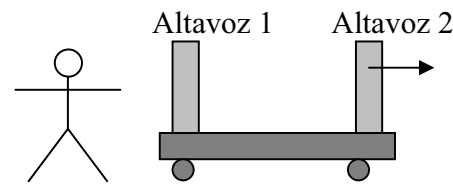
- ¿Cuál será la frecuencia de la pulsación que oye un observador que se encuentra situado delante del tren?
- ¿Cuál será la frecuencia de la pulsación que oye un observador que se encuentra enfrente del tren en el punto medio entre ambos altavoces?
- ¿Cuál será la frecuencia de la pulsación que oye un observador que se encuentra situado detrás del tren?



Caso a)



Caso b)



Caso c)

**18-** Comparen el diagrama de interferencia producido por dos fuentes coherentes de luz monocromática separadas una distancia  $a$ , con el que corresponde a una única fuente situada a una altura  $a/2$  sobre un espejo plano. ¿Cómo se modificará el primer diagrama si una de las fuentes se cubre con una película de índice de refracción  $n$  y de espesor  $e$ ?

**19-** Sobre una red de difracción incide normalmente un haz luminoso procedente de un tubo de descarga. ¿A qué deberá ser igual la constante de esta red para que en la dirección  $\varphi = 45^\circ 55'$  coincidan los máximos de los dos haces de longitudes de onda  $\lambda = 6680 \text{ Å}$   $\lambda' = 4175 \text{ Å}$ ?

**20-** Si el mínimo de primer orden en el caso de ondas superficiales en aguas profundas difractadas por una sola rendija de  $1 \text{ cm}$  de anchura se presenta en  $\theta = \frac{1}{6}\pi$ , ¿cuál es la frecuencia de las ondas?

**21-** Un haz de luz monocromática incide normalmente sobre una rendija de  $30 \mu\text{m}$  de anchura detrás de la cual hay una pantalla opaca situada a  $2 \text{ m}$  de distancia. Calculen la longitud de onda de la luz, sabiendo que la distancia entre los dos mínimos de tercer orden que aparecen en la pantalla es de  $20 \text{ cm}$ . ¿Cuál es la distancia entre los dos máximos de primer orden?

**22-** Sobre una red de difracción que contiene 4000 líneas/cm incide normalmente una onda luminosa monocromática de  $\lambda = 6330 \text{ Å}$ .

- Para qué ángulos se producen los máximos de intensidad. ¿Cuál es el número de estas direcciones?
- Para determinar la longitud de onda de la radiación amarilla del sodio, se ilumina normalmente la red con la lámpara. Observándose los máximos de primer y segundo orden de la intensidad para  $\theta_1 = 13^\circ 38'$  y  $\theta_2 = 28^\circ 7'$ . Calculen la longitud de onda de la luz amarilla del sodio. ¿Hay coherencia entre las dos medidas realizadas?
- Cuáles son los otros valores de  $\theta$  a los que corresponde un máximo de intensidad? ¿Cuántos máximos hay?

**23-** ¿Qué separación angular mínima deben tener dos objetos si han de ser resueltos justamente por el ojo? ¿A qué distancia mutua deben estar si se encuentran alejados ambos a 100 m? Supongan que el diámetro de la pupila del ojo es de 5 mm y que la longitud de onda de donde da la luz es de 600 nm.

**24-** Los faros delanteros de un automóvil que se acerca están a 1.3 m uno de otro. Estimen la distancia máxima a la cual se pueden resolver los dos faros a simple vista si el poder de resolución del ojo está determinado sólo por difracción. Supongan una longitud de onda promedio de 550 nm para el visible y un diámetro de la pupila de ojo de 5 mm.

**25-**Cuál es la frecuencia de las ondas electromagnéticas (en el vacío) que tienen las siguientes longitudes de onda:

- $10^{-8} \text{ cm}$  (rayos X).
- $5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$  (luz amarilla)
- 10 cm (ondas ultracortas)
- 300 m (ondas de radio)

**26-** ¿A qué es igual la relación que existe entre la energía del campo magnético de un circuito oscilante y la energía de su campo eléctrico en el momento en el que el tiempo es igual a  $T/8$ ?

**27-** Una onda sinusoidal electromagnética plana, de 40 MHz de frecuencia, viaja en el espacio libre en la dirección  $x$ . En algún punto y en un cierto instante, el campo eléctrico tiene su valor máximo, 750 N/C en la dirección del eje  $y$ .

- Determinen la longitud de onda y el periodo de la onda.
- Calculen la magnitud y la dirección del campo magnético cuando:  $\vec{E} = (750\vec{j}) \text{ N/C}$ .

**28-** Para detectar ondas electromagnéticas se puede utilizar una espira circular de hilo conductor. Supóngase que una estación de F.M. de 100 MHz radia 50 KW uniformemente en todas las direcciones. ¿Cuál es la tensión eficaz inducida en una espira de 30 cm de radio a una distancia de 100 Km de la estación?

**29-** Una carga acelerada irradia, por unidad de tiempo, una energía:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{q^2 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$$

Donde  $a$  es la aceleración y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío. En un acelerador lineal se aceleran protones hasta una energía de 20 MeV en una longitud de 200 m. Calculen las pérdidas de energía por radiación y comparen con la energía ganada en la aceleración.

**30-** Una bombilla ordinaria de 100 W emite un 5 % de su potencia en la parte visible del espectro.

- a) Calculen la intensidad media de la luz recibida de esa fuente en un punto  $X$  a una distancia  $d = 1$  m de la misma.
- b) Estimen las amplitudes de los campos eléctrico y magnético de esas ondas luminosas en el punto  $X$ .
- c) Calculen la presión  $p$  en  $X$  ejercida por todas las ondas electromagnéticas emitidas por la bombilla, sean visibles o no, sobre una superficie, en  $P$ , perpendicular a la línea que une la bombilla y el punto  $P$  de observación y que pasa por este.