12 La ecuación de una onda que se propaga por una cuerda es y (x, t) = 5 sen (0, 628t-2, 2x), donde x e y vienen dados en metros y t en segundos. Determinar:

1. Amplitud, frecuencia y longitud de onda.
2. Velocidad de un punto situado a 2 m del foco emisor en el instante t = 10 s. (Prueba de acceso)

a) Si comparamos la ecuación dada con la teórica :

$$\left.\begin{cases} y(x,t) = 5\text{sen}(0{,}628t - 2{,}2x) \\ y(x,t) = A\text{sen}2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{x}{\lambda}\right) \end{cases}\right\} \Rightarrow A = 5m; \frac{2\pi}{T} = 0{,}628 \Leftrightarrow T = \frac{2\pi}{6{,}28} \approx 10\ s; \frac{2\pi}{\lambda} = 2{,}2 \Leftrightarrow \lambda = 2{,}86m$$

la frecuencia es N = 1/ T = 1/10 = 0,1 Hz.

b) La velocidad es la derivada de la posición :

$$v(x,t) = {}^{dy}/_{dt} = 5{\cdot}0{,}628\cos(0{,}628t - 2{,}2x)$$

y sustituyendo x = 2 m y t = 10 s :

$$v(2{,}10) = 5{\cdot}0{,}628\cos(0{,}628{\cdot}10 - 2{,}2{\cdot}2) = 3{,}14\cos 1{,}88 = 3{,}14{\cdot}(-0{,}304) = -0{,}96\ \frac{m}{s}$$

13 Una onda longitudinal se propaga a lo largo de un resorte horizontal en el sentido negativo del eje de las x, siendo 20 cm la distancia entre dos puntos que están en fase. El foco emisor vibra con una frecuencia de 25 Hz y una amplitud de 3 cm. Hallar:

a) la velocidad en que se propaga la onda.

b) La ecuación de la onda, sabiendo que la elongación en el origen de coordenadas es cero en t = 0.

c) La velocidad y la aceleración máximas de cualquier partícula del resorte. (Prueba de acceso)

Longitud de onda = distancia entre dos puntos en fase = λ = 20 cm = 0,2 m
Frecuencia = 25 Hz.
Amplitud = A = 3 cm.
Sentido de propagación negativo (término de la fase que depende de la distancia positivo.

a) La rapidez de propagación es v = λ · N = 0,2 · 25 = 5 m/s.

b) Si la elongación en el origen (x = 0) es nula (Y = 0) para t = 0, la fase inicial es nula ya que Y(0,0) = sen 0º = 0, luego la ecuación de la onda es :

$$Y(x,t) = A\mathrm{sen}2\pi\left(Nt + \frac{x}{\lambda} + \varphi_0\right) = 3\mathrm{sen}2\pi\left(25t + \frac{x}{0,2} + 0\right) = 3\mathrm{sen}2\pi(25t + 5x)\ \mathrm{cm}$$

c) Para calcular la velocidad y la aceleración de cualquier partícula (no de la onda por el medio) necesitamos hacer la primera y segunda derivada de la ecuación de onda respecto del tiempo y hacer la parte trigonométrica máxima (es decir uno) :

$$V(x,t) = {}^{dY}\!/_{dt} = 3\cdot 2\pi\cdot 25\cos 2\pi(25t+5x) = 150\pi\cos 2\pi(25t+5x)\ \frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{s}} \Rightarrow V(x,t)_{max} = 150\pi\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{s}} = 1{,}5\pi\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$a(x,t) = {}^{dV}\!/_{dt} = -1{,}5\pi\cdot 2\pi\cdot 25\mathrm{sen}2\pi(25t+5x) = -75\pi^2\mathrm{sen}2\pi(25t+5x) \Rightarrow a(x,t)_{max} = -75\pi^2\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

❖❖❖❁❁❁✲❁❁❁❖❖❖

14 En un experimento realizado sobre la absorción del sonido por el papel, se ha obtenido una tabla de datos que relaciona el número de hojas de papel que se interponen entre un altavoz y un micrófono y la intensidad de sonido captado por éste, en unidades arbitrarias:

Nº de Hojas	4	8	12	16	20	24	32
Intensidad	13,0	7,8	4,8	2,4	1,7	1,2	0,6

Representa gráficamente la intensidad en función del espesor del papel interpuesto (40 hojas tienen un espesor total de 5 mm). ¿Es posible calcular el coeficiente de absorción del papel con este experimento?

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

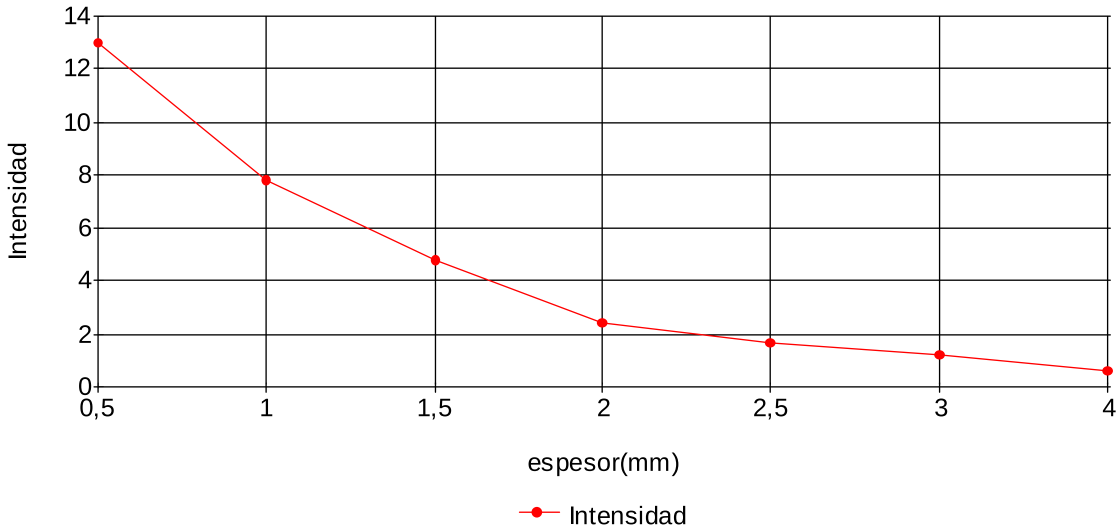
Añadimos a la tabla la fila del espesor, calculado por la proporción :

$$\frac{5\ \mathrm{mm\ de\ espesor}}{40\ \mathrm{hojas}} = \frac{x\ \mathrm{mm\ de\ espesor}}{\mathrm{N^o\ de\ hojas}}$$

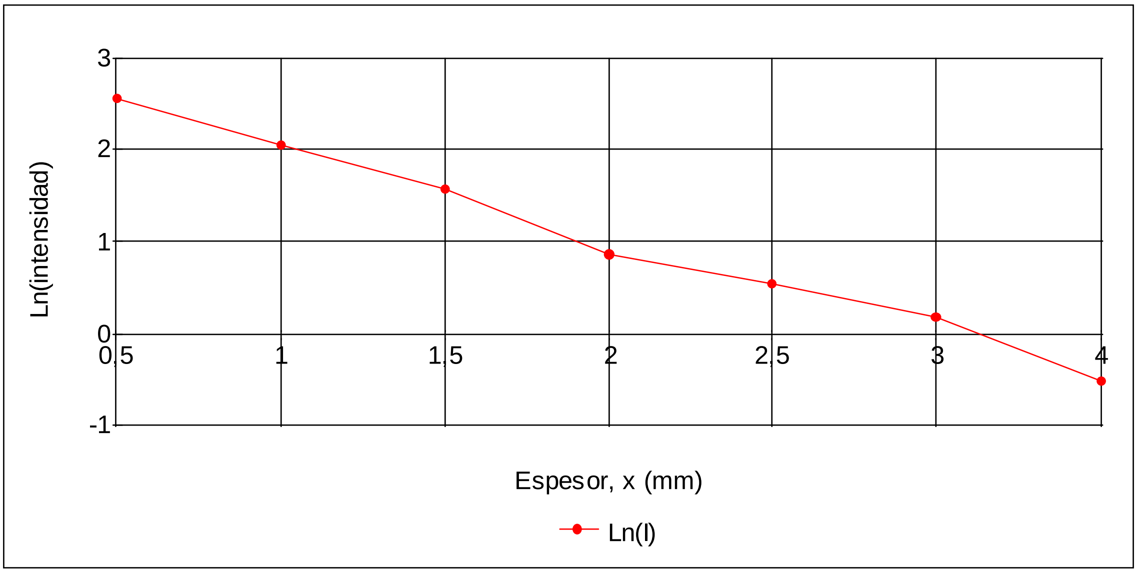
y otra cuarta columna (para hallar después el coeficiente) con el LnI :

Nº de Hojas	4	8	12	16	20	24	32
Intensidad	13,0	7,8	4,8	2,4	1,7	1,2	0,6
Espesor (mm)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4
Ln (Intensidad)	2,56	2,05	1,57	0,86	0,53	0,18	-0,51

Si representamos la intensidad frente al espesor tendremos :



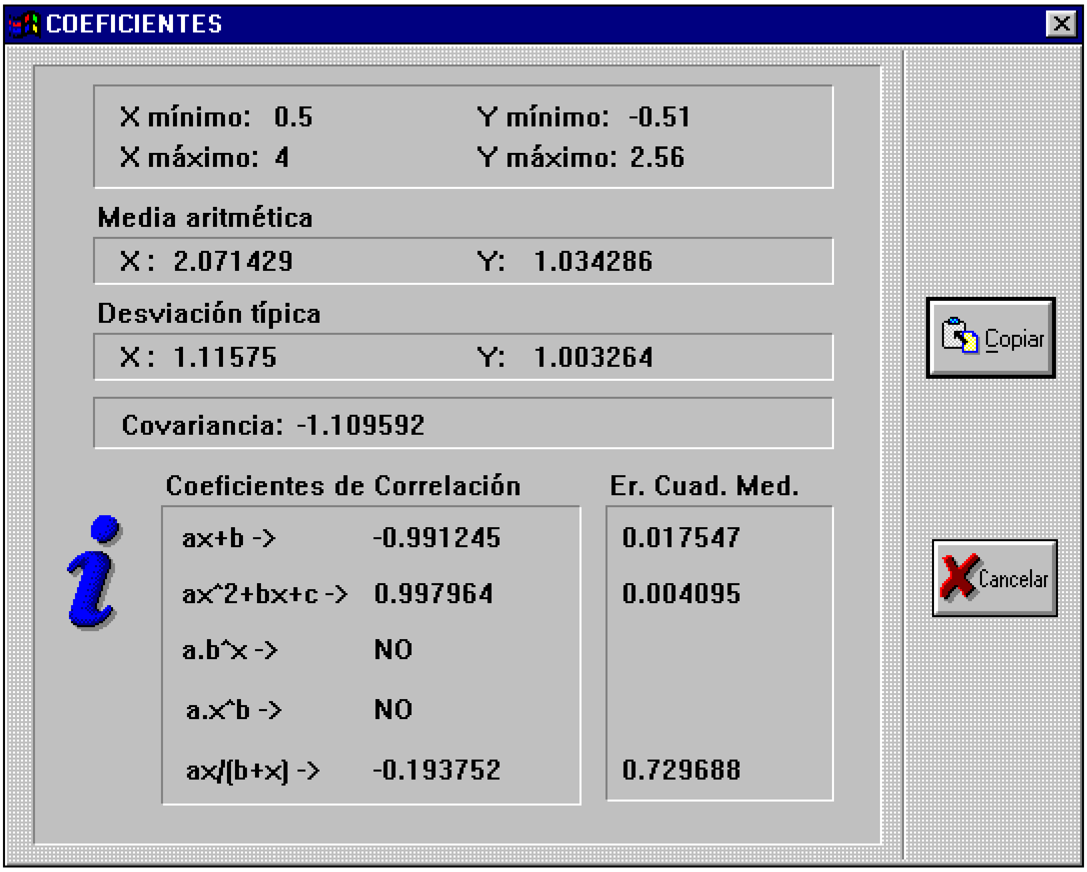
Si suponemos que sigue la ley de absorción : $I = I_0\, e^{-\beta x}$ tomando logaritmos neperianos tendremos $\mathrm{Ln}\, I = \mathrm{Ln}\, I_0 - \beta x$, si representamos LNI (tabulado en la tabla inicial) frente a x , la pendiente de la recta obtenida será el coeficiente buscado :



Apreciamos que es casi una línea recta. Su pendiente negativa la hallamos tomando dos valores, aunque lo ideal sería hacer una ajuste por mínimos cuadrados :

$$\beta = -\frac{\mathrm{LnI}_2 - \mathrm{LNI}_1}{x_2 - x_1} = -\frac{2{,}05 - 2{,}56}{1 - 0{,}5} = 1{,}02\,\frac{1}{\mathrm{mm}}$$

Presentamos en la pantalla siguiente los resultados de la correlación, en que vemos que la pendiente, supuesta correlación lineal es 0,991245 :



15 Dos movimientos ondulatorios coherentes de frecuencia 600 Hz, se propagan por un medio con una rapidez de 50 m/s. Calcula la diferencia de fase con que interfieren en un punto que dista de cada uno de los focos 25,2 y 27,3 m respectivamente.

Al ser coherentes los dos focos vibran con la misma frecuencia, tienen la misma amplitud y la diferencia de fase se mantiene constante.

Frecuencia = N = 600 Hz.
Rapidez = v = 50 m/s.
Distancia del primer foco = d_1 = 25,2 m
Distancia del segundo foco = d_2 = 27,3 m

Con la rapidez y la frecuencia calculamos la longitud de onda y el número de ondas (k) :

$$v = \lambda N \Rightarrow \lambda = \frac{v}{N} = \frac{50}{600} = 0{,}083\ \text{m} \Rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda} = 24\pi\ \text{m}^{-1}$$

Ahora la diferencia de fase :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi\left(Nt - \frac{d_1}{\lambda}\right) - 2\pi\left(Nt - \frac{d_2}{\lambda}\right) = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = k(d_2 - d_1) = 24\pi(27{,}3 - 25{,}2) = 50{,}4\pi\,\text{rad}$$

16 A lo largo de una recta constituida por un resorte se propagan dos movimientos ondulatorios armónicos de igual longitud de onda (36 cm), amplitud (1 cm) y velocidad, producidos por dos focos F_1 y F_2, tales que F_1 vibra según la ecuación y_1 = Asen ωt y F_2 lo hace con un retraso de 120º respecto a F_1. Determina la elongación en el instante t = 100 T s de una partícula situada a 3 m de los dos focos, como resultado de la interferencia de ambos movimientos.

Longitud de onda = λ = 36 cm = 0,36 m.
Amplitud = A = 1 cm = 0,01 m.
Velocidad = la misma.
Retraso = F_2 120º respecto de F_1
Tiempo = t = 100 T.
Distancia del foco = x = 3 m.

La elongación e Y(x,t) será la suma de las elongaciones de los dos focos en ese punto y en ese tiempo :

$$Y(x,t) = Y_1(x,t) + Y_2(x,t)$$

$$Y_1(3,100T) = A\operatorname{sen}2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right) = 1\cdot\operatorname{sen}2\pi\left(\frac{100T}{T}-\frac{3}{0,36}\right) = -0,87 \text{ cm}$$

$$Y_2(3,100T) = A\operatorname{sen}2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)+\frac{2\pi}{3} = 1\cdot\operatorname{sen}2\pi\left(\frac{100T}{T}-\frac{3}{0,36}\right)+\frac{2\pi}{3} = -2\cdot 10^{-9} \text{ cm}$$

$$Y(x,t) = -0,97 + (-2\cdot 10^{-9}) = -0,87 \text{ cm.}$$

17 Un haz estrecho de ondas sonoras que se propaga en el aire con rapidez v_1 = 340 m/s, incide con un ángulo de 15º sobre una superficie de agua en reposo. Determina la desviación del haz en el agua si la rapidez del sonido en ella es de 1 500 m/s.

Ángulo de incidencia, respecto de la vertical = i = 90º - 15º = 75º
Velocidad en el primer medio = v_1 = 340 m /s.
Velocidad en el segundo medio = v_2 = 1 500 m/s.

Hallamos primero el ángulo límite : $\operatorname{sen} i_L = \frac{v_1}{v_2} = \frac{340}{1500} = 0,227 \Rightarrow i_L = 13º6'33''$

Como el ángulo de incidencia es mayor que el límite habrá reflexión total y el haz no penetra en al agua.

18 Para determinar la rapidez de propagación del sonido en el agua, se coloca un foco en ella que emite con una frecuencia de 80 Hz y produce ondas de 1,80 m de longitud de onda. Determina esta rapidez.

Frecuencia = N = 80 Hz.
Longitud de onda = λ = 1,8 m.

$v = N \cdot \lambda = 80 \cdot 1{,}8 = 144$ m/s.

19 En un tubo lleno de aire se producen ondas estacionarias con la ayuda de un émbolo que vibra en un extremo del mismo; en estas condiciones, se comprueba que la distancia entre un determinado número de nodos es de 25 cm. Si se reemplaza el aire por otro gas, la distancia citada es de 35 cm. Con estos datos calcula la rapidez del sonido en dicho gas. (vaire = 340 m/s).

Las ondas estacionarias que se propagan por el interior del émbolo (cerrado en sus dos extremos) son de características análogas a las que se producen en una cuerda fija por sus extremos, luego velocidad de propagación es directamente proporcional a esa distancia entre nodos :

$$\frac{v_{gas}}{v_{aire}} = \frac{d_{gas}}{d_{aire}} \Rightarrow v_{gas} = \frac{d_{gas}}{d_{aire}} \cdot v_{aire} = \frac{35}{25} \cdot 340 = 476\ \frac{m}{s}$$

20 Determina la rapidez de propagación de una onda por una cuerda de 2 m sujeta por los dos extremos, si el llamado armónico fundamental (la menor frecuencia) es 350 Hz.

Longitud de la cuerda = L = 2 m.
Frecuencia del armónico fundamental = N = 350 Hz.
n = 1, ya que es el primer armónico o armónico fundamental.

Al ser una cuerda sujeta por los dos extremos la relación entre su longitud y la longitud de onda es :

$$L = n\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{n} = \frac{2 \cdot 2}{1} = 4\ m$$

Luego la rapidez es $v = N \cdot \lambda = 350 \cdot 4 = 1\,400$ m/s.

21 En un tubo sonoro de 30 cm de longitud cerrado por un extremo, hay un nodo en el extremo cerrado y un vientre en el extremo abierto. Si no existen más nodos que el citado y la frecuencia de emisión del tubo es 280 Hz, determina la rapidez del sonido.

Longitud del tubo = L = 30 cm = 0,3 m.
Frecuencia = 280 Hz.

Como el tubo está cerrado por un solo extremo equivale a una cuerda fija por un extremo y al tener un nodo en el extremo cerrado y un vientre en el abierto (ver figura 7.6 de la página 133) se trata del primer armónico o armónico fundamental (n = 0) , luego :

$$L = (2n+1)\frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda = \frac{4L}{2n+1} = \frac{4\cdot 0,3}{0+1} = 1,2 \text{ m}$$

Luego la rapidez es v = N · λ = 280 · 1,2 = 336 m/s.

22 Un coche viaja a 72 km/h en dirección perpendicular a una pared. Cuando se aproxima hacia ella, hace sonar una bocina cuya frecuencia es 140 Hz. Teniendo en cuenta que se produce un doble efecto Doppler, ¿qué frecuencia recibe el conductor, una vez reflejado el sonido en la pared?

Velocidad del coche = v_0 = 72 km/h = 72 000/ 3600 m/s = 20 m/s.
Frecuencia de emisión = N = 140 Hz .
Velocidad del sonido en el aire = v = 340 m/s.

El coche es el emisor y el receptor, como la onda reflejada en la pared viaja en sentido contrario hay aproximación relativa, luego la fórmula es :

$$N_1' = N\frac{v+v_0}{v-v_0} = 140\,\frac{340+20}{340-20} = 157'5 \text{ Hz}$$

Si el automóvil se para :

$$N_2' = N\frac{v}{v-v_0} = 140\,\frac{340}{340-20} = 148'75 \text{ Hz.}$$

AUTOEVALUACIÓN

① *Define qué entiendes por onda y distingue entre ondas longitudinales y transversales. ¿Qué fenómeno permite diferenciarlas?*

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

Un movimiento ondulatorio u onda es la propagación de una perturbación a través del espacio en el tiempo.

➠ **Ondas longitudinales**: son aquellas en las que el movimiento vibratorio tiene la misma dirección que su propagación a través del medio; son las que se producen en un muelle cuando las espiras se mueven oscilando en la misma dirección que la transmisión del movimiento ondulatorio. Estas ondas se producen al comprimir y luego soltar una zona del muelle. Es el caso del sonido que se propaga a través de un fluido o las ondas sísmicas primarias (P).

➠ **Ondas transversales**: son aquellas en las que el movimiento vibratorio tiene lugar en la dirección perpendicular a la de su propagación por el medio; son las que se producen en la superficie del agua o en las cuerdas y en los muelles cuando los puntos de los mismos se mueven oscilando perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Estas ondas se consiguen cuando con las manos producimos sacudidas perpendiculares a la línea o a la superficie de estos objetos. La propiedad física que se propaga varía en una dirección perpendicular al rayo. Las ondas sísmicas secundarias (S) son ejemplos de ondas transversales.

Permite diferenciarlas la relación entre la dirección de propagación y la dirección de vibración de las partículas del medio.

✦✦✦❁❁❁✲❁❁❁✦✦✦

② *Dos focos emisores de ondas vibran con movimientos armónicos de la misma frecuencia, siendo la amplitud de uno el doble que la del otro. ¿Qué relación hay entre las intensidades que producen?*

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

Amplitud de la segunda = A_2 = doble de la amplitud de la primera = $2A_1$.

Como la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud y la frecuencia, al ser esta última la misma, la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{kA_2^2}{kA_1^2} = \frac{(2A_1)^2}{A_1^2} = \frac{4A_1^2}{A_1^2} = 4$$

La relación es el cuádruplo.

✦✦✦❁❁❁✲❁❁❁✦✦✦

③ Una onda sonora de 500 Hz de frecuencia se propaga en el aire. Si su longitud de onda es de 70 cm y su intensidad 0,25 $\mu W/cm^2$, halla la rapidez máxima de vibración de las partículas de aire y escribe la ecuación general de la onda.

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

Frecuencia = N = 500 Hz.
Longitud de onda = λ = 70 cm = 0,70 m
Intensidad = 0,25 $\mu W/cm^2$ = $0{,}25 \cdot 10^{-2}$ W/m^2.

Necesitamos conocer la amplitud y para ello hemos de saber la rapidez de propagación : $v_p = \lambda \cdot N = 0{,}7\ m \cdot 500\ Hz = 350\ m/s$

Ahora de la fórmula de la intensidad despejamos la amplitud de vibración :

$$I = 2\pi^2 d_{aire} v_p N^2 A^2 \Rightarrow A = \sqrt{\frac{I}{2\pi^2 d_{aire} v_p N^2}} = \sqrt{\frac{2{,}5 \cdot 10^{-3}}{2\pi^2 \cdot 1{,}2 \cdot 350 \cdot 500^2}} = 1{,}1 \cdot 10^{-6}\ m$$

Como el sonido es transversal al ecuación de onda es :

$$X(x,t) = A \cos 2\pi\left(Nt - \frac{x}{\lambda}\right) = 1{,}1 \cdot 10^{-6} \cos 2\pi(500t - 1{,}43x)\ m$$

La velocidad de vibración es la derivada de la función de onda respecto del tiempo :

$$v(x,t) = dX/dt = -1{,}1 \cdot 10^{-6} 1000\pi \operatorname{sen} 2\pi(500t - 1{,}43x) \Rightarrow v_{max} = -1{,}1 \cdot 10^{-6} 1000\pi \approx 3{,}46 \cdot 10^{-3}\ \frac{m}{s}$$

✦✦✦❁❁❁✲❁❁❁✦✦✦

④ ¿Por qué se captan mejor las emisiones de radio en zonas próximas a las emisoras que en zonas alejadas y qué papel cumplen las antenas parabólicas?

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

Porque los fenómenos de atenuación y absorción hacen disminuir la intensidad de la onda emitida, por eso se instalan antenas parabólicas que recogen la onda, para amplificar su señal y actuar como un nuevo emisor, repetidor de señal.

✦✦✦❁❁❁✲❁❁❁✦✦✦

⑤ Explica cuándo dos puntos de un medio alcanzados por un MO están en fase o desfasados. Aplícalo al caso de dos puntos que se encuentran a 10 y 16 m respectivamente del foco de un MO de 0,04 s de periodo y cuya rapidez de propagación es de 300 m/s.

◊◊◊▣▣▣◉▣▣▣◊◊◊

Se denomina fase de la onda al término (ωt - kx) = $2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right)$. Los puntos que están en idéntico estado de perturbación se dice que están **en fase (concordancia de fase)** si los estados de vibración son opuestos se dice que están en **oposición de fase**.

Partiendo de la ecuación general del MO, establezcamos qué condiciones deben cumplir dos puntos del espacio para encontrarse en el mismo estado de vibración con la misma elongación y rapidez, es decir, encontrarse en concordancia de fase y calculemos la distancia que debe separar dos puntos por los que se propaga una onda para que se encuentren en oposición de fase.

En el primer caso, los dos puntos alcanzados por la onda deben encontrarse en el mismo estado de vibración; ello significa que la diferencia de fase $\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} d_1\right) - \left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} d_2\right)$ es un número entero de 2π radianes (φ_1 - φ_2 = nπ2 = 2nπ) para que el valor de la función sea el mismo; en el segundo caso los dos puntos se encuentran en estado de vibración opuestos y en consecuencia la diferencia de fase tiene que ser un número impar de π radianes (φ_1 - φ_2 = (2n + 1)π)

¿Qué distancia separa a dos puntos en fase y a dos puntos en oposición de fase en un determinado instante?

En estos casos Δφ= 2πd/λ, puesto que t = Cte.

a) la condición de concordancia de fase es:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi\frac{d_1}{\lambda} - 2\pi\frac{d_2}{\lambda} = n2\pi \Rightarrow d_1 - d_2 = n\lambda$$

es decir, que la diferencia de sus distancias al foco sea un número entero de longitudes de onda.

b) la condición de oposición de fase es:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi\frac{d_1}{\lambda} - 2\pi\frac{d_2}{\lambda} = (2n+1)\pi \Rightarrow d_1 - d_2 = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

o sea, que la diferencia de sus distancias al foco sea un número impar de semilongitudes de onda.

Rapidez de propagación = v = 300 m/s.
Período = T = 0,04 s.
d_1 = 10 m.
d_2 = 16 m.

Hallamos la longitud de onda del movimiento :

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \lambda = vT = 300 \cdot 0{,}04 = 12\ m$$

Y ahora comprobamos cuál de las dos relaciones anteriores cumple la diferencia de distancias :

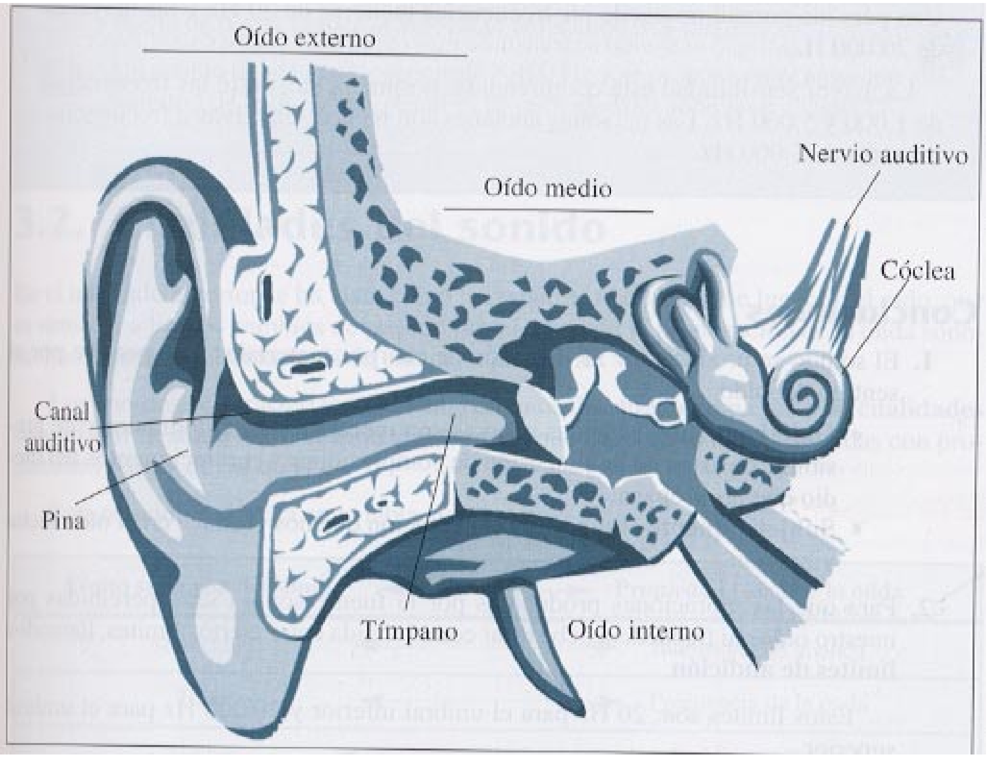
$$d_2 - d_1 = 16 - 10 = 6 = \frac{\lambda}{2} = \frac{12}{2}$$

es decir la diferencia de distancia es un número impar de semilongitudes de onda, luego los puntos están en oposición de fase.

❻ ¿Cuál es el fenómeno que permite que nuestros oídos capten las ondas sonoras?; ¿será el mismo fenómeno que permite al sintonizador de la radio captar las distintas emisoras?

Un detector de sonido transforma la energía que transporta la onda sonora en otros tipos de energía. El elemento fundamental de un detector es un diafragma que vibra a la misma frecuencia de las ondas que percibe.

El oído es un detector de sonido asombroso. Puede captar una gran variedad de frecuencias e intensidades. Además, el oído humano puede distinguir entre muchas calidades de sonido.

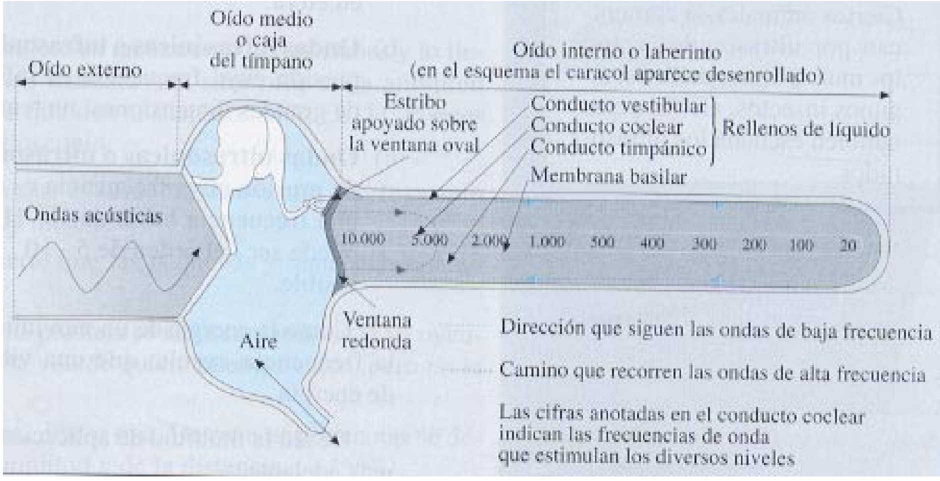


Cuando una onda sonora llega al oído, éste convierte los cambios de presión de la onda en impulsos nerviosos, que son posteriormente procesados y analizados por el cerebro. Aunque este proceso es complejo, discutiremos algunas características de la audición.

El oído se divide en tres partes: oído ***externo***, ***medio*** e ***interno*** .

Oído externo. Consta de la parte visible o pabellón auditivo, del canal auditivo y del tímpano. El pabellón auditivo recoge las ondas sonoras que viajan por el aire del canal auditivo hasta el tímpano. Las ondas hacen vibrar el tímpano con la misma frecuencia que la fuente emisora.

Oído medio. Consta de tres huesos pequeños. Estos huesecillos transmiten las vibraciones del tímpano hasta Una ventana ovalada en el oírlo interno



Oído interno. Está lleno de un líquido acuoso. Las vibraciones se transmiten a través del líquido hasta las células sensibles de la membrana basilar que se extiende a lo largo de la espiral de la cóclea. La rama coclear del nervio auditivo transmite las pequeñas vibraciones de las células sensibles a través de fibras nerviosas que van hacia el cerebro produciendo la sensación de sonido.

Se basa en el fenómeno de **resonancia** del tímpano a la misma frecuencia que la onda que llega hasta él, la sintonización de las distintas emisoras se basa en el mismo fenómeno de la **resonancia**.

⑦ Una emisora de radio emite con una frecuencia de 10 MHz; ¿podrían observarse fenómenos de difracción con esas ondas?

Hallamos la longitud de onda suponiendo la velocidad la de una onda electromagnética :

$$c = \lambda N \Rightarrow \lambda = \frac{c}{N} = \frac{3{\cdot}10^{8}\,m/s}{10^{7}\,Hz} = 30\ m$$

Se producirá difracción en aquellos objetos cuyo tamaño sea similar a 30 m.

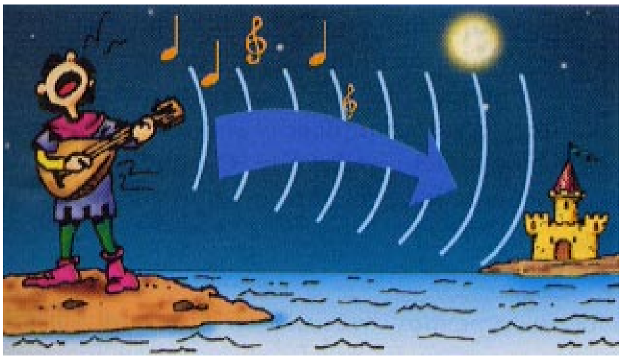
⑧ En los instrumentos musicales de viento los distintos sonidos o notas se consiguen abriendo o cerrando orificios mediante pistones o con las yemas de los dedos; ¿sabrías decir por qué?

Un caso interesante de formación de ondas estacionarias sonoras son las que se originan en los instrumentos musicales, que constituyen una variedad de dispositivos para la producción de sonidos y por ello, son la base de la música.

En los instrumentos de cuerda las ondas estacionarias se producen con los extremos fijos, y en los instrumentos de viento, tanto de madera como de metal, con un extremo libre o incluso con los dos libres. Por tanto conseguimos las diferentes notas variando la longitud de la cuerda desplazando los dedos sobre ella (guitarra, viola, contrabajo, cte.) o la longitud de la columna de aire que vibra mediante los pistones o las yemas de los dedos (trompeta, clarinete, flauta, etc.). Debemos tener presente que, por ejemplo, los instrumentos de cuerda serían poco sonoros si únicamente dependieran de sus cuerdas en vibración para producir las ondas sonoras, porque las cuerdas son demasiado finas como para expandir y comprimir mucho aire.

Por ello, estos instrumentos hacen uso de un amplificador mecánico, que es la caja de resonancia, cuya función es "amplificar el sonido" al presentar una mayor superficie en contacto con el aire. Cuando las cuerdas vibran, la caja de resonancia hace lo mismo y con ella el aire en contacto con la caja.

⑨ Razona por qué de noche se oyen mejor los sonidos a una cierta distancia del foco que de día a pleno sol.



Ya que la rapidez de propagación del sonido depende de la temperatura del aire, de día la temperatura es mayor que de noche debido al calentamiento por los rayos solares, estando el aire frío por encima del caliente, durante la noche es al revés el aire frío está más cercano a la tierra (que se enfría antes), como hay dos medios con velocidades de propagación distintas se produce el fenómeno de la refracción que hace variar el ángulo de propagación hacia abajo con lo que las ondas llegan mejor a quien esté a nivel del suelo.

①⓪ Da una explicación de por qué cuando oímos una sirena de coche se percibe distinto tono al acercarse o alejarse de nuestra posición.

Seguramente habrás observado alguna vez el fenómeno siguiente. Cuando una ambulancia se aproxima a un observador parado el tono del sonido que emite la sirena varía; es más agudo mientras se aproxima y se hace más grave cuando la ambulancia se aleja. Lo mismo ocurre si la ambulancia está parada y es el observador el que se mueve.

Este cambio en la frecuencia del sonido cuando existe movimiento relativo entre la fuente que lo emite y es el observador que lo percibe recibe el nombre de efecto Doppler.

Aparece el efecto Doppler siempre que hay un movimiento relativo entre la fuente y el observador. Cuando la fuente y el observador se mueven uno hacia el otro, la frecuencia escuchada por el observador es mayor que la frecuencia de la fuente. Cuando la fuente y el observador se mueven alejándose uno del otro, el observador escucha una frecuencia que es menor que la frecuencia emitida por la fuente.