

**1** El nombre de movimiento ondulatorio tiene su origen el movimiento de las olas del mar o en el ondear de una bandera al viento; indica otros ejemplos de fenómenos de esta naturaleza.



Propagación de una vibración por una cuerda, estiramiento o compresión elásticos de muelles, propagación de ondas sísmicas por la corteza terrestre, propagación del sonido y de la luz, propagación de una perturbación por la superficie de un líquido, sólido o gas.



**2** Realiza con muelles y/o cuerdas diferentes movimientos ondulatorios agitando ambos con las manos.



Ejercicio práctico: ponte media hora a altar con a la comba y otra media, cada día a practicar estiramiento de muelles para hacer bíceps.



**3** Dos personas sujetan tensa una cuerda gruesa y una de ellas produce una sacudida; ¿qué le ocurre a la otra? ¿Y a la cuerda? ¿Cómo se ha propagada la sacudida?



La otra persona recibe la sacudida, algo amortiguada en el caso real, al cabo de cierto tiempo, ya que la energía y la cantidad de movimiento iniciales comunicadas a la cuerda por la primera persona se transmiten por ella, haciendo vibrar cada punto de la cuerda en el instante en que la sacudida le llega, comunicándola de unas partículas a las contiguas hasta llegar a la persona que recibe la sacudida.



**4** ¿Podrías indicar qué aspecto de la conducción es diferente a la propagación de, por ejemplo, una onda en el agua?



Aunque en el fenómeno de conducción del calor en sólidos ( la electricidad sí implica movimiento de materia, ya que los electrones se desplazan a lo largo del conductor) la energía se transmite de una partícula a otra del medio, igual que en el movimiento ondulatorio, aquel fenómeno no es periódico ni hace vibrar a las partículas con un movimiento armónico simple ( en el caso ideal) sino con una energía cinética estadísticamente proporcional al gradiente de la propiedad que se conduce.



**5** Indica la forma de producir una onda o un tren de ondas en la superficie del agua.



Produciendo una perturbación inicial en el agua comunicándole una energía inicial en un punto del medio, esta pulso de energía se trasmite a las moléculas contiguas del agua haciéndolas vibrar y estas a sus contiguas y así sucesivamente se propaga el pulso por la superficie del agua.

Si en vez de una perturbación instantánea la perturbación se mantiene, continua, se origina un tren de ondas o sea una sucesión de pulsos que se propagan por el agua.



**6** Se ata a una cuerda en un punto P, en la zona central de la misma, un hilo de color. Se sujeta la cuerda con la mano por uno de sus extremos, se produce una sacudida y se observa el bucle formado en un tiempo  $4t$ . ¿Depende de la sacudida de la mano el tiempo que tarda el bucle en llegar a P? ¿por qué?



No depende del pulso inicial sino de características de la cuerda como lo tensa que esté ( de manera directa ), del material, de la longitud y de su masa.



**7** ¿Podrías dar una explicación mecánica a estos hechos, recordando que la materia está formada por partículas en movimiento? Aplícalo a la propagación de las ondas sísmicas P y S por los diferentes medios.



En un sólido las partículas constituyentes están en posiciones fijas ( salvo pequeñas vibraciones sobre la posición de equilibrio) y en contacto lo que hace que puedan transmitir la vibración transversal ( resistencia a la flexiones) y la compresión longitudinal de unas a otras, pero en los líquidos las partículas constituyentes están en movimiento continuo y pueden fluir, deslizarse, unas sobre otras lo que hace imposible la transmisión de vibraciones transversales es decir ofrecen resistencia a comprensiones ( fuerzas longitudinales ) pero no a las flexiones ( fuerzas perpendiculares) aunque sí pueden “ empujarse “ unas a otras y transmitir las compresiones de las ondas longitudinales.



**8** Una cuerda de 40 m de longitud tiene una masa de 2,5 Kg. Determina la rapidez de propagación de una onda transversal producida en un extremo si la tensión es 40 N.



Longitud =  $L = 40 \text{ m}$ .  
 Masa =  $m = 2,5 \text{ kg}$ .  
 Tensión =  $T = 40 \text{ N}$ .

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/L}} = \sqrt{\frac{40}{2,5/40}} = 25,3 \frac{m}{s}$$



**9** Razona la relación que existe entre la frecuencia y el periodo. Cita ejemplos de la vida cotidiana en que aparezcan ambas magnitudes, aunque no tengan relación con las ondas.



El período (T) es el tiempo que tarda un móvil en recorrer un ciclo completo.  
La frecuencia (N) es el número de ciclos que el móvil realiza en un segundo.

Son magnitudes opuestas:  $N = 1/T$ , expresado también como  $T \cdot N = 1$ .

El autobús pasa por la parada cada cuarto de hora (T) y da una vuelta cada cuarto de hora (N).

Nuestro planeta da una vuelta completa sobre sí misma cada 24 horas (T) y la frecuencia de rotación es 1/24 ciclos/hr.

Un niño muere de desnutrición cada minuto (N) y cada minuto muere un niño de desnutrición (T).



**10** Se deja gotear con un cuentagotas agua sobre una bañera a un ritmo de 3 gotas cada segundo. Determina la frecuencia y el periodo del movimiento ondulatorio que se produce.



Período = tiempo que transcurre entre dos gotas consecutivas =  $T = 1/3$  s.  
Frecuencia = número de gotas por segundo = 3 gotas /s.



**11** ¿Qué magnitudes cambian, cuando una onda pasa de una cuerda gruesa a otra fina? ¿Te recuerda lo anterior los diferentes valores de la rapidez de las ondas sísmicas en los terremotos?



La densidad por unidad de longitud pues, si son del mismo material, la más gruesa tendrá más masa y por tanto mayor densidad por unidad de longitud. Como la velocidad de propagación es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de esa densidad por unidad de longitud, la velocidad de propagación será menor en una cuerda gruesa que en una más delgada.



**12** Sabiendo que la frecuencia de un movimiento ondulatorio es de 50 hercios, determina las longitudes de onda que tendrá este movimiento ondulatorio en dos medios en los que las rapideces de propagación de onda son 36 y 9 m/s, respectivamente. Dibuja los perfiles de las dos ondas.

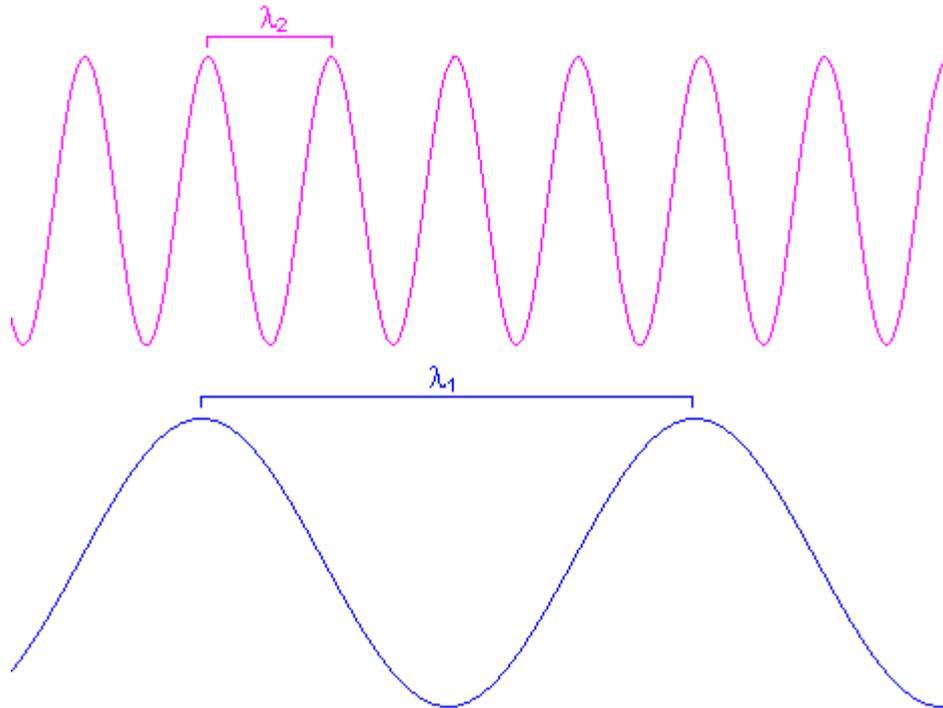


Frecuencia =  $N = 50 \text{ Hz}$ .

$v_1 = 36 \text{ m/s}$ .

$v_2 = 9 \text{ m/s}$ .

$$v = \lambda \cdot N \Leftrightarrow \lambda = \frac{v}{N} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{v_1}{N} = \frac{36}{50} = 0,72 \text{ m}; \lambda_2 = \frac{v_2}{N} = \frac{9}{50} = 0,18 \text{ m}$$



La longitud de onda de la segunda es cuatro veces mayor que la primera pues su velocidad es la cuarta parte.



**13** Al producir ondas circulares en el agua dejando gotear un líquido en una cubeta de ondas, observamos que la distancia entre dos crestas consecutivas es de 4 cm y que por un punto pasan 30 crestas cada minuto; con estos datos determina la rapidez de propagación de este movimiento ondulatorio.



*Distancia entre dos crestas consecutivas = longitud de onda =  $\lambda = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$ .*

*Frecuencia =  $N = 30 \text{ crestas} / 60 \text{ s} = 0,5 \text{ Hz}$*

$$v = \lambda N = 0,04 \cdot 0,5 = 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



**14** De un muelle se cuelga verticalmente un cuerpo de masa  $m$ ; se estira una longitud de 2 cm y se suelta, produciendo oscilaciones de 0,5 s de periodo. Con estos datos escribe la ecuación del MAS

originado. Considera que la fase inicial,  $\varphi_0$  es cero. ¿Cuál es la rapidez de vibración? ¿Cuándo es máxima y cuándo es mínima?



Amplitud = elongación máxima = 2 cm = 0,02 m.  
 Period = T = 0,5 s.  
 Fase inicial =  $\varphi_0 = 0$

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right) = 0,02 \cos\left(\frac{2\pi}{0,5} t\right) = 0,02 \cos 4\pi t$$

La rapidez de la vibración es la derivada de la elongación respecto del tiempo :

$$v = \frac{dx}{dt} = -0,02 \cdot 4\pi \text{sen} 4\pi t = -0,08\pi \text{sen} 4\pi t$$

Esta rapidez será máxima cuando el seno sea la unidad, la fase de  $90^\circ$ , es decir en el punto central de equilibrio ( elongación nula) y será mínima, nula, en los extremos cuando el ángulo es nulo o un múltiplo de  $180^\circ$  ( elongación máxima).



**15** ¿Podrías explicar el significado físico de la fase inicial? ¿es consecuencia del MAS o del MO?



Es el ángulo o fase que tiene el foco de la perturbación antes de comenzar el MAS ( $t= 0$ )

Es consecuencia del MAS, en el MO podrías considerar un punto del medio anterior al foco y tendríamos un espacio inicial  $y_0$ .



**16** Dadas las ondas descritas por las siguientes ecuaciones: a)  $x = 2 \cos 2\pi (t/ 0, 01- d/30)$  y b)  $x = \text{sen } 7\pi (t - d/5)$ ; extrae la máxima información sobre sus características, si todos los valores vienen dados en el SI.



Serán transversales o longitudinales dependiendo de en qué eje este medida la distancia d, si en es el eje horizontal (  $d = x$  ) serían longitudinales y si la distancia la medimos según el eje vertical (  $d = y$  ) serían transversales ( la perturbación y la partícula tiene movimientos perpendiculares ).

o) Procedemos por comparación :

$$\left[ \begin{array}{l} x = A \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} + \delta_0 \right) \\ x = 2 \cos 2\pi \left( \frac{t}{0,01} - \frac{d}{30} \right) \end{array} \right] \Rightarrow A = 2 \text{ m}; T = 0,01\text{s}; N = \frac{1}{T} = 100 \text{ Hz}; \lambda = 30 \text{ m}; v = \lambda N = 3000 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \delta_0 = 0$$

sentido de propagación el positivo del eje y foco en la máxima elongación.

**b)**

$$\left[ \begin{array}{l} x = A \text{sen} 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} + \delta_0 \right) \\ x = \text{sen} 2\pi \left( \frac{t}{2} - \frac{d}{10} \right) \end{array} \right] \Rightarrow A = 1 \text{ m}; T = 2\text{s}; N = \frac{1}{T} = 0,5 \text{ Hz}; \lambda = 10 \text{ m}; v = \lambda N = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \delta_0 = 0$$

sentido de propagación, el positivo y foco en el centro o punto de equilibrio de la vibración.



**17** 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 la misma fase ( $\lambda$ ). El foco emisor vibra con una frecuencia de 25 Hz y una amplitud de 3 cm. Halla:

- a) la rapidez de propagación de la onda.
- b) la ecuación de la onda, sabiendo que la elongación en el origen de coordenadas es cero en  $t = 0$ .
- c) la rapidez y la aceleración máximas de cualquier partícula del resorte.



Tipo de onda = longitudinal.  
 Sentido : negativo.  
 Longitud de onda =  $\lambda = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$ .  
 Frecuencia =  $N = 25 \text{ Hz}$ .  
 Amplitud =  $A = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$ .

a)  $v = \lambda \cdot N = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ m/s}$ .

b) Fase inicial = 0

$$X(x,t) = A \text{sen} 2\pi \left( Nt + \frac{x}{\lambda} + \delta_0 \right) = 0,03 \text{sen} 2\pi \left( 25t + \frac{x}{0,2} \right)$$

c) Derivamos y hacemos la función trigonométrica ( seno o coseno ) tomar el valor máximo que es la unidad :

$$v_v = \frac{dX}{dt} = 1,5\pi \cos 2\pi \left( 25t + \frac{x}{0,2} \right) \Rightarrow v_{\text{máx}} = 1,5\pi \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



**20** Dibuja de forma cualitativa la curva que representa la amplitud de una onda con la distancia de avance para:

- a) Una onda lineal.
- b) Una onda plana circular.
- c) Una onda esférica.



a) Sea una onda lineal que se propaga desde el foco F con una potencia P, la intensidad (potencia por unidad de superficie) en un punto Q<sub>1</sub> situado a una distancia r<sub>1</sub> de F sería :

$$I_1 = \frac{P}{x}, \text{ siendo } x \text{ el tamaño o superficie del punto a esa distancia } r_1 .$$

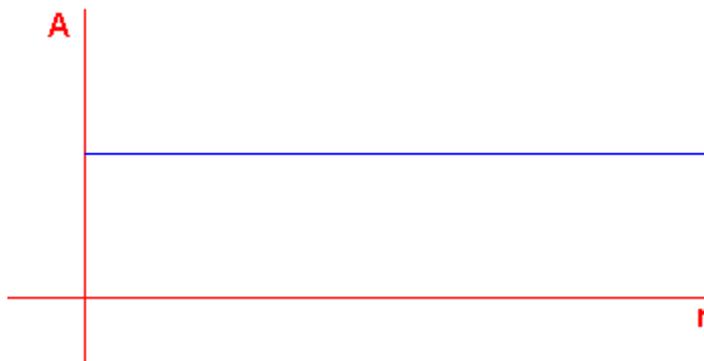
Y en un punto Q<sub>2</sub> situado a una distancia r<sub>2</sub> de F sería :

$$I_2 = \frac{P}{x}, \text{ siendo } x \text{ el tamaño o superficie del punto a esa distancia } r_2 .$$

Luego su relación :  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{P/x}{x}}{\frac{P/x}{x}} = 1$ , y como la Intensidad es proporcional al cuadrado de la

$$\text{amplitud: } \frac{I_1}{I_2} = \frac{kA_1^2}{kA_2^2} = 1 \Leftrightarrow \frac{A_1}{A_2} = 1 \Leftrightarrow A_1 = A_2 = \text{constante} .$$

La representación es una línea recta horizontal :



b) Sea una onda plana circular que se propaga desde el foco F con una potencia P, la intensidad (potencia por unidad de superficie) en un punto Q<sub>1</sub> situado a una distancia r<sub>1</sub> de F sería :

$$I_1 = \frac{P}{2\pi r_1}, \text{ siendo el denominador la superficie a esa distancia } r_1 .$$

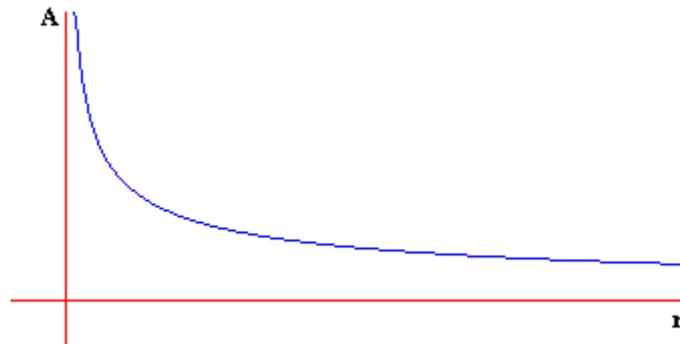
Y en un punto Q<sub>2</sub> situado a una distancia r<sub>2</sub> de F sería :

$$I_2 = \frac{P}{2\pi r_2}, \text{ siendo el denominador la superficie a esa distancia } r_2 .$$

Luego su relación :  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{P/2\pi r_1}{P/2\pi r_2} = \frac{r_2}{r_1}$ , y como la Intensidad es proporcional al cuadrado

de la amplitud:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{kA_1^2}{kA_2^2} = \frac{r_2}{r_1} \Leftrightarrow \frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{r_2}{r_1}} \Leftrightarrow A = \sqrt{\frac{1}{r}}$  varia según la raíz cuadrada de la inversa de la distancia.

La representación es :



c) Sea una onda esférica que se propaga desde el foco F con una potencia P, la intensidad (potencia por unidad de superficie) en un punto Q<sub>1</sub> situado a una distancia r<sub>1</sub> de F sería :

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2}, \text{ siendo el denominador la superficie a esa distancia } r_1 .$$

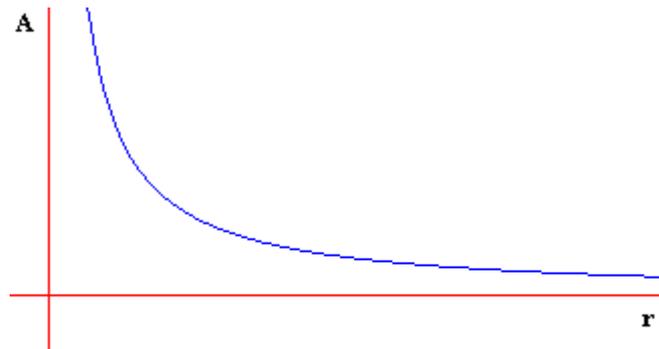
Y en un punto Q<sub>2</sub> situado a una distancia r<sub>2</sub> de F sería :

$$I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2}, \text{ siendo el denominador la superficie a esa distancia } r_2 .$$

Luego su relación :  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{P/4\pi r_1^2}{P/4\pi r_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ , y como la Intensidad es proporcional al cuadrado

de la amplitud:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{kA_1^2}{kA_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \Leftrightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{r_2}{r_1} \Leftrightarrow A = \frac{1}{r}$  varia según la inversa de la distancia.

La representación es :



**21** Se tiene sujeta una cuerda o un muelle con la mano por uno de sus extremos, O. Al sacudir la mano se observa en el instante t una deformación. Este impulso desaparece antes de alcanzar el otro extremo. Indica la causa de la desaparición y explica si la rapidez del pulso varía a lo largo del tiempo.



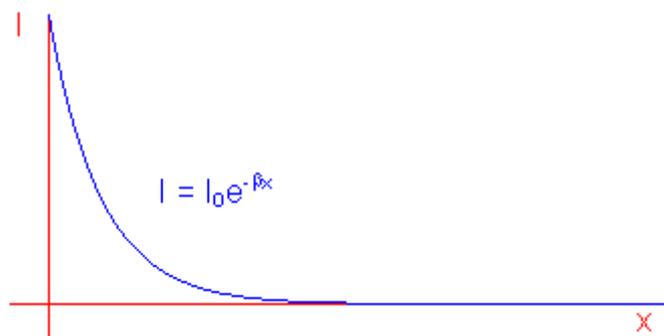
La causa de la desaparición es la absorción de la energía inicial del pulso por el medio de propagación que hace que la intensidad vaya disminuyendo hasta desaparecer. La rapidez también va disminuyendo al irse perdiendo energía y cantidad de movimiento.



**22** Dibuja en un gráfico cómo crees que disminuye la intensidad de una onda a medida que aumenta el espesor del material atravesado. ¿A qué se llama espesor de semiabsorción? Indica la unidad que tiene el coeficiente  $\beta$



La ley de absorción que relaciona la intensidad con el espesor es  $I = I_0 e^{-\beta x}$ , es decir la intensidad disminuye exponencialmente con el espesor :

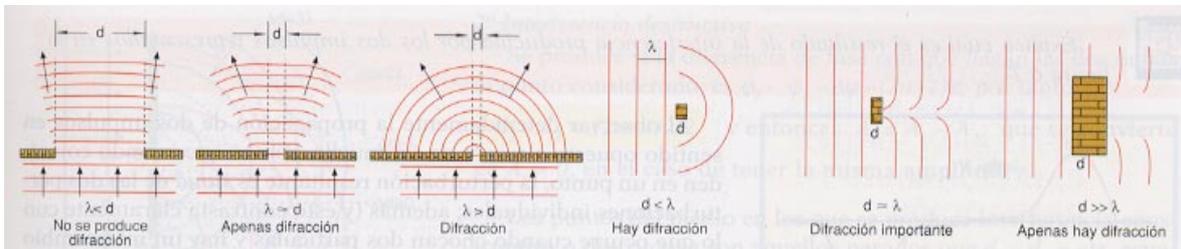


El espesor de semiabsorción es aquel espesor en el cual la intensidad de la onda se ha reducido a la mitad ( $I = I_0/2$ )

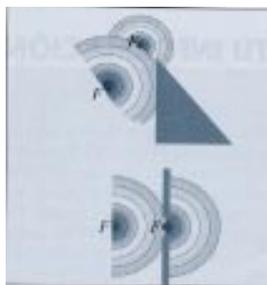
El coeficiente  $\beta$  tiene unidades de inversa de longitud para que al multiplicarle por x ( una distancia) sea adimensional el producto



**23** Haciendo uso del principio de Huygens explica la relación entre el tamaño del obstáculo o de la rendija con la longitud de onda del MO en la producción de la difracción, como se observa en las figuras.



Este fenómeno se produce cuando un obstáculo impide el avance de una parte de un frente de onda.

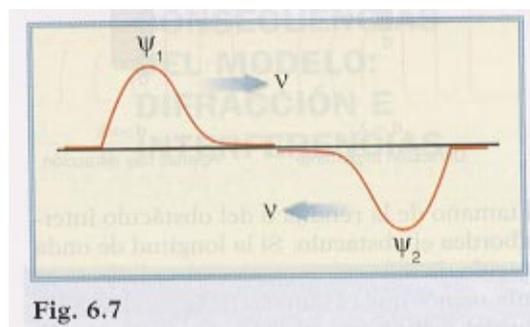


Los puntos del frente de onda que no están tapados por el obstáculo se convierten en centros emisores de nuevos frentes de ondas, según el principio de Huygens, logrando la onda bordear el obstáculo y propagarse detrás del mismo.

Si la longitud de onda es mayor que el tamaño de la rendija o del obstáculo interpuesto, la difracción es total y la onda supera o bordea el obstáculo. Si la longitud de onda es del orden del tamaño de la rendija o del obstáculo, la difracción es parcial y el efecto es menos intenso. Si la longitud de onda es bastante menor que el tamaño de la rendija, sólo se transmite la parte correspondiente al frente del orificio; en el caso de un obstáculo mayor que la longitud de onda, éste se convierte en un obstáculo insalvable para el MO.



**24** Explica cuál es el resultado de la interferencia producida por los dos impulsos representados en la figura



Como son iguales pero de sentido de propagación contrario y sentido de vibración también opuesto, en donde coincidan ( punto medio) se producirá una superposición destructiva que dará una suma nula y desaparecerán.



**25** Dos focos vibratorios de 2 cm de amplitud y 50 Hz de frecuencia producen en la superficie de un líquido ondas que se propagan con una rapidez de 3 m/s. Determina los puntos de interferencia constructiva y los de interferencia destructiva. Haz un dibujo esquemático de esta situación física.



Amplitud =  $A = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$ .  
 Frecuencia =  $N = 50 \text{ Hz}$ .  
 Rapidez =  $v = 3 \text{ m/s}$ .

Hallamos la longitud de onda :

$$v = \lambda N \Leftrightarrow \lambda = \frac{v}{N} = \frac{3}{50} = 0,06 \text{ m}$$

Interferencia constructiva

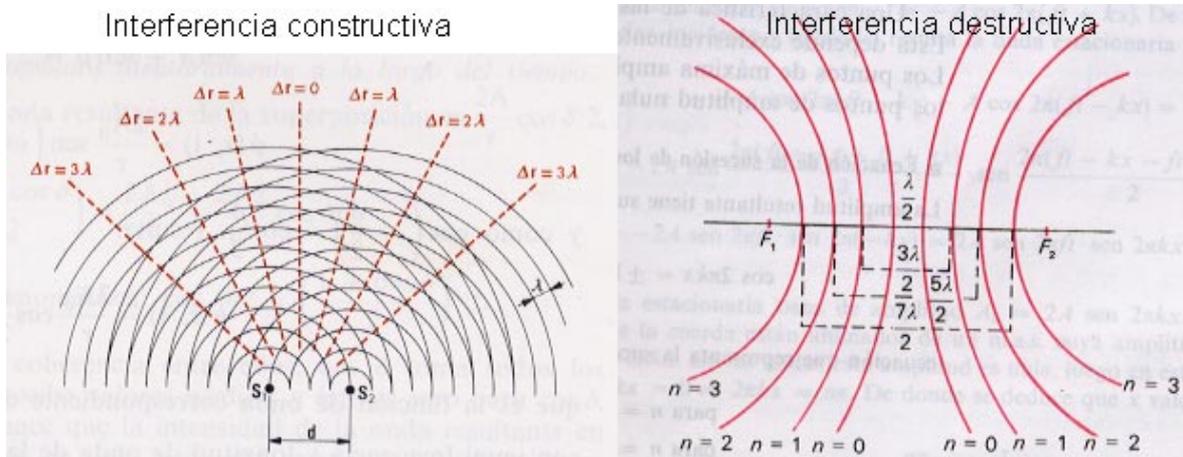
Quando la diferencia de distancias a los focos sea un número entero de longitudes de onda :

$$d_1 - d_2 = n\lambda = 0,06n \text{ m}$$

Interferencia destructiva

Quando la diferencia de distancias a los focos sea un número impar de semilongitudes de onda :

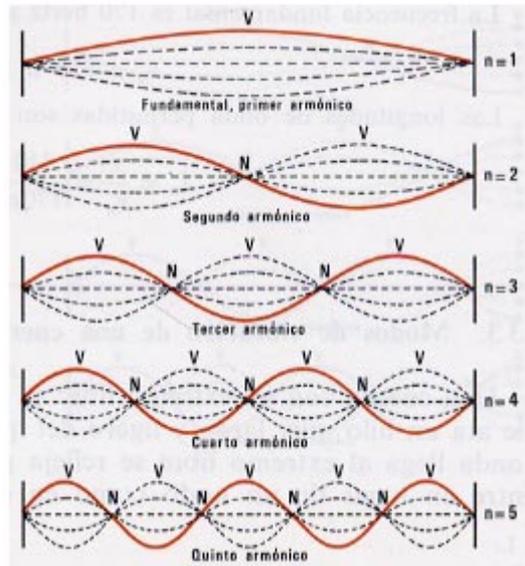
$$d_1 - d_2 = (2n+1)\lambda/2 = 0,03(2n+1) \text{ m}$$



**26** Dibuja en una columna las cinco primeras ondas estacionarias producidas en una misma cuerda de longitud  $L$ . Haz lo mismo para la mínima onda estacionaria producida en cinco cuerdas de diferente longitud. Podrías establecer alguna relación matemática entre  $\lambda$  y  $L$ ?



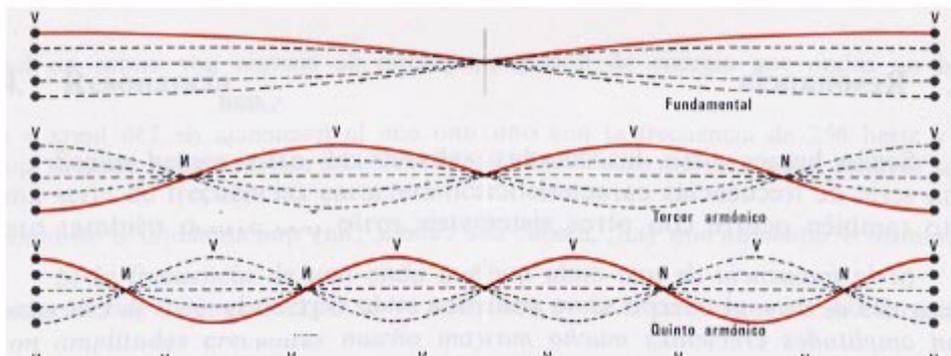
En ambos casos es la misma figura :



Si la relación es :  $L = n \lambda/2$



27 Dibuja las tres primeras ondas estacionarias producidas con una varilla libre por los dos extremos al agitarla desde el centro.



28 Una goma de 60 cm de longitud está fija por uno de sus extremos. En el otro extremo provocarnos un movimiento vibratorio de 50 Hz de frecuencia. En estas condiciones aparecen 5 nodos de vibración. Con estos datos determina la longitud de la onda formada y la rapidez de propagación.



$L = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$   
 $N = 50 \text{ Hz}$

La longitud de onda viene dada por :  $\lambda_n = \frac{4L}{n}$ , como aparecen 5 nodos ,  $n = 5$  , luego la longitud de onda es :

$$\lambda_n = \frac{4L}{n} = \frac{4 \cdot 0,6}{5} = 0,48 \text{ m}$$

Y la rapidez de propagación :  $v = \lambda N = 0,48 \cdot 50 = 24 \text{ m/s}$ .



**29** De los sonidos que conoces indica cómo crees que se producen y cómo se propagan.



Es posible citar numerosos ejemplos de cuerpos que pueden producir sonido, un altavoz, una trompeta, etc. En todos ellos el sonido se produce por las vibraciones de algún objeto.

 El altavoz suena porque tiene un diafragma o cono que obra mediante unas corrientes eléctricas.

 La voz humana es el resultado de la vibración de las cuerdas vocales, dos membranas que se encuentran en la garganta. El aire que proviene de los pulmones, al ser expelido a través de la garganta, hace vibrar las cuerdas vocales. La flexión de estas cuerdas «modula» la corriente de aire y origina una onda.

 Los instrumentos metálicos de viento, como la trompeta, producen sonido como resultado de las vibraciones en los labios del músico.

 Los instrumentos con lengüetas, como el clarinete, tienen una lámina fina que vibra cuando el aire pasa a través de ella.

 En un silbato la vibración de la columna de aire contenida en el tubo causa el sonido.

 En los instrumentos de cuerda como el piano o la guitarra, se hace vibrar un alambre o una cuerda.

En resumen, el sonido se produce por una vibración periódica de algo material. Si las vibraciones no son periódicas, el efecto producido recibe el nombre de ruido.

Propagación del sonido:

Las vibraciones de un diapasón comprimen las capas de aire en contacto con él, y éstas a su vez a las siguientes lo que provoca dilataciones y contracciones; son las ondas sonoras que llegan al oído.

Las ondas producidas por un diapasón son armónicas, como se puede comprobar utilizando un osciloscopio, y longitudinales, ya que las partículas del aire vibran en la misma dirección en que se propaga la onda.

Las ondas sonoras se propagan gracias a que las moléculas del aire están en constante movimiento. Las moléculas chocan transmitiéndose así las oscilaciones de presión.



**30** El medio por el que se propagan la mayoría de los sonidos es el aire; ¿es elástico el aire? Diseña algún experimento para probarlo y recuerda objetos o aparatos usuales en los que el aire interviene por su elasticidad.



Sí, el aire es elástico, como lo prueban los compresores neumáticos de aire a presión que se usan cada día en nuestra ciudad para levantar las aceras, o las ruedas de los coches o los amortiguadores por aire.

Un experimento para probarlo podría consistir en un émbolo lleno de aire al que se le van colocando distintos pesos y midiendo su desplazamiento para comprobar que cumple la ley de Hooke de proporcionalidad entre fuerza aplicada y desplazamiento característica de los cuerpos elásticos.



**31** A la vista de la tabla, emite hipótesis explicativas de las variaciones de rapidez del sonido en cada medio; recuerda para ello que la materia está formada por partículas en continuo movimiento.



SUSTANCIA	v m / s	ρ kg / m <sup>3</sup>
Aire	340	1,20
Agua	1 480	1 000
Hormigón	3 160	2 300
Ladrillo	3 000	1 800
Madera	700	600
Acero	5 900	7 800

**Velocidad del sonido en los gases**

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

γ = coeficiente adiabático del gas (aire = 1,4).  
 R = constante de los gases = 8,31 J/mol· K.  
 T = temperatura kelvin.  
 M = masa molecular del gas.

**Velocidad en los líquidos**

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

B = módulo volumétrico de cada líquido que mide su elasticidad y compresibilidad.  
 ρ = densidad del líquido.

**Velocidad en los sólidos**

$$v = \sqrt{\frac{J}{\rho}}$$

J = Módulo de Joung = constante que mide la elasticidad y rigidez del material  
 ρ = densidad del sólido



**32** Después de reflexionar sobre la lectura, indica por qué la rapidez del sonido en los materiales sólidos y líquidos sí que depende de la estructura interna.



Pues cuanto más compacta sea su estructura interna más difícil será la propagación de la perturbación sonora y más fácil cuanto más elástica sea su estructura pues tendrán mayor libertad para moverse y comunicar su la energía que portan a las partículas vecinas.



**33** Después de realizar el experimento, indica qué pasaría si tuvieras el diapason completamente rodeado de pendulitos. Amplía tu hipótesis al aire que circunda al diapason (la materia está formada por partículas en movimiento). ¿Y si no hubiera materia alrededor del diapason?



Que la vibración sonora se transmitiría a través de ellos haciéndolos juntarse ( zonas de compresión) y separarse ( zonas de dilatación ), luego al aire que lo rodea le ocurrirá lo mismo que a las bolitas de los pendulitos transmitirán la onda sonora comunicándose la energía de unas moléculas a las vecinas .

Si no hubiera materia, la onda sonora no podría propagarse, pues necesita un soporte material a través del cual transmitir la energía de la vibración inicial.



**34** Indica qué ocurriría en un concierto o en una conversación entre dos o más personas si el aire fuera un medio dispersivo para el sonido.



Que sólo percibiríamos las notas cuya frecuencia fuese adecuada al medio en que se propaga y el concierto y la conversación se oiría de forma discontinua, unas notas o palabras sí y otras no.



**35** De los siguientes fenómenos, indica los que creas que se producen por resonancia: marchar al paso, cantar en una coral, comer un bocadillo, emitir un grito, transportar un bulto entre varias personas, etc.



Todos pueden producir resonancia excepto, tal vez, comer un bocadillo, aunque el sonido que realizamos al masticar lo percibimos más alto debido a que resuena en nuestra caja craneana.



**36** ¿Por qué eres que una persona por la edad se va volviendo sorda? ¿En qué rango de vibraciones, es decir con los sonidos de mayor frecuencia o con los de baja frecuencia, comenzará la sordera?



Porque el oído va perdiendo sensibilidad, el tímpano se va haciendo más rígido y pierde elasticidad, siendo imposible percibir sonidos de frecuencias altas que exigen una vibración en resonancia del tímpano más rápida, frecuencia que no puede reproducir al haber perdido elasticidad.



**37** Cuando sacudes un muelle o una cuerda con una determinada amplitud, señala si la energía transmitida depende del ritmo (frecuencia) de las sacudidas. Indica a su vez si para una determinada frecuencia la energía depende de la amplitud.



Como cualquier fenómeno ondulatorio la energía transmitida por el sonido es directamente proporcional al cuadrado de la frecuencia y de la amplitud de la vibración:

$$E = k N^2 A^2$$



**38** Busca en una enciclopedia aplicaciones prácticas de los ultrasonidos y describe alguna de ellas.



Se prestan a multitud de usos y aplicaciones debido a su alta energía. Recuerda que la energía de una onda es proporcional al cuadrado de su frecuencia.

Por su pequeña longitud de onda se comportan de manera semejante a los rayos luminosos, de forma que pueden ser dirigidos en haces muy convergentes. Esto permite su aplicación para enviar señales.

Entre las muchas aplicaciones que tienen, podemos citar las siguientes:

**1** Sondeos, para medir la profundidad del mar. Esta aplicación motivó la investigación para obtener ultrasonidos. Un haz de ultrasonido es dirigido hacia abajo desde un barco y se refleja en el fondo del mar, la profundidad se calcula si se conoce la velocidad del ultrasonido y el tiempo transcurrido. Se llama sonar a esta técnica. El sonar ultrasónico se usa no solamente para determinar el campo de acción de submarinos, sino también las regiones de bancos de peces.

El ultrasonido hace posible la comunicación por radio debajo del agua.

**2** Limpieza o aseo ultrasónico. En los baños se utiliza para limpiar partes metálicas. Las vibraciones ultrasónicas sirven para extraer fragmentos de materia extraña de lugares que de lo contrario resultarían inaccesibles. Los joyeros se valen de baños ultrasónicos para limpiar piezas de joyería.

**3** Perforación ultrasónica. Para taladrar materiales muy duros. Como el taladro ultrasónico no gira, la punta del vibrador puede orientarse para hacer hoyos de cualquier forma.

**4** Soldadura ultrasónica. Los ultrasonidos son particularmente útiles cuando se suelda aluminio. El ultrasonido desprende la capa de óxido de aluminio sobre la superficie y entonces ya no se necesitan fundentes.

**5** Cirugía ultrasónica. El ultrasonido se ha utilizado con éxito para desintegrar las piedras de los riñones facilitando su extracción o permitiendo que el cuerpo las expulse naturalmente. Para ello se utilizan varias técnicas. Una de ellas consiste en introducir un

catéter por la uretra, o también a través de la piel, para atrapar el cálculo y seguidamente romperlo mediante el ultrasonido.

⑥ Otras aplicaciones del ultrasonido en medicina. El sonar se utiliza para visualizar tejidos internos y órganos como el hígado o el bazo, los cuales son casi invisibles para los rayos X.

El ultrasonido sirve, asimismo, para «ver» el feto en sus distintas etapas de desarrollo sin que ocurran los efectos peligrosos que pueden ocasionar los rayos X. Los diversos grados de reflexión de las áreas exploradas se reciben con un monitor y se almacenan en una computadora. Después la computadora reconstruye una « ecografía » de la región.

Por último, los ultrasonidos también se emplean para:

- ⊛ Aumentar la velocidad de reacción en ciertas transformaciones químicas.
- ⊛ Depurar el aire, ya que producen la precipitación de aerosoles.
- ⊛ Destruir microorganismos (esterilización ultrasónica).



③⑨ Indica algunas medidas preventivas para paliar el grave problema de los ruidos ambientales.



- \* Usar, en ciertas profesiones, protectores del oído (audífonos).
- \* Planificar las vías de mayor circulación fuera de las zonas residenciales.
- \* Insonorizar los edificios.
- \* Instalar barreras acústicas (pantallas antiruidos y plantaciones densas de árboles) en zonas de mucho tráfico rodado.
- \* Propiciar una educación ambiental que fomente el gusto por el silencio y por los sonidos naturales y musicales.



④⑩ Se produce una explosión en el aire de una potencia de 5000 W. Determina la intensidad de la onda y la sonoridad a 50 y a 100 m del lugar de la explosión. Haz una gráfica cualitativa de la variación de cada magnitud con la distancia. Dato:  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .



Potencia =  $P = 5\,000 \text{ W}$   
 Primera distancia =  $r_1 = 50 \text{ m}$ .  
 Segunda distancia =  $r_2 = 100 \text{ m}$ .  
 Intensidad umbral de la audición humana =  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Si tenemos en cuenta que la explosión se va a transmitir en todas las direcciones del espacio, en forma de esfera, en el caso ideal, la intensidad, que es potencia por unidad de superficie, será :

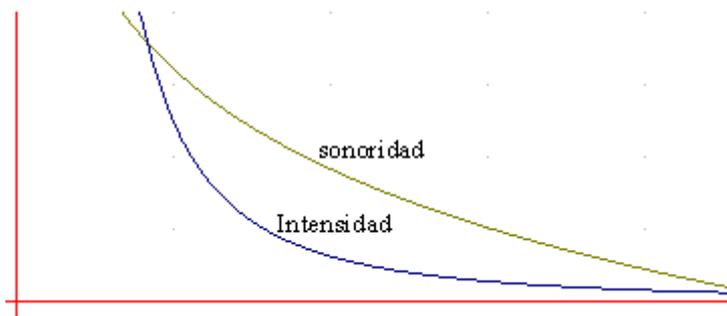
$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2} = \frac{5000}{4\pi 50^2} = \frac{1}{2\pi} \frac{W}{m^2}$$

la intensidad en el segundo punto la hallamos teniendo en cuenta que la Intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al foco sonoro :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \Rightarrow I_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot I_1 = \frac{50^2}{100^2} \cdot \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{8\pi} \frac{W}{m^2}$$

Ahora podemos hallar la sonoridad en esos dos puntos :

$$\gamma_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{1/2\pi}{10^{-12}} = 112 \text{ dB}; \gamma_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log \frac{1/8\pi}{10^{-12}} = 106 \text{ dB}$$



**41** Cita fenómenos cotidianos que pongan de manifiesto la reflexión de ondas sonoras o que se basen en dicha reflexión. ¿Por qué para oír mejor hacemos trompetilla con las manos u otros objetos?



El eco, las columnas de sonido, las salas de audición de conciertos, cines teatros, etc. Al hacer trompetilla estamos dirigiendo hacia el oído más ondas sonoras, las directas y las reflejadas por la trompetilla con lo cual el sonido se “refuerza”.



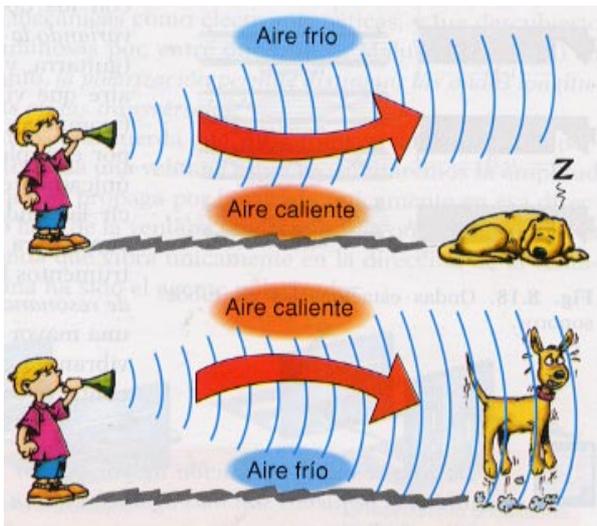
**42** Analiza detenidamente lo que ocurre acústicamente cuando hablas dentro de una habitación completamente desnuda de objetos y con las puertas y ventanas cerradas.



Las paredes reflejan las ondas sonoras en todas las direcciones produciendo reverberación y mezcla de sonidos ( incidentes y reflejados) que hacen que se oiga mal.



**43** Da razones que expliquen, aplicando las leyes de la refracción, por qué el sonido tiene el comportamiento que nos muestra la figura 8. 16.



Como la velocidad de propagación del sonido en los gases ( y por tanto en el aire ) es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura ( en Kelvin) – ver cuestión N° 31 – en el aire caliente la velocidad del sonido será mayor que en el aire más frío, y, según la ley de Snell de la refracción al pasar de un medio a otro en que la velocidad aumenta el ángulo cambia y se dirige hacia abajo lo que ocurre si el aire caliente está por encima del frío ( por las noches el agua mantiene mejor la temperatura que el aire ) y al contrario si el aire caliente está por debajo del frío, el ángulo de refracción “ se abre” hacia arriba”



**44** Da una sencilla explicación de por qué en todos los instrumentos musicales de la misma familia cuanto más pequeños son más agudos resultan los sonidos que originan. Puedes probarlo con dos campanillas de distinto tamaño.



Depende del tono, ya que al ser las cajas de sonoridad más pequeñas, el número de vibraciones o frecuencia de vibración que se produce en su interior es más alta y el tono sube, es más agudo.



**45** ¿Qué ocurrirá si detrás de la ventana que actúa de polarizador existe una ventana paralela?; y ¿si está situada con la ranura perpendicular a la anterior?



Si la ventana es paralela o sucedería nada, la onda seguiría estando polarizada, pero si la ventana se coloca perpendicular el movimiento ondulatorio se destruye al no poder atravesarla ya que su dirección de movimiento es perpendicular a la dirección de la ventana y no puede atravesarla.



**46** ¿Mediría un observador situado en un punto del medio un incremento de la rapidez de la propagación de la onda si su fuente se encuentra en movimiento?



Si pues el efecto Doppler sucede cuando existe movimiento relativo ( sea el foco o el receptor o ambos los que se mueven) entre la fuente o foco emisor y el observador que lo percibe.

