

SI ENCUENTRAS ALGÚN ERROR COMUNÍCALO, POR FAVOR, AL CORREO DE LA PÁGINA WEB.



PROPIEDADES DE UNA ONDA. FENÓMENOS ONDULATORIOS.

▪ **E: Energía de una onda (J).**

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot y^2$$

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot x + \varphi_0) + \frac{1}{2} \cdot k \cdot A^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t - k \cdot x + \varphi_0)$$

$$\text{Si } k = m \cdot \omega^2$$

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \left[\frac{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1}{\cos^2(\omega \cdot t - k \cdot x + \varphi_0) + \sin^2(\omega \cdot t - k \cdot x + \varphi_0)} \right]$$

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot \omega^2 = 2 \cdot m \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot A^2$$

La energía de una onda es directamente proporcional al cuadrado de la frecuencia y al cuadrado de la amplitud.

▪ **P: Potencia de una onda (w).** Es la energía transmitida por unidad de tiempo.

$$P = \text{cte.} \cdot \omega^2 \cdot A^2.$$

▪ **I: Intensidad de la onda (w.m⁻²).** Mide la potencia que atraviesa una unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

La intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a que nos encontremos del foco. Y directamente proporcional al cuadrado de la amplitud.

$$I = \frac{P}{\text{Superficie}} = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{\text{cte.} \cdot \omega^2 \cdot A^2}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

▪ **Atenuación de una onda.** En un movimiento ondulatorio, la intensidad de onda y la amplitud de vibración disminuyen con la distancia al foco, manteniéndose las demás características de la onda.

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

▪ **Absorción de una onda.** La absorción es el fenómeno por el que parte de la energía que transporta la onda es absorbida por el medio material por el que se propaga, debido al rozamiento.

$$I = I_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} \begin{cases} I \text{ e } I_0: \text{ Intensidades después y antes de la absorción. (W.m}^{-2}\text{)} \\ \beta: \text{ coeficiente de absorción (m}^{-1}\text{)} \\ x: \text{ espesor (m.)} \end{cases}$$

$$\text{Despejando, } x = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{\beta}$$

▪ **$D_{\frac{1}{2}}$: Capa hemirreductora o espesor de semiabsorción (m.).** Espesor que, al ser atravesado por la onda, hace que se reduzca su intensidad a la mitad.

$$D_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\beta}$$

▪ **Interferencias.** Es la acción simultánea, sobre una partícula, de dos o más movimientos ondulatorios.

▪ **Principio de superposición de ondas.** Cuando dos ondas interfieren, la onda resultante tiene como función de onda la suma algebraica de las funciones de onda de las ondas individuales.

▪ **Interferencia constructiva.** Se produce cuando las ondas que interfieren se encuentran en concordancia de fase. En ese punto se da amplitud máxima.

Si x_1 y x_2 son las distancias respectivas del punto estudiado a cada uno de los dos focos emisores, se dará interferencia constructiva si $|x_2 - x_1| = n \cdot \lambda$. Siendo n un número natural.

▪ **Interferencia destructiva.** Se produce cuando las ondas que interfieren se encuentran en oposición de fase. En ese punto se da amplitud mínima.

Si x_1 y x_2 son las distancias respectivas del punto estudiado a cada uno de los dos focos emisores, se dará interferencia destructiva si $|x_2 - x_1| = (2n + 1) \cdot \lambda / 2$ Siendo n un número natural.

▪ **Ondas estacionarias.** Se forman cuando en un medio elástico interfieren dos ondas armónicas de la misma frecuencia, amplitud, velocidad y naturaleza, que se propagan en la misma dirección y sentidos opuestos.

$$\begin{cases} y_1 = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + k \cdot x) \\ y_2 = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t - k \cdot x) \end{cases} \Rightarrow$$

$$y = 2 \cdot A \cdot \text{cos}kx \cdot \text{sen}\omega \cdot t \begin{cases} \text{Observa que dice } \text{cos}kx \\ \text{Nodos: } x_1 = \frac{\lambda}{4}, \text{ los siguientes cada } \frac{\lambda}{2} \\ \text{Vientres: Punto medio entre dos nodos.} \end{cases}$$

Cuando se superponen dos ondas en una cuerda cuyos extremos están fijos se obtiene una ecuación similar:

$$y = 2 \cdot A \cdot \text{sen}kx \cdot \text{cos}\omega t \begin{cases} \text{Observa que dice } \text{sen}kx \\ \text{Nodos: } x_1 = 0, \text{ los siguientes cada } \frac{\lambda}{2} \\ \text{Vientres: Punto medio entre dos nodos.} \end{cases}$$

• **Pulsaciones.** La pulsación es un caso especial de interferencias que se produce al superponerse dos movimientos ondulatorios de la misma amplitud y de frecuencias poco diferentes. En estas interferencias la amplitud de la perturbación

varía periódicamente. A estas variaciones periódicas de la amplitud se las conoce como pulsaciones.

- **Difracción.** Es el fenómeno de propagación no rectilínea del rayo que se produce cuando en la propagación de la onda se interpone un obstáculo o rendija de tamaño comparable a su longitud de onda.
- **Principio de Huygens.** El principio de Huygens nos dice que todo punto alcanzado por una onda se comporta como un emisor de ondas.
- **Onda polarizada.** Polarizar una onda es restringir sus posibilidades de vibración. Solo se polarizan las ondas transversales.
- **Acústica.**

- **El sonido** es una onda mecánica y, como tal, necesita un medio material para su propagación. Por ello, **el sonido no se propaga en el vacío. La luz sí.** El sonido es, además, una onda longitudinal.

- **Cualidades del sonido.**

- **Intensidad:** energía que transporta a través de la unidad de superficie en cada unidad de tiempo.
- **Tono:** cualidad que nos permite distinguir dos sonidos por la frecuencia de su vibración. Distinguimos tonos agudos y graves.
- **Timbre:** cualidad que nos permite distinguir dos sonidos de la misma intensidad y del mismo tono procedentes de dos fuentes distintas.

- **S: Sensación sonora o nivel de intensidad sonora (belio, B).** Sensación fisiológica que percibimos del sonido.

$S = \log_{10} \frac{I}{I_0}$ (I: intensidad del sonido. I_0 : intensidad umbral. $10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$). Sería $S = \log_{10} \frac{I}{10^{-12}}$

$S = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0}$, si la S se expresa en decibelios. Sería $S = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{10^{-12}}$.

S en función de la distancia. $S_2 = S_1 + 20 \log \frac{d_1}{d_2}$

- **Efecto Doppler.**

El efecto Doppler consiste en la variación de frecuencia que se observa en un sonido (O, en general, en un movimiento ondulatorio) cuando el foco, el observador o ambos se desplazan uno respecto al otro.

Efecto Doppler. $f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}$ $\left\{ \begin{array}{l} v_O \left\{ \begin{array}{l} + \text{ si el O se acerca al F} \\ - \text{ si el O se aleja del F} \end{array} \right. \\ v_F \left\{ \begin{array}{l} + \text{ si el F se aleja del O} \\ - \text{ si el F se acerca al O} \end{array} \right. \end{array} \right.$

1. Una explosión en el aire genera un sonido con un frente de onda esférico.

a. La amplitud de la perturbación de presión vale 0,5 Pa a 8 m. de la explosión. Calcula la amplitud de la onda sonora a 22 metros de la explosión.

b. Una onda armónica sonora se propaga a 340 m/s con una frecuencia de 400 Hz. Calcula la longitud de onda y el número de onda.

VER VÍDEO <https://youtu.be/fk3CbD9FgnQ>

a. $P = 0,182 \text{ Pa}$.

b. $\lambda = 0,85 \text{ m}$ y $k = 7,39 \text{ m}^{-1}$.

2. A 20 m de una fuente sonora que genera un frente de ondas esférico se miden 86 dB.

CARLOS ALCOVER GARAU. LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS (U.L.B.) Y DIPLOMADO EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS (I.A.T.A.).

4

- y
- ¿cuántos decibelios se medirán aproximadamente al doble de distancia de la fuente?
 - Calcula ¿cuántos decibelios se miden a 112 m?
 - Calcula ¿a qué distancia se miden 88 dB?

VER VÍDEO <https://youtu.be/YhCzPmnTa9U>

- $s(40\text{m}) = 80 \text{ dB}$.
- $s(112) = 71 \text{ dB}$.
- $d = 15,9 \text{ m}$.

3. Al explotar, un cohete de fuegos artificiales genera una onda sonora esférica con una potencia sonora de 20 mW. Un espectador oye la explosión 1,5 s después de verlo explotar. Calcule:

- La distancia a la que está situado el espectador respecto al cohete en el momento de la explosión, así como la intensidad del sonido en la posición del espectador.
- El nivel de intensidad sonora percibida si explotan 10 cohetes simultáneamente, y el espectador los oye todos al unísono 1,5 s después de explotar.

Datos: Velocidad del sonido en el aire, $v_{\text{sonido}} = 340 \text{ m s}^{-1}$; Valor umbral de la intensidad acústica, $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$.

VER VÍDEO <https://youtu.be/M0cy-qKrXc>

- $d = 510 \text{ m}$ y $I = 6,12 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$.
- $s = 47,87 \text{ dB}$.

4. Dos fuentes A y B generan sucesivamente sonidos que se propagan por el aire con un frente de onda esférico. El nivel umbral de intensidad sonora es $I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$. Calcula la intensidad sonora:

- A 12 metros de la fuente A si el nivel de intensidad sonora en esta posición es de 87 decibelios.
- A 20 metros de la fuente B si la intensidad sonora es 2 mw/m^2 a 12 metros de la fuente

VER VÍDEO <https://youtu.be/q7gVZkGrR44>

- $$S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \rightarrow 87 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow I = 0,501 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$b. 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot I = \text{cte.}; 4 \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot I_1 = 4 \cdot \pi \cdot r_2^2 \cdot I_2; I_2 = 0,720 \text{ w/m}^2$$

5. La amplitud de una onda esférica a 12 km del centro de la onda es de 7 mm. ¿A qué distancia del centro de la onda la amplitud de 2 mm.?

VER VÍDEO <https://youtu.be/zkgrC8qkGII>

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_2}{r_1} \rightarrow \frac{7}{2} = \frac{r_2}{12} \rightarrow r_2 = 42 \text{ Km.}$$

6. La amplitud de una onda esférica de presión a 17 m del centro de la onda es de 0,75 Pa. ¿A qué distancia desde el centro la amplitud de onda es 0,3 Pa?

VER VÍDEO <https://youtu.be/P95m5MEOMks>

5

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_2}{r_1} \rightarrow \frac{0,75}{0,3} = \frac{r_2}{17} \rightarrow r_2 = 42,5 \text{ m.}$$

7. Una fuente sonora emite en todas direcciones con una potencia $P = 0,60 \text{ W}$.

a. Dar la relación que hay entre la potencia P de la fuente y la intensidad del sonido a una distancia r de la fuente.

b. Calcula la intensidad del sonido a $8,0 \text{ m}$ de la fuente.

c. ¿ A qué nivel sonoro corresponde la intensidad del sonido calculada en el apartado anterior? ($I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.)

VER VÍDEO <https://youtu.be/8FuNIN2ogAk>

a.

$$I = \frac{P}{\text{superficie}} = \frac{P}{4\pi R^2}$$

b.

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{0,60}{4\pi 8^2} = 7,46 \cdot 10^{-4} \text{ w/m}^2$$

c.

$$S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{7,46 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} = 88,73 \text{ dB.}$$

8. El coeficiente de absorción de un determinado medio vale $0'5 \text{ cm}^{-1}$. Calcula su espesor para que la intensidad de una onda que atraviesa el medio quede reducida a la quinta parte de la inicial.

VER VÍDEO <https://youtu.be/1WPO67LJ6ow>

$$I = I_0 e^{-\beta x}, \frac{I}{I_0} = e^{-\beta x}, \ln \frac{I}{I_0} = \ln e^{-\beta x}, \ln \frac{I}{I_0} = -\beta x, x = -\frac{\ln \frac{I}{I_0}}{\beta} = 3'22 \text{ cm.}$$

9. Si el espesor de semiabsorción de un material es 2 cm^{-1} . Calcula su espesor para que la intensidad de una onda que atraviesa el medio quede reducida a la tercera parte de la inicial.

VER VÍDEO <https://youtu.be/4xecTh3Bzlc>

$$D_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\beta} \rightarrow \beta = \frac{\ln 2}{D_{\frac{1}{2}}} = 0,347 \text{ cm.}$$

$$x = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{\beta} = \frac{\ln \frac{I_0}{\frac{I_0}{3}}}{0,347} = \frac{\ln 3}{0,347} = 3,17 \text{ cm.}$$

10. Un frente de ondas plano tiene una intensidad de $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Al incidir sobre un medio absorbente de 1 m . de espesor, se observa que al salir del medio la intensidad se ha reducido a la quinta parte de su valor inicial. Calcula el espesor de semiabsorción.

VER VÍDEO <https://youtu.be/LiPbPJhO3NE>

$$D_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\beta} = \frac{\ln 2}{1,61} = 0,43 \text{ m.}$$

6

$$I = I_0 \cdot e^{-\beta x} \rightarrow \beta = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{x} = 1,61 \text{ m}^{-1}$$

11. La ecuación de una onda estacionaria en el S.I. es:

$$f(x,t) = 0'02 \cdot \cos(\pi \cdot x) \cdot \text{sen}(4\pi t). \text{ Calcular:}$$

- Ecuación de las ondas que por superposición pueden dar dicha onda estacionaria.
- Posición de los 3 primeros nodos y de los 3 primeros vientres.

VER VÍDEO <https://youtu.be/Ys1U1I8zTfo>

$$f(x,t) = 0,02 \cdot \cos \pi x \cdot \text{sen} 4\pi t \quad \begin{cases} A = 0,02 \text{ m.} \\ K = \pi \text{ m}^{-1} \rightarrow \lambda = 2 \text{ m.} \\ \omega = 4\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} \end{cases}$$

$$\text{a. } y_1 = 0,01 \cdot \text{sen}(4\pi t + \pi x) \text{ y } y_2 = 0,01 \cdot \text{sen}(4\pi t - \pi x)$$

$$\text{b. } \cos \pi x = 0 \quad \begin{cases} \pi x = \frac{\pi}{2} \rightarrow x = \frac{1}{2} \text{ m.} \\ \pi x = \frac{3\pi}{2} \rightarrow x = \frac{3}{2} \text{ m.} \\ \pi x = \frac{5\pi}{2} \rightarrow x = \frac{5}{2} \text{ m.} \end{cases}$$

Los vientres son puntos entre nodos.

12. ¿Qué tipo de interferencia se produce en un punto situado a 10 m. de un foco emisor y a 5 m de un segundo foco, si ambos emiten con una longitud de onda de 2 m.? ¿y si la longitud de onda fuera de 2,5 m? ¿y si la longitud de onda fuera de 2,5 m?

VER VÍDEO <https://youtu.be/9Sm0fiNImXI>

$$\left| \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right| = n; \text{ interferencia constructiva.}$$

$$\left| \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right| = \frac{2n - 1}{2}; \text{ interferencia destructiva.}$$

$$\left| \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right| = \frac{10 - 5}{2} = 2,5 \rightarrow \text{interferencia destructiva.}$$

$$\left| \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right| = \frac{10 - 5}{2,5} = 2 \rightarrow \text{interferencia constructiva.}$$

13. La ecuación de una onda estacionaria en el S.I. es:

$$f(x,t) = 0'02 \cdot \cos\left(\frac{10}{3} \pi \cdot x\right) \cdot \text{sen}(40\pi t). \text{ Calcular:}$$

- La longitud de onda de las ondas que por superposición pueden dar dicha onda estacionaria.
- La velocidad vibración que presentan los puntos de la onda.

$$k = \frac{10\pi}{3} \text{ m}^{-1}; \lambda = 0,6 \text{ m}$$

$$f(x,t) = 0'02 \cdot \cos\left(\frac{10}{3} \pi \cdot x\right) \cdot \text{sen}(40\pi t).$$

7

$$V = \frac{df}{dt} = 0'02 \cdot 40 \cdot \pi \cdot \cos\left(\frac{10}{3} \pi \cdot x\right) \cdot \cos(40\pi t)$$

14. Una explosión libera 10^7 J de energía en 1 segundo; el 50 % de esta energía se convierte en ondas sonoras.

a. Si el sonido se propaga formando frentes de onda esféricos, ¿Cuál es la intensidad de la onda a 110 m. del foco de la explosión?

b. ¿Cuál es nivel acústico del sonido a esta distancia? ($I_0 = 10^{-12}$ W/m²)

VER VÍDEO <https://youtu.be/sz96CpG14D8>

$$P = \frac{E}{t} = \frac{50}{100} \cdot \frac{10^7}{1} = 5 \cdot 10^6 \text{ w.}$$

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{5 \cdot 10^6}{4 \cdot \pi \cdot 110^2} = 32,88 \text{ W/m}^2$$

$$S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{32,88}{10^{-12}} = 135 \text{ dB.}$$

15. Si el nivel de intensidad sonora que produce un tambor es de 70 dB ¿Cuál será el nivel de intensidad sonora producido por 100 tambores?

VER VÍDEO https://youtu.be/oPByXXh_8gE

$$s = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \rightarrow 70 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow I = 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

La intensidad de los 100 tambores será: $I = 100 \cdot 10^{-5} = 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

El nivel de intensidad sonora de los 10 tambores será:

$$s = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{10^{-3}}{10^{-12}} = 90 \text{ dB.}$$

16. A una distancia de 8 m., el claxon de un automóvil produce una sensación sonora de 80 dB. ¿ Qué sensación sonora produce a una distancia de 25 m.?

VER VÍDEO https://youtu.be/pQjuX5KL_sQ

$S = 20 \cdot \log \frac{d_0}{d}$. Tomando $S_1 = 20 \cdot \log \frac{d_0}{d_1}$ y $S_2 = 20 \cdot \log \frac{d_0}{d_2}$, calculamos S_2 en función de S_1 . $S_2 = S_1 + 20 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} = 70'1 \text{ dB.}$

17. Un tren se acerca por una vía recta haciendo sonar su silbato. La frecuencia de emisión es de 1000 Hz. Si la velocidad del tren es de 108 Km/h. Calcular:

a.- La frecuencia que percibe un observador que se encuentra parado en el andén de la estación mientras se acerca el tren.

b.- La velocidad con que debería moverse el observador, una vez haya pasado el tren, para percibir el sonido del silbato con una frecuencia de 960 Hz.

8

Efecto Doppler. $f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}$ $\left\{ \begin{array}{l} v_O \left\{ \begin{array}{l} + \text{ si el O se acerca al F} \\ - \text{ si el O se aleja del F} \end{array} \right. \\ v_F \left\{ \begin{array}{l} + \text{ si el F se aleja del O} \\ - \text{ si el F se acerca al O} \end{array} \right. \end{array} \right.$

$$f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}; f = 1000 \frac{330}{330-30} = 1100\text{Hz.}$$

$$f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}; 960 = 1000 \frac{330+v_O}{330+30}, v_O = 15'6\text{m/s. Como } v_O \text{ es positivo el observador se mueve hacia el foco.}$$

18. Calcula la velocidad de un tren y la frecuencia de su silbato si se observa que cuando el tren se acerca a la estación, la frecuencia del silbato es de 800 Hz. Y cuando se aleja es de 650 Hz.

$$f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}; \left\{ \begin{array}{l} 800 = f \frac{330}{330 - v_F} \\ 650 = f \frac{330}{330 + v_F} \end{array} \right.$$

Tenemos un sistema. $f = 719 \text{ Hz}$ y $v_F = 34'14 \text{ m/s}$.

19. ¿A qué velocidad tendría que acercarse el conductor de un coche a otro coche parado para que oyera la radio de este segundo coche con un aumento de frecuencia de un 10%. $v_{\text{sonido}} = 330 \text{ m/s}$.

$$f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}; 1'1f = f \frac{330 + v_O}{330}; v_O = 33 \frac{m}{s}.$$

20. La frecuencia del claxon de un automóvil es de 425 Hz. Calcular la frecuencia que percibirá un observador en los siguientes casos:

a.- El auto se mueve a 72 Km/h. hacia el observador que está parado.

b.- El auto está parado y el observador avanza hacia él con una velocidad de 72 Km/h. $v_{\text{sonido}} = 330 \text{ m/s}$.

$$f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}; f = 425 \frac{330}{330 - 20} = 452'42\text{Hz.}$$

$$f' = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}; f = 425 \frac{330 + 20}{330} = 450'75\text{Hz.}$$

21. Una ola hace oscilar una boya de 100 g. con una frecuencia de 0,25 Hz y se observa que la distancia de subida y bajada (amplitud) es 10 cm. Halla la energía que la onda comunica la boya.

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot \omega^2 = 2 \cdot m \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot A^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \cdot \pi^2 \cdot 0,25^2 \cdot 0,1^2 = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ J.}$$