**Velocidad de propagación del sonido**

La velocidad de propagación del sonido depende del medio en el que se propaga la onda. En el aire, a temperatura ambiente, su valor aproximado es:

$$v \approx 344 \text{ m/s}$$

La velocidad de una onda se relaciona con su frecuencia y su longitud de onda mediante:

$$v = \lambda f$$

donde: $v =$ velocidad de propagación, $\lambda =$ longitud de onda y $f =$ frecuencia de la fuente.

En un mismo medio, la velocidad del sonido se mantiene aproximadamente constante. Por eso, si aumenta la frecuencia, disminuye la longitud de onda; y si disminuye la frecuencia, aumenta la longitud de onda.

**Intensidad sonora y nivel de intensidad sonora**

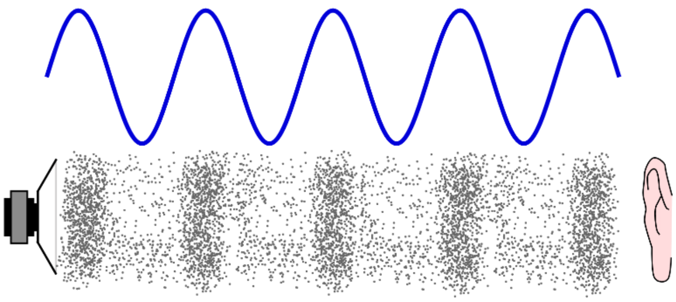
Una onda sonora es una perturbación mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico, como el aire, el agua o un sólido. Al ser una onda mecánica, necesita un medio material para propagarse; por eso, el sonido no puede viajar en el vacío.

En una onda sonora, las partículas del medio vibran en la misma dirección en la que se propaga la onda. Por eso decimos que es una onda longitudinal. La onda transporta energía, pero no transporta materia.

En el aire, una onda sonora se propaga mediante pequeñas variaciones de presión y densidad. Se forman zonas de compresión y rarefacción:

- En las compresiones, la presión del aire es ligeramente mayor que la presión atmosférica.
- En las rarefacciones, la presión del aire es ligeramente menor que la presión atmosférica.

Por lo tanto, cuando hablamos de presión sonora, no nos referimos a la presión atmosférica total, sino a la pequeña variación de presión producida por la onda sonora.



**Intensidad sonora**

La intensidad sonora es la cantidad de energía que transporta una onda sonora por unidad de tiempo y por unidad de área. También puede interpretarse como la potencia sonora que atraviesa una superficie determinada.

Se simboliza con $I$ se mide en: W/m$^2$. Es decir, watts por metro cuadrado.

La intensidad sonora está relacionada con la presión sonora eficaz mediante la expresión**:**

$$I = \frac{\Delta \mathrm{P}^2}{\rho v}$$

donde: $\Delta P =$ presión sonora eficaz, $\rho =$ densidad del medio y v=velocidad de propagación del sonido en el medio

*Esto quiere decir que la intensidad es proporcional al cuadrado de la presión sonora.*

**Intensidad sonora y distancia a la fuente**

Si una fuente sonora emite una potencia sonora $P$ el sonido se propaga en todas las direcciones por igual, la energía se distribuye sobre superficies esféricas cada vez mayores.

El área de una esfera de radio $r$ es: A=4πr2, entonces, la intensidad sonora a una distancia $r$de la fuente es:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

*Esto significa que la intensidad sonora disminuye con el cuadrado de la distancia.*

*Para una misma fuente sonora, la relación entre las intensidades medidas a dos distancias diferentes $r_1$y $r_2$es:*

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

Como la intensidad también depende del cuadrado de la presión sonora, se cumple:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{(\Delta P_1)^2}{(\Delta P_2)^2}$$

Esto significa que, al aumentar la distancia a la fuente, disminuyen tanto la intensidad sonora como la presión sonora eficaz.

**Nivel de intensidad sonora**

La intensidad sonora se mide en W/m$^2$, pero el oído humano puede percibir sonidos en un rango muy amplio de intensidades. Por eso se utiliza una escala logarítmica llamada nivel de intensidad sonora, que se expresa en decibeles.

El nivel de intensidad sonora se simboliza con $\beta$ se calcula mediante:

$$\boldsymbol{\beta = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)}$$

**d**onde: $\beta =$ nivel de intensidad sonora, medida en dB, $I =$ intensidad sonora e $I_0 =$ intensidad umbral de audición
La intensidad umbral de audición para el oído humano es aproximadamente:

$$I_0 = 10^{-12}\ \text{W/m}^2$$

Ese valor corresponde a $\beta = 0$ dB
Los sonidos de niveles muy elevados pueden ser perjudiciales para la audición. En general, valores cercanos o superiores a 120 dB se consideran peligrosos o dolorosos para el oído humano.

Veamos cómo a partir de $\beta$ puedo determinar la Intensidad I.

$$\beta = 10\log_{10}\left(\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I_0}}\right) \Rightarrow \frac{\beta}{10} = \log_{10}\left(\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I_0}}\right) \Longrightarrow 10^{\left(\frac{\beta}{10}\right)} = \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I_0}} \Longrightarrow$$

$$\boldsymbol{I = I_0 10^{\left(\frac{\beta}{10}\right)}}$$

Ejemplo:

a) ¿A cuántos dB corresponde una intensidad que es 1000 veces mayor que la intensidad umbral $I_0$?

$$\beta = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{1000\ I_0}{I_0}\right) = 10\log_{10}(1000) = 30\ dB$$

**b)** ¿A qué valor de intensidad sonora corresponde un nivel de intensidad sonora de 90 dB?

$$I = I_0 10^{\left(\frac{\beta}{10}\right)} = I_0 10^{\left(\frac{90}{10}\right)} = I_0 10^{(9)}$$

**Relación entre intensidad, distancia y decibeles**

Supongamos que una misma fuente emite una Intensidad sonora $I_1$, cuando está a distancia $r_1$, y le corresponde un nivel de intensidad sonora de $\beta_1$. La misma fuente emite una Intensidad sonora $I_2$, cuando está a distancia $r_2$, y le corresponde un nivel de intensidad sonora de $\beta_2$.

$$\beta_1 = 10\ \log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

$$\beta_2 = 10\ \log_{10}\left(\frac{I_2}{I_0}\right)$$

Restamos miembro a miembro

$$\beta_1 - \beta_2 = 10\ \log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0}\right) - 10\ \log_{10}\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10\left(\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0}\right) - \log_{10}\left(\frac{I_2}{I_0}\right)\right)$$

Entonces aplicando propiedades de los logaritmos $\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b)$

$$\beta_1 - \beta_2 = 10\ \log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0}\frac{I_0}{I_2}\right) = 10\ \log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

Y como además

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

$$\boldsymbol{\beta_1 - \beta_2 = 10\,\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = 10\,\log_{10}\left(\frac{r_2^2}{r_1^2}\right)}$$

Ejemplo

Una fuente emite a 10 m un nivel de intensidad sonora de 30 dB, ¿qué nivel de intensidad sonora le corresponderá a 50 m?

$$30\,dB - \beta_2 = 10\,\log_{10}\left(\frac{(50\,m)^2}{(10\,m)^2}\right) = 10\,log_{10}(25) \cong 14\,dB$$

$$30\,dB - \beta_2 = 14\,dB$$

$$\beta_2 = 16\,dB$$

Determine la relación entre las intensidades

$$\beta_1 - \beta_2 = 10\,\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \Longrightarrow 30\,dB - 16\,dB = 10\,\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

$$\frac{14}{10} = \log_{10}\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \Longrightarrow 10^{(1,4)} = \frac{I_1}{I_2} \Longrightarrow 25 = \frac{I_1}{I_2}$$

Lo que podría haber determinado a partir de que

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{(50\,m)^2}{(10\,m)^2} = 25$$

Observación:

**Cuando llegan sonidos de dos fuentes distintas, lo que se suma físicamente son las intensidades sonoras, no los decibeles**. Cuando una persona escucha simultáneamente dos fuentes sonoras, el oído recibe la **intensidad total** producida por ambas fuentes. Esa intensidad total se obtiene sumando las intensidades individuales:

$$I_T = I_1 + I_2$$

Luego, si se quiere expresar esa intensidad total como **nivel de intensidad sonora**, recién ahí se pasa a decibeles:

$$\beta_T = 10\log\left(\frac{I_T}{I_0}\right)$$

Es decir:

$$\beta_T = 10\log\left(\frac{I_1 + I_2}{I_0}\right)$$

Por eso **no corresponde sumar directamente los niveles en dB**:

$$\beta_T \neq \beta_1 + \beta_2$$

Por ejemplo, si dos fuentes iguales producen cada una un nivel de 60 dB en un punto, juntas no producen 120 dB. Como sus intensidades son iguales:

$$I_T = I + I = 2I$$

Entonces el nivel aumenta solo:

$$10\log(2) \approx 3\ dB$$

Por lo tanto, dos fuentes iguales de 60 dB producen aproximadamente:

$$60\ dB + 3\ dB = 63\ dB$$