

# Física 5° Artístico

## El sonido

Y TAMBIÉN:



### El diapasón

Consiste en una varilla de acero en forma de U. Se golpea ligeramente en una rama para hacerlo vibrar, con lo que genera una onda sinusoidal de frecuencia fija (una nota).

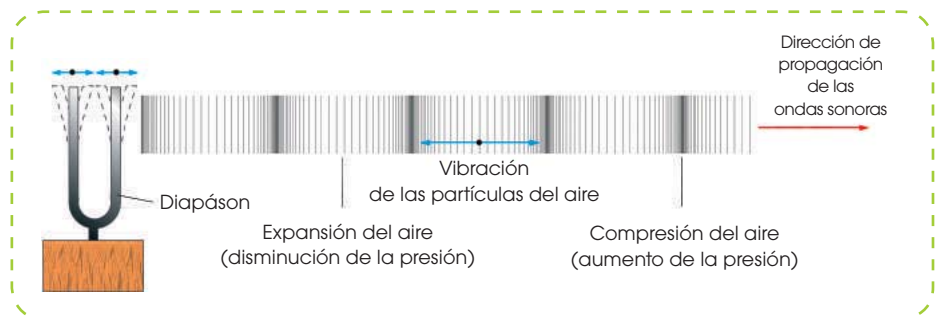
Para poder escucharla se debe acercar al oído o amplificarla apoyando el diapasón sobre una caja de resonancia de madera.



La **acústica** es la parte de la física que estudia la naturaleza del sonido, el modo en que se propaga y sus cualidades. Para comprender la importancia de esta ciencia basta recordar, por ejemplo, en la actualidad tienen la transmisión, la reproducción y la amplificación del sonido o las aplicaciones médicas y técnicas de los ultrasonidos.

### Naturaleza y propagación del sonido

La imagen muestra un diapasón. Este instrumento consta de una varilla de acero en forma de U y de un mango que puede apoyarse en una caja de madera o caja de resonancia.



Si golpeamos una rama del diapasón, este vibra produciendo un sonido característico. Veamos cuál es su origen:

El movimiento vibratorio de las partículas del diapasón se transmite a las partículas próximas del aire ocasionando en este sucesivas compresiones y expansiones, semejantes a las producidas en un muelle elástico al comprimirlo y estirarlo.

En las zonas de compresión, las partículas del aire se aproximan dando lugar a un aumento de la presión, mientras que en las zonas de expansión dichas partículas se separan y la presión disminuye.

Estas perturbaciones del aire se transmiten mediante un movimiento ondulatorio hasta llegar a nuestro oído. Desde aquí se envía un estímulo al cerebro, en donde se interpreta un sonido.

El **sonido** consiste en una forma de transmisión de la energía originada por la vibración de un cuerpo. Se propaga mediante **ondas mecánicas** y es capaz de estimular el sentido del **oído**.

La producción del sonido requiere estos tres elementos fundamentales:

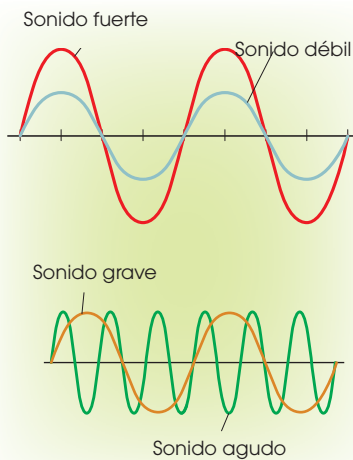
- La existencia de un cuerpo que vibre, es decir, el **foco sonoro**.
- La presencia de un **medio material elástico**, es decir, capaz de recuperar rápidamente su forma inicial. Este medio permite la propagación de las perturbaciones producidas por el foco sonoro. Debido a la necesidad de un medio, el sonido se propaga por los sólidos, los líquidos y los gases pero no en el vacío.
- Un **agente receptor**, como es el oído humano, que transmite las vibraciones recibidas al cerebro, donde son interpretadas.



## Y TAMBIÉN:



Debes evitar el uso de auriculares para escuchar música cuando conduzcas un vehículo, camines por la calle o realices ejercicio físico al aire libre en zonas con tráfico. En cualquier caso, mantén el volumen bajo y no los utilices durante un tiempo prolongado para evitar el riesgo de padecer sordera a largo plazo.



## Características del sonido

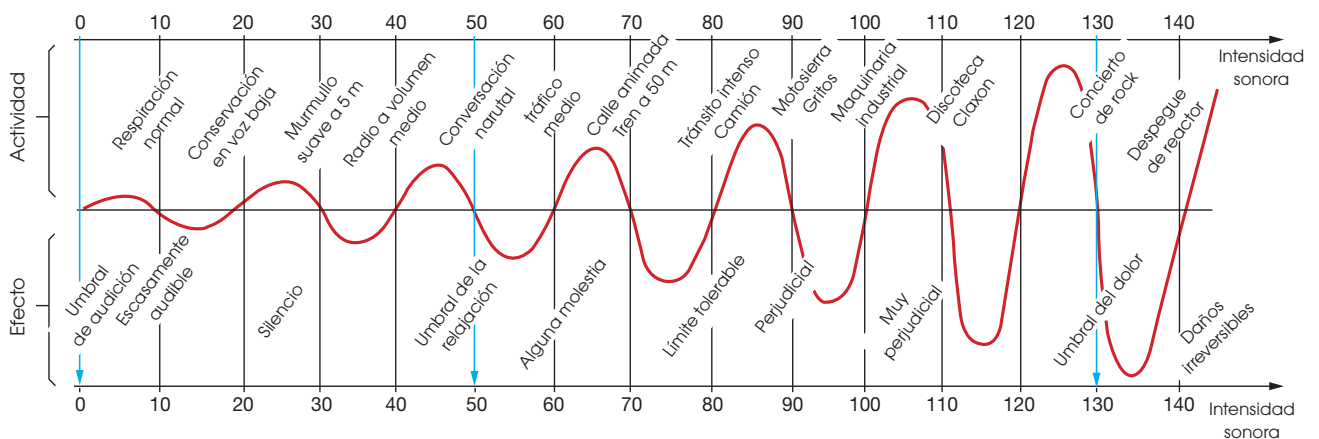
Por el sonido que llega a nuestros oídos podemos saber si un automóvil está cerca o lejos, reconocer si una voz es de hombre o de mujer, o distinguir si una nota musical procede de uno u otro instrumento musical. Todo ello es posible gracias a las cualidades del sonido: la intensidad, el tono y el timbre.

### Intensidad

Es el volumen acústico con que se percibe un sonido y corresponde a la amplitud de la onda sonora. Un sonido de gran **amplitud** es **fuerte**, mientras que uno de pequeña amplitud es **débil**. Así, un grito es un sonido fuerte, mientras que un susurro es un sonido débil.

La intensidad de un sonido disminuye a medida que se propaga. Por ello, un sonido será más intenso a una distancia de **10 m** del foco emisor que a una distancia de **300 m**.

El nivel de intensidad sonora que percibe el oído se mide en decibelios (dB). Un valor de **0 dB** equivale al umbral de audición y uno de **120-130 dB** equivale al umbral de dolor. Los sonidos de menos de **10 dB** son difícilmente audibles, mientras que los superiores a **100 dB** producen molestias. A partir de **140 dB** podemos experimentar daños irreversibles.



### Tono

Es la **frecuencia** de un sonido. El oído humano no puede percibir todos los tonos. El **espectro de frecuencias audibles** comprende aproximadamente desde 20 Hz hasta 20 000 Hz. Los sonidos de baja frecuencia (20-256 Hz) son graves, los de elevada frecuencia (2 000-20 000 Hz) son **agudos** y el resto son **tonos medios**. Los sonidos de frecuencia inferior a 20 Hz, o infrasonidos, y los de frecuencia superior a 20 000 Hz, o ultrasonidos, no son perceptibles.

Gracias a esta cualidad del sonido podemos distinguir las diferentes notas que emite un instrumento musical. En los instrumentos de cuerda, el tono depende de la longitud de las cuerdas. Así, las más cortas emiten sonidos agudos y las más largas, graves. El instrumentista puede variar la longitud al presionar la cuerda en diferentes lugares.

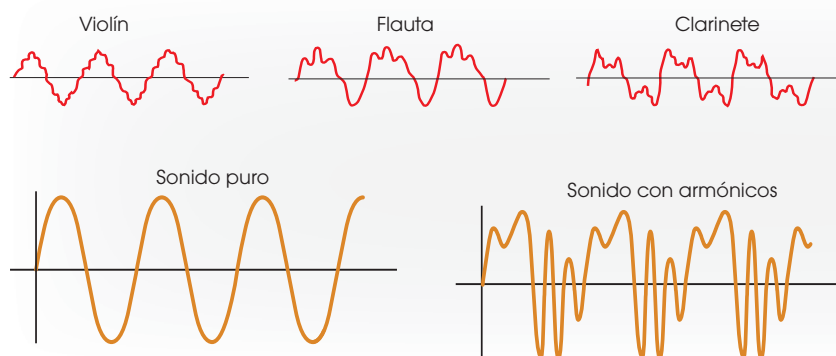
## Timbre

Es una cualidad que depende de la **forma de la onda sonora** y permite distinguir dos instrumentos diferentes que tocan un mismo tono con la misma intensidad. También gracias al timbre identificamos la voz de las personas.

El timbre depende de la forma del instrumento y del material con que está hecho. En el caso de las personas, su timbre de voz depende de las características de las cuerdas vocales, de las fosas nasales y de la cavidad bucal.

El diapasón vibra con una única frecuencia y origina una onda sonora pura. Sin embargo, en general, los sonidos están formados por una **onda principal** y unas ondas secundarias, o **armónicos**, que se superponen a la onda principal. Las diferencias entre los armónicos son las que nos permiten distinguir entre instrumentos o voces diferentes.

Observa la forma de la onda emitida por varios instrumentos musicales.



### Y TAMBIÉN:



#### La duración

Es el tiempo durante el cual se mantiene un sonido. Según su duración, un sonido puede ser largo o corto. Puede considerarse la cuarta cualidad del sonido. A diferencia de las tres anteriores no tiene incidencia en la forma de la onda.

## Contaminación acústica

Llamamos ruido a aquellas vibraciones que, percibidas por el sistema auditivo, pueden originar molestias o lesiones de oído. Está constituido por ondas sonoras cuya frecuencia y amplitud varían sin ajustarse a ninguna pauta. Producen en el medio variaciones de presión bruscas y desordenadas.

El exceso de ruido es un auténtico problema de salud pública. Está científicamente demostrado que puede ocasionar estrés, problemas vasculares, déficit de atención, ansiedad o alteraciones del sueño. La OMS (Organización Mundial de la Salud) establece 65 dB como el límite máximo aceptable de ruido en las poblaciones. Sin embargo, se estima que 80 millones de personas están expuestos diariamente a niveles de ruido superior.

Las fuentes generadoras de ruido en el entorno urbano son diversas: obras de construcción, fábricas industriales, locales musicales, aviones..., pero, sin duda, el principal foco de ruido actual es el tráfico.

Algunas de las medidas que se están tomando para reducir la contaminación acústica en nuestras ciudades son pantallas acústicas, soportes antivibratorios, pavimento sonorreductor, silenciadores incorporados al vehículo, insonorización de auditorios...

En España, uno de los países con mayor índice de ruido del mundo, el año 2003 fue aprobada una ley conocida como Ley del ruido (ley 37/2003), cuyo objeto es prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica. Posteriormente, se dictó el Real Decreto 286/2006 que regula la protección de los trabajadores contra la exposición al ruido.

## Fenómenos causados por el movimiento de la fuente y del receptor

El sonido del claxon de un automóvil o el silbido de una locomotora de tren es más agudo al acercarse hacia nosotros y baja de tono conforme se aleja.

Este fenómeno, común a todas las ondas armónicas, aunque más conocido en las ondas sonoras, se llama efecto Doppler, en honor del físico austriaco Ch. J. Doppler (1803-1853), quien lo interpretó en 1842.

El **efecto Doppler** consiste en el cambio que experimenta la frecuencia con que percibimos un movimiento ondulatorio respecto de la frecuencia con la que ha sido originado, a causa del movimiento relativo entre la fuente y el receptor.

Veamos cuáles son los diferentes casos.

### Fuente sonora en movimiento y receptor fijo

Supongamos que una fuente emisora puntual F, que emite con frecuencia  $f$ , se mueve respecto al medio de propagación mientras dos receptores  $R_1$  y  $R_2$  están en reposo. Consideremos, además, que F se mueve hacia  $R_1$  con velocidad constante  $v_F$  menor que la velocidad  $v$  sonido en dicho medio y que el origen del sistema de referencia es la posición inicial de F.

A medida que se producen los frentes de onda correspondientes a un mismo estado de vibración se juntan hacia  $R_1$  mientras se separan en su camino a  $R_2$ .

— El número de frentes de onda  $N$  producidos por la fuente sonora de frecuencia  $f$  en un tiempo  $\Delta t$  es  $N = f \Delta t$ .

— La distancia recorrida por la onda en ese tiempo es  $v\Delta t$ , y la distancia recorrida por la fuente,  $v_F\Delta t$ .

— La distancia ocupada por los frentes de onda entre F y el receptor  $R_1$  es  $(v - v_F)\Delta t$ , y la distancia ocupada por los frentes de onda entre F y  $R_2$ ,  $(v + v_F)\Delta t$ .

— A los dos receptores  $R_1$  y  $R_2$  les llega el mismo número de frentes de onda  $N$ , pero la longitud de onda percibida por ellos  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  (distancia entre dos frentes de onda consecutivos) no es igual:

$$\lambda_1 = \frac{(v - v_F) \Delta t}{N} = \frac{(v - v_F) \Delta t}{f \Delta t} = \frac{v - v_F}{f}; \lambda_2 = \frac{v + v_F}{f}$$

— Por tanto, las frecuencias percibidas por cada receptor,  $f_1$  y  $f_2$ , son:

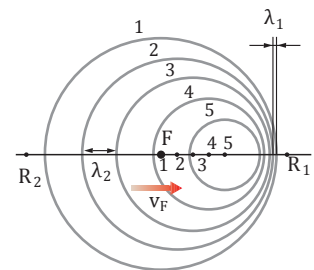
$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{\frac{v - v_F}{f}} = f \frac{v}{v - v_F}; f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{\frac{v + v_F}{f}}$$

— La frecuencia  $f_R$  percibida por los receptores en reposo cuando la fuente se mueve con velocidad constante  $v_F$  es:

$$f_R = f \frac{v}{v \pm v_F}$$

(-): la fuente se acerca al receptor  
(+): la fuente se aleja del receptor

Observa que la frecuencia percibida es mayor cuando la fuente se acerca al receptor y menor cuando se aleja de él.



### Y TAMBIÉN:



#### Aplicaciones del efecto Doppler

Los astrofísicos usan el efecto Doppler para determinar el movimiento relativo de los diferentes cuerpos celestes, aplicado a la luz que de ellos nos llega.

La policía de tráfico también utiliza el efecto Doppler para medir, mediante un radar, la velocidad de los automóviles en la carretera

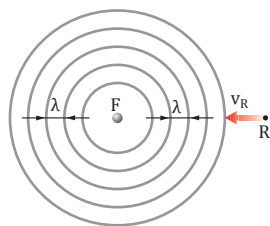
## Receptor en movimiento y fuente sonora fija

Supongamos ahora que la fuente emisora está en reposo y que el receptor se mueve con velocidad constante  $v_R$ .

En este caso, la longitud de onda no varía, pero la frecuencia percibida por el receptor es mayor si éste se acerca a la fuente  $F$  que si se aleja de ella, puesto que en el mismo intervalo de tiempo cruza a través de un mayor número de frentes de onda.

— El número total de frentes de onda que atraviesa un receptor que se acerca a la fuente  $F$ , en un tiempo  $\Delta t$ , es igual a los que atravesaría en reposo más la cantidad adicional correspondiente a su movimiento. Ambos términos son iguales a la distancia recorrida por la onda y por el receptor, respectivamente, divididos por la separación entre frentes de onda,  $\lambda$ :

$$N = \frac{v \Delta t}{\lambda} + \frac{v_R \Delta t}{\lambda} = \frac{v + v_R}{\lambda} \Delta t$$



— Si el receptor se aleja de la fuente, el número de frentes de onda recibidos será:

$$N = \frac{v \Delta t}{\lambda} - \frac{v_R \Delta t}{\lambda} = \frac{v - v_R}{\lambda} \Delta t$$

— Por lo tanto, la frecuencia percibida por el receptor, es decir, el número de frentes de onda por unidad de tiempo, es:

$$f_R = \frac{N}{\Delta t} = \frac{(v \pm v_R) \frac{\Delta t}{\lambda}}{\Delta t} = \frac{v \pm v_R}{\lambda} = \frac{v \pm v_R}{v} \cdot \frac{v}{\lambda} = f \frac{v \pm v_R}{v}$$

$$f_R = f \frac{v \pm v_R}{v}$$

(+): el receptor se acerca a la fuente  
(-): el receptor se aleja de la fuente

Observa que la frecuencia percibida es mayor cuando el receptor se acerca a la fuente y menor cuando se aleja de ella.

## Fuente sonora en movimiento y receptor fijo

Combinando los dos efectos ya estudiados, podemos calcular la frecuencia percibida por el receptor cuando éste y la fuente sonora están en movimiento simultáneamente.

Primero, consideramos el efecto del movimiento de la fuente sobre la frecuencia percibida por el receptor:

$$f_R' = f \frac{v}{v \mp v_F}$$

A continuación, consideramos el efecto sobre esta última,  $f_R'$ , del movimiento del receptor:

$$f_R = f_R' \frac{v \pm v_R}{v}$$

Por tanto, la frecuencia percibida cuando se mueven fuente y receptor vale:

$$f_R = f_R' \frac{v \pm v_R}{v} = f \frac{v}{v \mp v_F} \cdot \frac{v \pm v_R}{v} = f \frac{v \pm v_R}{v \mp v_F}$$

$$f_R = f \frac{v \pm v_R}{v \mp v_F}$$

(+): receptor se aproxima; (-): se aleja  
(-): fuente se aproxima; (+): se aleja

En resumen, siempre que la distancia entre la fuente sonora y el receptor disminuye, la frecuencia de las ondas que recibe el receptor aumenta y el tono percibido es más agudo. Si dicha distancia aumenta, la frecuencia percibida disminuye y el tono es más grave.