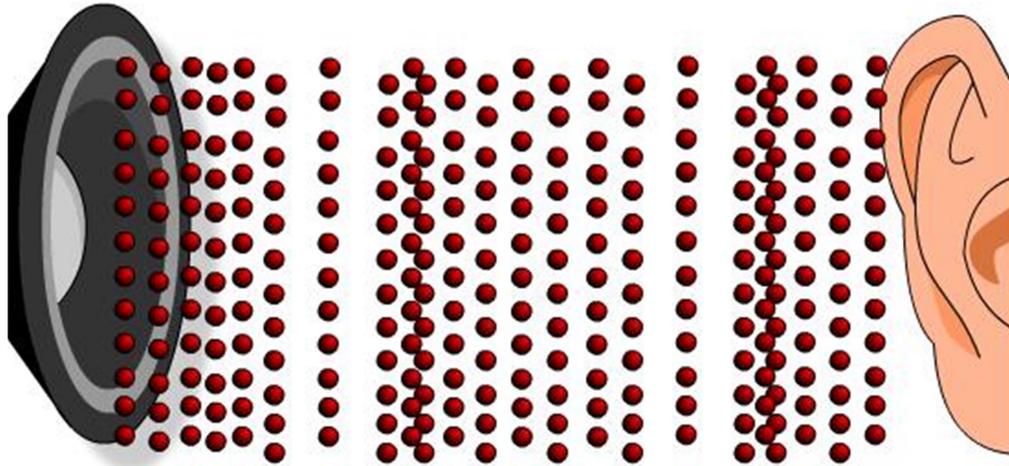


# El Sonido

- 1| Naturaleza del Sonido
- 2| Velocidad de Propagación del Sonido
- 3| Reflexión del Sonido: Eco y Reverberación
- 4| Nivel de Intensidad Sonora e Intensidad del Sonido
- 5| Contaminación Acústica
- 6| Cualidades del Sonido
- 7| Efecto Doppler

## 1| Naturaleza del Sonido

Experimentalmente puede ponerse de manifiesto que el sonido consiste en la propagación de una vibración y que es una **onda mecánica**, es decir, que requiere de un medio material para propagarse: el sonido no se propaga en el vacío.



Si un foco emisor produce sonido es porque alguna parte de él vibra. Las vibraciones del emisor se transmiten a las partículas del medio en el que se encuentra y éstas las transmiten de unas a otras y a las de otros materiales que estén en contacto. Si el sonido llega al tímpano del oído, esta membrana vibra y se percibe dicho sonido.

Subjetivamente, el sonido es la sensación que experimenta el órgano del oído debido a la vibración de algún cuerpo.

Objetivamente, el sonido es el movimiento ondulatorio que da lugar a dicha sensación.

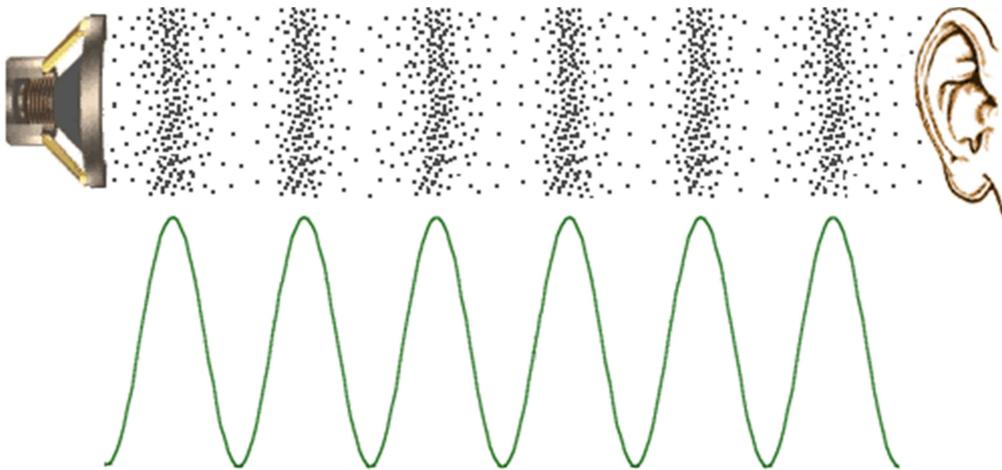
El oído humano puede percibir los sonidos de frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20.000 Hz.

Las ondas sonoras cuya frecuencia es inferior a 20 Hz se denominan **infrasonidos**.

Las ondas sonoras de frecuencia superior a 20.000 Hz se denominan **ultrasonidos**.

El sonido es una **onda longitudinal**, un movimiento ondulatorio longitudinal, puesto que la dirección de vibración y la dirección de propagación son la misma.

Las partículas del medio alcanzadas por la perturbación vibran, pero no experimentan desplazamiento neto. La vibración empuja y comprime las capas de aire cercanas. Esta compresión se transmite a las capas adyacentes, de forma que todo sucede como si la compresión se propagase hacia afuera, a partir de la fuente sonora. A la compresión le sucede una disminución de la presión. Por estos hechos, se dice que el sonido es una onda de presión.



## 2| Velocidad de Propagación del Sonido

La velocidad de propagación del sonido no depende de su mayor o menor intensidad, ni de la fuente sonora, sino que depende del medio en el que se propaga.

	Substance	Speed of sound (m/s)
Gases	Carbon dioxide	260
	Air (20 °C)	343
	Helium	960
	Hydrogen	1280
Liquids	Methyl alcohol	1130
	Water (20 °C)	1480
	Sea water (20 °C)	1520
Solids	Concrete	3200
	Hardwood	4000
	Steel	5800
	Aluminum	6400
	Diamond	12,000

En un determinado medio, el sonido se propaga con velocidad constante, pero esta velocidad depende de las propiedades del medio: densidad, temperatura, grado de humedad, etc.

En general, los sólidos son mejores transmisores del sonido que los líquidos o los gases. Sin embargo, algunos sólidos porosos, como el corcho, tienen un gran poder de absorción y son utilizados como aislantes del sonido.

La mayor o menor velocidad de propagación del sonido en un medio depende de la rigidez del medio: cuanto más rígida sea la unión entre las moléculas o átomos que forman el medio, más rápidamente recuperarán su posición de equilibrio después de ser alcanzados por la vibración, lo que se traduce en una mayor velocidad de propagación del sonido.

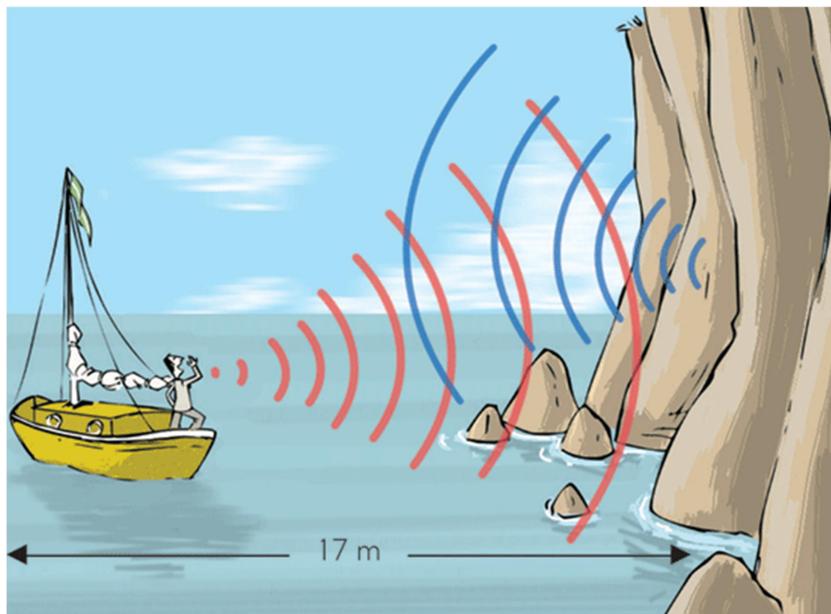
En condiciones normales,  $T=273\text{ K}$  y  $p=1\text{ atm}$ , en el aire seco, el sonido se propaga a  $331\text{ m/s}$ . A  $15\text{ °C}$ , la velocidad del sonido en el aire es de  $340\text{ m/s}$ .

### 3| Reflexión del sonido: eco y reverberación

El sonido, como cualquier onda, tiene la propiedad de reflejarse cuando se encuentra con un obstáculo.

Cuando se emite un sonido y éste se refleja en una superficie, de forma que regresa de nuevo, si el oído distingue el sonido emitido del reflejado se dice que se ha producido el **eco** del sonido emitido.

El oído humano distingue entre dos sonidos consecutivos si entre ellos hay, como mínimo, una diferencia de una décima de segundo. Como la velocidad del sonido en el aire es, aproximadamente, 340 m/s, se deduce que el eco se produce si el obstáculo reflector se encuentra a una distancia mínima de 17 metros del receptor. Si el obstáculo está a menor distancia, no se produce eco sino un fenómeno conocido como **reverberación**: el sonido reflejado se superpone al incidente y da la sensación de que su duración se alarga en el tiempo.



## 4| Nivel de Intensidad Sonora e Intensidad del Sonido

En general, la intensidad del sonido es muy pequeña en relación con la intensidad de otras ondas: la intensidad del sonido que emite una persona cuando habla con voz normal es del orden de  $10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.

No existe una proporcionalidad entre la intensidad de un sonido y el nivel de intensidad sonora que se percibe. Por ejemplo, para que una persona aprecie que el volumen de un sonido es el doble que el de otro sonido, la intensidad del mismo debe ser diez veces superior. La relación entre la intensidad de un sonido y el nivel de intensidad sonora es una relación logarítmica.

El **nivel de intensidad sonora**,  $\beta$ , expresado en **decibelios**, dB, de un sonido, viene dado por la expresión:

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Donde  $I_0$  es la intensidad umbral de audición para el oído humano, cuyo valor es  $I_0=10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>. Representa la intensidad por debajo de la cual el oído no percibe sonidos.

La intensidad sonora es una magnitud adimensional, cuya medida se realiza con un aparato electrónico denominado sonómetro.

A un sonido cuya intensidad es la intensidad umbral, le corresponde un nivel de intensidad sonora nulo.

A partir de la definición de nivel de intensidad sonora, se desprende que:

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{\beta}{10}}$$

Actividad| El motor de una moto emite un sonido cuyo nivel de intensidad sonora es de 90 dB. ¿Cuántas motos serán necesarias para que el nivel de intensidad sonora alcance un valor de 120 dB?

*Se determina, en primer lugar, la intensidad del sonido emitido por el motor de la moto:*

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{\beta}{10}} = I_0 \cdot 10^{\frac{90}{10}} = 10^9 \cdot I_0$$

*Para alcanzar un nivel de intensidad sonora de 120 dB harán falta "n" motos:*

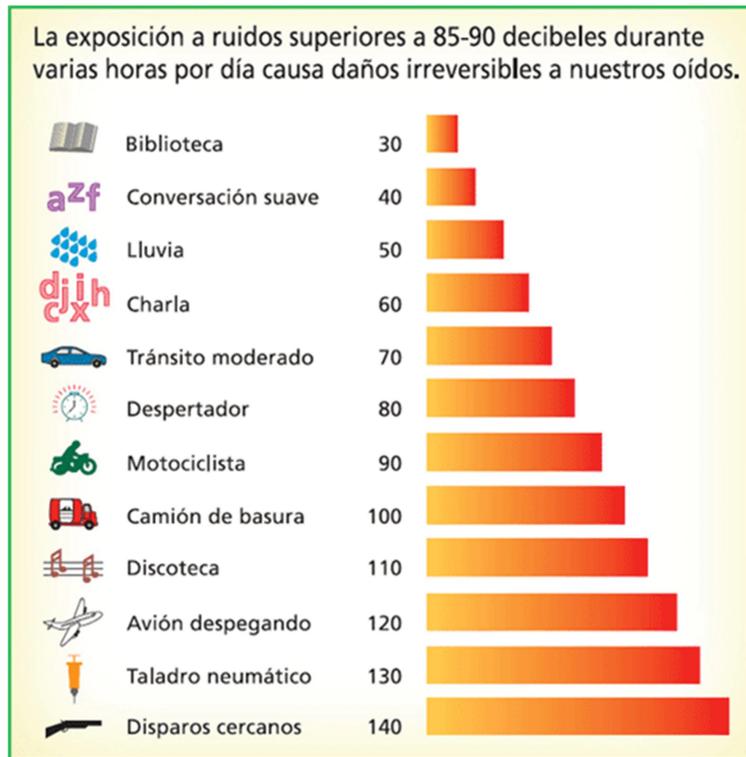
$$n \cdot I = I_0 \cdot 10^{\frac{\beta}{10}}$$

$$n \cdot 10^9 \cdot I_0 = I_0 \cdot 10^{\frac{120}{10}}$$

$$n \cdot 10^9 = 10^{12}$$

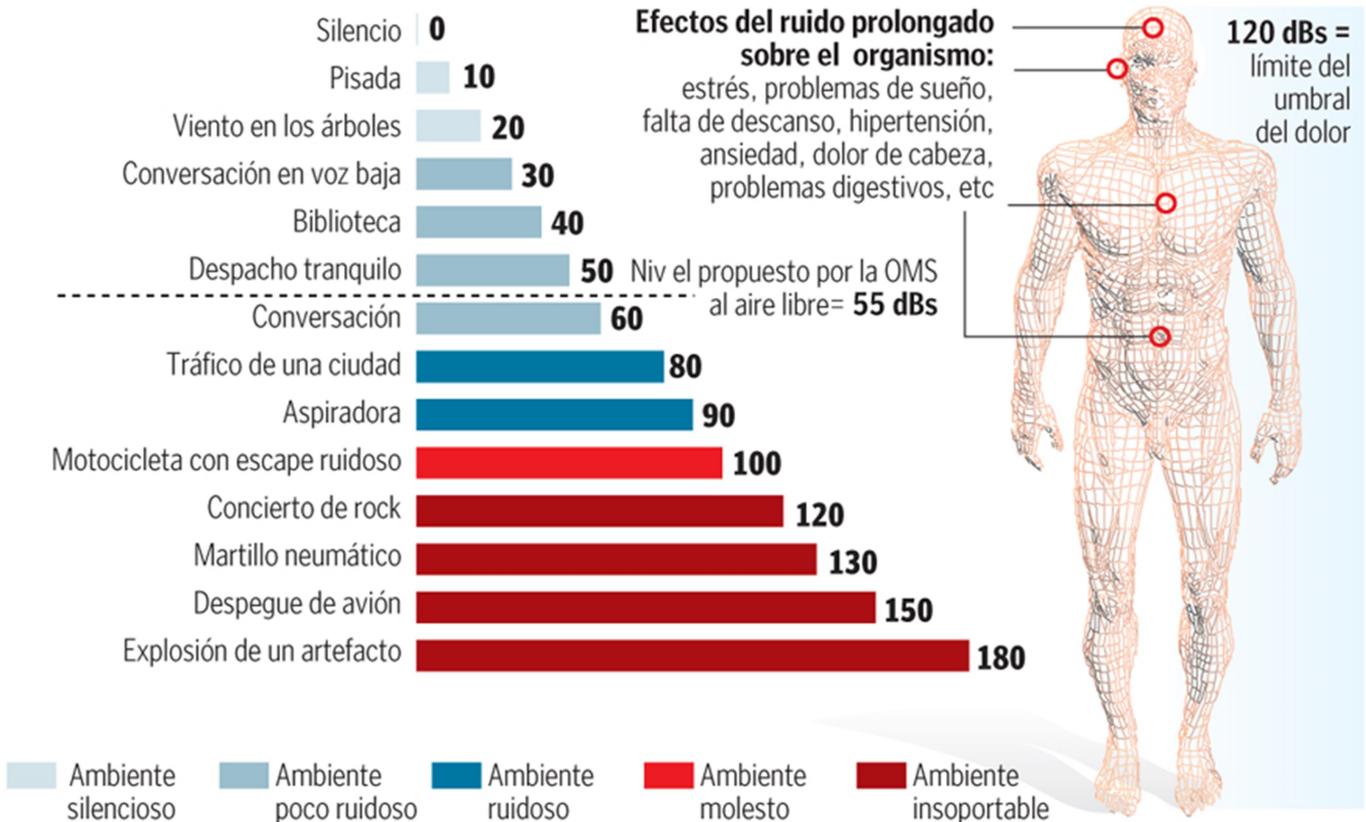
$$n = 10^3 = 1.000 \text{ motos}$$

# 5| Contaminación Acústica



## SALUD Y NIVELES DE RUIDO

En decibelios (dBs)

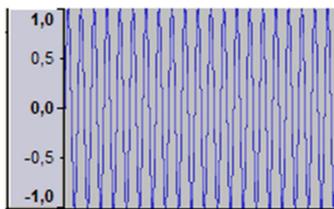


# 6 | Cualidades del Sonido

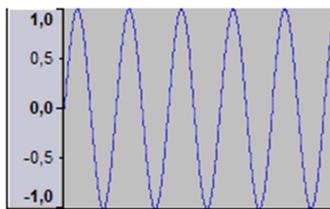
## La altura

Depende de la **frecuencia**, que es el número de vibraciones por segundo. Cuantas más vibraciones por segundo, el sonido es más **agudo** y cuantas menos vibraciones por segundo, el sonido es más **grave**. Cuanto más corta, fina y tensa esté una cuerda, más agudo será el sonido que produzca y viceversa.

Gráficamente la diferencia entre un sonido agudo y un sonido grave podría representarse:



Sonido agudo



Sonido grave

La unidad de medida de la frecuencia es el **hercio (Hz)**, que equivale a una vibración por segundo.

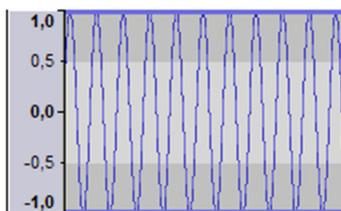
El ser humano no percibe todas las frecuencias. El rango de audición va de los 20 Hz hasta los 20000 Hz. Por encima de esta frecuencia se producen los **ultrasonidos**, que no podemos percibir.

Las **alturas** que son capaces de producir los instrumentos musicales, excepto los electrónicos, no llegan a utilizar todo el rango de audición humano. De hecho, la mayoría de los instrumentos manejan una extensión limitada dentro de ese rango. Las notas que son capaces de producir (su **tesitura**) suelen situarse en la zona grave, intermedia o aguda de ese rango posible de audición.

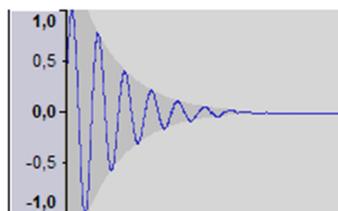
Al proceso de igualar las frecuencias de las diferentes notas entre los distintos instrumentos y/o con relación a un punto de referencia, que se denomina **diapasón**, se lo conoce con el nombre de **afinación**. Las distintas familias de instrumentos pueden tener sistemas de afinación distintos, aunque, para poder igualarlos, todos tienden a una afinación "temperada", en la que se supone que todos los **semitonos** (la distancia mínima que puede haber entre dos notas dentro de la música occidental) son iguales.

## La duración

Está en relación con el tiempo que permanece la vibración y se representaría gráficamente:



Sonido largo



Sonido corto

El tiempo máximo de permanencia de la vibración está muchas veces limitado por las características de producción de sonido del instrumento musical. Naturalmente, los instrumentos electrónicos no tienen este tipo de limitaciones y, siempre que el timbre del instrumento que produzcan no tenga como característica una pronta extinción, la duración de los sonidos puede ser todo lo larga que deseemos.

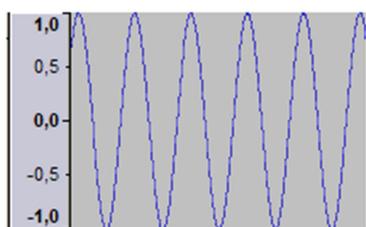
También existe una duración mínima de los sonidos a partir de la cual, aunque un instrumento electrónico fuese capaz de generar sonidos tan breves y tan rápidos (si los hace consecutivamente), nuestro oído acabaría percibiéndolos como simultáneos.

En música la medición del tiempo de los sonidos no se realiza uno a uno, sino por comparación con los demás. Pero aún así, esta referencia relativa de duraciones necesita una referencia superior, para poder establecer su duración absoluta. Así tenemos la indicación metronómica, que se expresa en número de "golpes" por minuto (bpm: beats per minute). Cuanto mayor sea el número de la indicación metronómica, más rápido se interpretará la música y a la inversa.

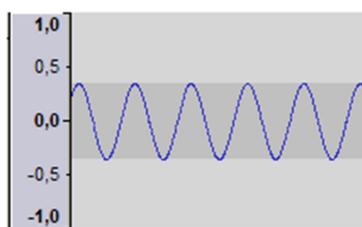
## La intensidad o volumen

Está en relación con la fuerza con que hubiésemos pulsado la cuerda. Su unidad de medida es el **decibelio (dB)**. Cada incremento de 10 dB nuestro oído lo percibe como el doble de intensidad. A partir de 120 dB entraríamos en el umbral del dolor.

En la representación gráfica de un sonido fuerte observáramos que posee una mayor amplitud que un sonido débil.



Sonido fuerte

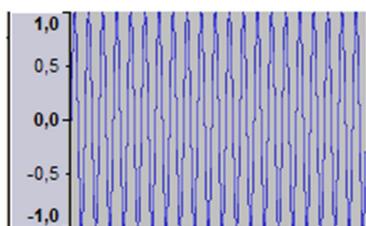


Sonido suave

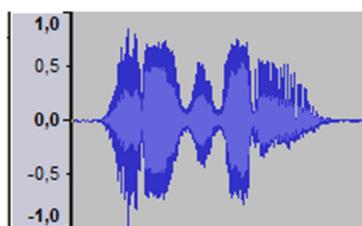
Los sonidos de los distintos instrumentos musicales no tienen todas las mismas posibilidades de potencia sonora. Esta realidad se reconoce claramente en la disposición de los instrumentos dentro de una orquesta, donde los instrumentos con mayor potencia sonora son colocados hacia atrás. Sin embargo, hoy en día y gracias a los avances de la tecnología de amplificación del sonido, los posibles desequilibrios se pueden compensar con una adecuada utilización de los micrófonos y la mesa de mezclas.

## El timbre

Es la cualidad que nos permite distinguir entre los distintos sonidos de los instrumentos o de las voces, aunque interpreten exactamente la misma melodía. El timbre de los distintos instrumentos se compone de un **sonido fundamental**, que es el que predomina (siendo su frecuencia la que determina la altura del sonido), más toda una serie de sonidos que se conocen con el nombre de **armónicos**.



Sonido fundamental

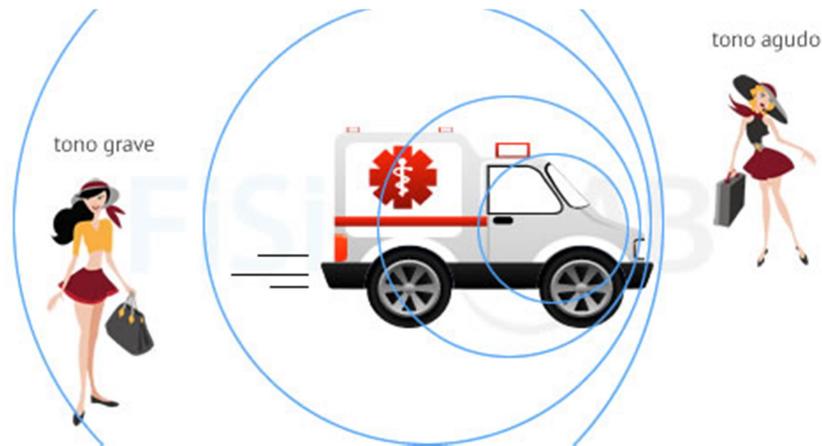


Sonido complejo

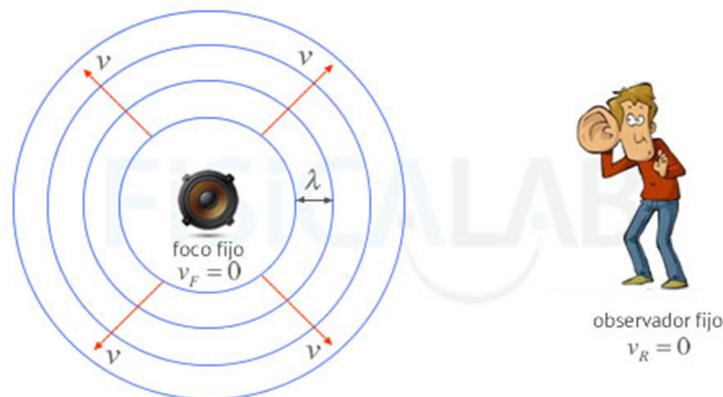
## 7 | Efecto Doppler

El **efecto Doppler** es el fenómeno por el cual la frecuencia de las ondas *percibida* por un observador varía cuando el foco emisor o el propio observador se desplazan uno respecto al otro.

El **efecto Doppler** es el cambio en la frecuencia percibida de cualquier movimiento ondulatorio cuando el emisor, o foco de ondas, y el receptor, u observador, se desplazan uno respecto a otro.



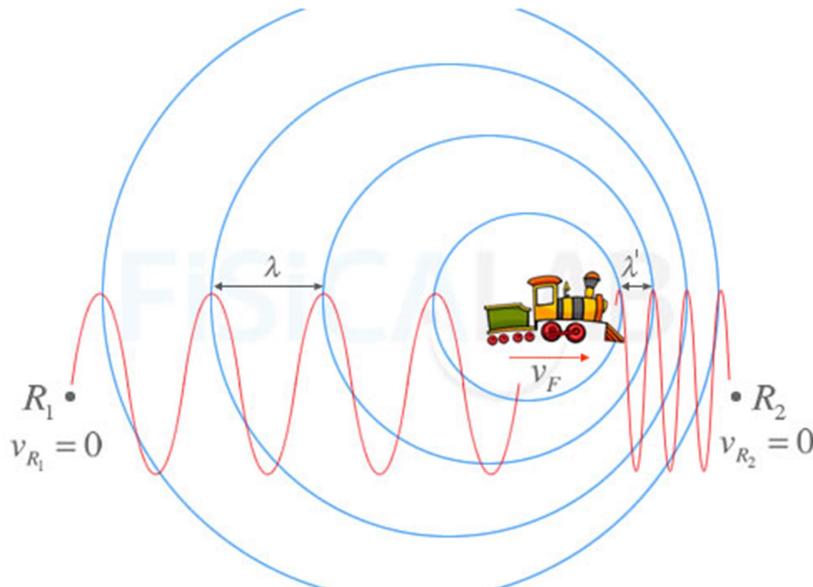
### Foco y observador en reposo



#### Foco y observador en reposo

Los círculos concéntricos de la figura representan los frentes de onda emitidos por el altavoz. A la derecha, un observador en reposo, percibirá la misma longitud de onda  $\lambda$  emitida por el foco.

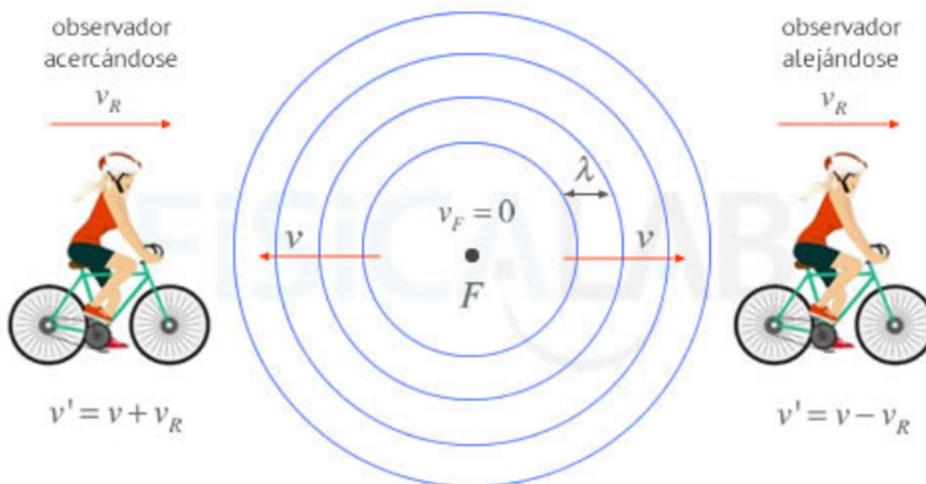
## Foco en movimiento y observador en reposo



### Foco en movimiento y observador en reposo

Frentes de onda generados por un foco en movimiento hacia la derecha. La frecuencia percibida por los receptores  $R_1$  y  $R_2$  será distinta, y dependerá de si el emisor se acerca o se aleja de ellos.

## Foco en reposo y observador en movimiento



### Foco en reposo y observador en movimiento

La separación entre dos frentes de onda permanece constante en todo momento. Aunque la velocidad de las ondas en el medio  $v$  también es constante, la velocidad relativa  $v'$  percibida por el observador que viaja a una velocidad  $v_R$  depende de si este se aleja o se acerca al foco.