
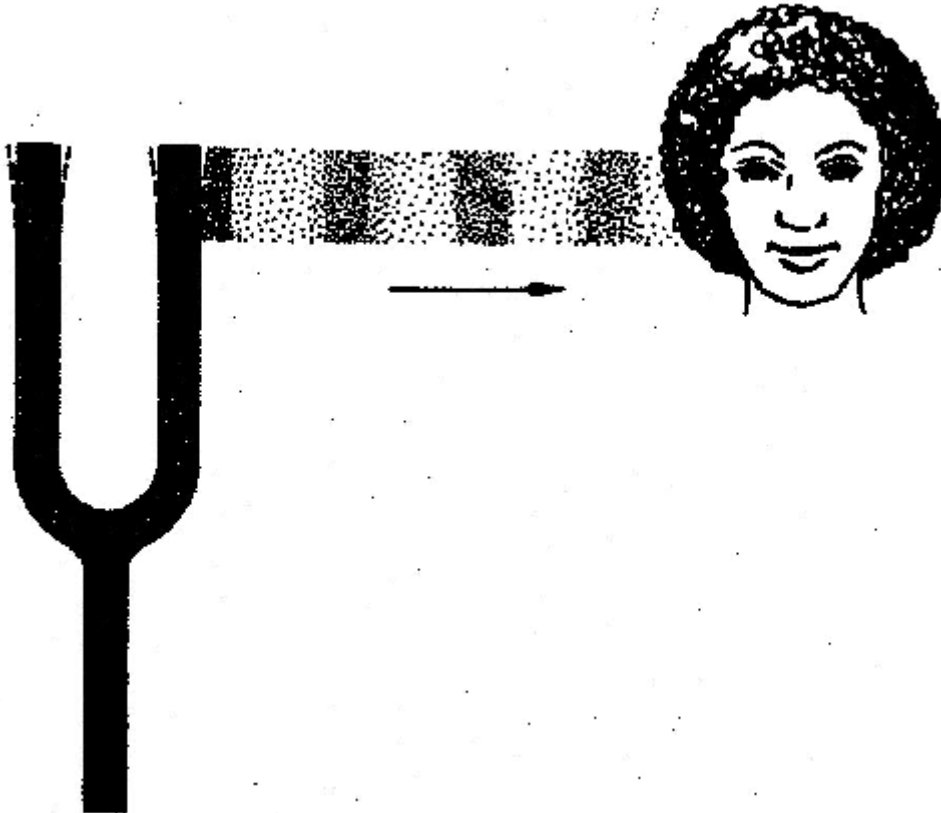
 GRUP SAS	<h1>FOC-ELEN20</h1>		 CESF
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos d'Ones	

Indice

1. Introducción



Cuando se produce una perturbación periódica en el [aire](#), se originan [ondas](#) sonoras longitudinales. Por ejemplo, si se golpea un diapasón con un martillo, las ramas vibratoria emiten ondas longitudinales. El [oído](#), que actúa como receptor de estas ondas periódicas, las interpreta como [sonido](#).

El término sonido se usa de dos formas distintas. Los fisiólogos definen el sonido en término de las sensaciones auditivas producidas por perturbaciones longitudinales en el aire. Para ellos, el sonido no existe en un planeta distante. En [física](#), por otra parte, nos referimos a las perturbaciones por sí mismas y no a las sensaciones que producen.



Sonido es una onda [mecánica](#) longitudinal que se propaga a través de un medio elástico.

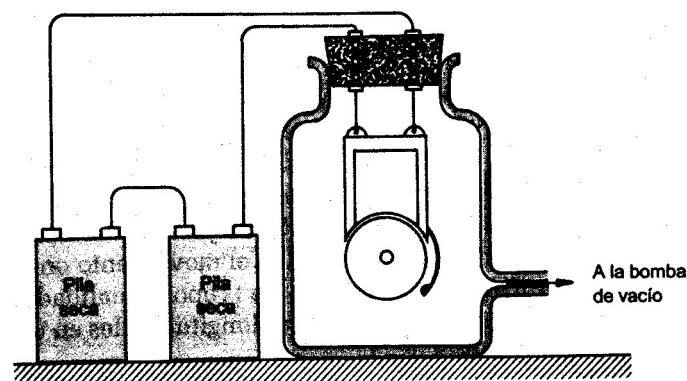
En este caso, el sonido existe en ese planeta. El [concepto](#) de sonido se usará en su significado físico.

 GRUP SAS	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos d'Ones	

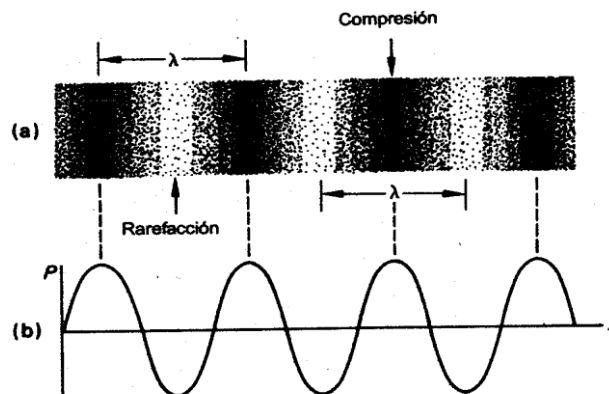
2. Producción de una onda sonora.

Deben existir dos factores para que exista el sonido. Es necesaria una fuente de vibración mecánica y también un medio elástico a través del cual se propague la perturbación. La fuente puede ser un diapasón, una cuerda que vibre o una columna de aire vibrando en un tubo de órgano. Los sonidos se producen por una materia que vibra. La necesidad de la existencia de un medio elástico se puede demostrar colocando un timbre eléctrico dentro de un frasco conectado a una bomba de vacío. Cuando el timbre se conecta a una batería para que suene continuamente, se extrae aire del frasco lentamente. A medida que va saliendo el aire del frasco, el sonido del timbre se vuelve cada vez más débil hasta que finalmente ya no se escucha. Cuando se permite que el aire penetre de nuevo al frasco, el timbre vuelve a sonar. Por lo tanto, el aire es necesario para transmitir el sonido.

Ahora estudiemos más detalladamente las ondas sonoras longitudinales en el aire que proceden de una fuente que producen vibraciones. Una tira metálica delgada se sujeta fuertemente en su base, se tira de uno de sus lados y luego se suelta. Al oscilar el extremo libre de un lado a otro con movimiento armónico simple, se propagan a través del aire una serie de ondas sonoras longitudinales periódicas que se alejan de la fuente. Las moléculas de aire que colindan con la lámina metálica se comprimen y se expanden alternativamente, transmitiendo una onda. Las regiones densas en las que gran número de moléculas se agrupan acercándose mucho entre sí se llaman compresiones. Son exactamente análogas a las condensaciones estudiadas para el caso de ondas longitudinales en un resorte en espiral. Las regiones que tienen relativamente pocas moléculas se conocen como rarefacciones. Las compresiones y rarefacciones se alternan a través del medio en la misma forma que las partículas de aire individuales oscilan de un lado a otro en la dirección de la propagación de la onda. Puesto que una compresión corresponde a una región de alta presión y una rarefacción corresponde a una región de baja presión, una onda sonora también puede representando trazando en una gráfica el cambio de presión P como una función de la distancia x . La distancia entre dos compresiones o rarefacciones sucesivas es la longitud de onda.



Un timbre que se acciona en el vacío no puede escucharse. Es necesario un medio material para que se produzca sonido.



(a) Compresiones y rarefacciones de una onda sonora en el aire en un instante determinado. (b) Variación sinusoidal de la presión como función del desplazamiento.

3. La velocidad del sonido.

Cualquier persona que haya visto a cierta distancia cómo se dispara un proyectil ha observado el fogonazo del arma antes de escuchar la detonación. Ocurre algo similar al observar el relámpago de un rayo antes de oír el trueno. Aunque tanto la luz como el sonido viajan a velocidades finitas, la velocidad de la luz es tan grande en comparación con la del sonido que pueden considerarse instantánea. La velocidad del sonido se puede medir directamente determinando el tiempo que tardan las ondas en moverse a través de una distancia conocida. En el aire, a 0°C, el sonido viaja a una velocidad de 331 m/s (1087 ft/s).

La velocidad de una onda depende de la elasticidad del medio y de la inercia de sus partículas. Los materiales más elásticos permiten mayores velocidades de onda, mientras que los materiales más densos retardan el movimiento ondulatoria. Las siguientes relaciones empíricas se basan en estas proporcionalidades.

Para las ondas sonoras longitudinales en un alambre o varilla, la velocidad de onda está dada por

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

donde Y es el módulo de Young para el sólido y ρ es su densidad. Esta relación es válida sólo para varillas cuyos diámetros son pequeños en comparación con las longitudes de las ondas sonoras longitudinales que se propagan a través de ellas.

En un sólido extendido, la velocidad de la onda longitudinal es función del módulo de corte S, el módulo de volumen B, y la intensidad p del medio. La velocidad de la onda se puede calcular a partir de



FOC-ELEN20



Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació

Conceptos Básicos d'Ones

$$v = \sqrt{\frac{B + \frac{4}{3}S}{\rho}}$$

Las ondas longitudinales transmitidas en un fluido tienen una velocidad que se determina a partir de

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

donde B es módulo de volumen para el fluido y ρ es su densidad.

Para calcular la velocidad del sonido en un [gas](#), el módulo de volumen está dado por

$$B = \gamma P$$

donde γ es la constante adiabática ($\gamma = 1.4$ para el aire y los [gases](#) diatómicos) y P es la presión del gas. Por lo tanto, la velocidad de las ondas longitudinales en un gas, partiendo de la ecuación del fluido, está dada por

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

Pero para un gas ideal

$$\frac{P}{\rho} = \frac{RT}{M}$$

Donde R = constante universal de los gases

T = [temperatura](#) absoluta del gas

M = masa molecular del gas

Sustituyendo la ecuación nos queda

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

Ejemplos.



FOC-ELEN20



Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació

Conceptos Básicos d'Ones

Calcule la velocidad del sonido en una varilla de aluminio.

Solución

El módulo de Young y la densidad del aluminio son

$$Y = 68\,900 \text{ MPa} = 6.89 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3 = 2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

De la ecuación (23-1),

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{6.89 \times 10^{10} \text{ N/m}^2}{2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3}} \\ &= \sqrt{2.55 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{s}^2} = 5050 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Esta velocidad es aproximadamente 15 veces mayor que la velocidad del sonido en aire.

Calcule la velocidad del sonido en el aire en un día en que la temperatura es de 27°C. La masa molecular del aire es 29.0 y la constante adiabática es 1.4.

Solución

De la ecuación (23-6),



$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{(1.4)(8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{29 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}}} \\ &= 347 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4. Vibración Forzada y Resonancia.

Cuando un cuerpo que está vibrando se pone en contacto con otro, el segundo cuerpo se ve forzado a vibrar con la misma frecuencia que el original. Por ejemplo, si un diapasón es golpeado con un martillo y luego se coloca su base contra la cubierta de una mesa de [madera](#), la intensidad del sonido se incrementará repentinamente. Cuando se separa de la mesa el diapasón, la intensidad disminuye a su nivel original. Las vibraciones de las partículas de la mesa en contacto con el diapasón se llaman vibraciones forzadas.

Hemos visto que los cuerpos elásticos tienen ciertas frecuencias naturales de vibración que son características del material y de las condiciones límite (de [frontera](#)). Una cuerda tensa de una longitud definida puede producir sonidos de frecuencias características. Un tubo abierto o cerrado también tiene frecuencias naturales de vibración. Siempre que se aplican a un cuerpo una serie de impulsos periódicos de una frecuencia casi igual a alguna de las frecuencias naturales del cuerpo, éste se pone a vibrar con una amplitud relativamente grande. Este fenómeno se conoce como resonancia o vibración simpática.

Un ejemplo de resonancia es el caso de un niño sentado a un columpio. La experiencia indica que la oscilación puede ser puesta en vibración con gran amplitud por medio de

	FOC-ELEN20		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos d'Ones	

una serie de pequeños empujones aplicados a intervalos regulares. La resonancia se producirá únicamente cuando los empujones estén en fase con la frecuencia natural de vibración del columpio. Una ligera variación de los pulsos de entrada dará como [resultado](#) una vibración pequeña o incluso ninguna.

El refuerzo del sonido por medio de la resonancia tiene múltiples [aplicaciones](#), así como también buen número de consecuencias desagradables. La resonancia en una columna de aire en un tubo de órgano amplifica el débil sonido de una vibración de un chorro de aire vibrante. Muchos instrumentos musicales se diseñan con cavidades resonantes para producir una variedad de sonidos. La resonancia eléctrica en los receptores de [radio](#) permite al oyente percibir con claridad las [señales](#) débiles. Cuando se sintoniza la frecuencia de la estación elegida, la señal se amplifica por resonancia eléctrica. En auditorios mal diseñados o enormes salas de concierto, la [música](#) y las [voces](#) pueden [tener](#) un sonido profundo que resulta desagradable al oído. Se sabe que los puentes se destruyen debido a vibraciones simpáticas de gran amplitud producidas por ráfagas de viento.

5. Ondas sonoras.

Hemos definido el sonido como una onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico. Éste es una definición amplia que no impone restricciones a ninguna frecuencia del sonido. Los fisiólogos se interesan principalmente en las ondas sonoras que son capaces de afectar el sentido del oído. Por lo tanto, es conveniente dividir el espectro del sonido de acuerdo con las siguientes definiciones.

Sonido audible es el que corresponde a las ondas sonoras en un intervalo de frecuencias de 20 a 20 000 Hz.

Las ondas sonoras que tienen frecuencias por debajo del intervalo audible se denominan infrasonicas.

Las ondas sonoras que tienen frecuencias por encima del intervalo audible se llaman ultrasónicas.

Cuando se estudian los sonidos audibles, los fisiólogos usan los términos, [fuerza](#), tono y [calidad](#) (timbre) p'ara describir las sensaciones producidas. Por desgracia, estos términos representan magnitudes sensoriales y por lo tanto subjetivas. Lo que es volumen fuerte para una persona es moderado para otra. Lo que alguien percibe como calidad, otro lo considera inferior. Como siempre, los físicos deben trabajar con definiciones explícitas medibles. Por lo tanto, el físico intenta correlacionar los efectos sensoriales con las propiedades físicas de las ondas. Estas correlaciones se resumen en la siguiente forma:

Efectos sensoriales [Propiedad](#) física

Intensidad acústica (Volumen) Intensidad

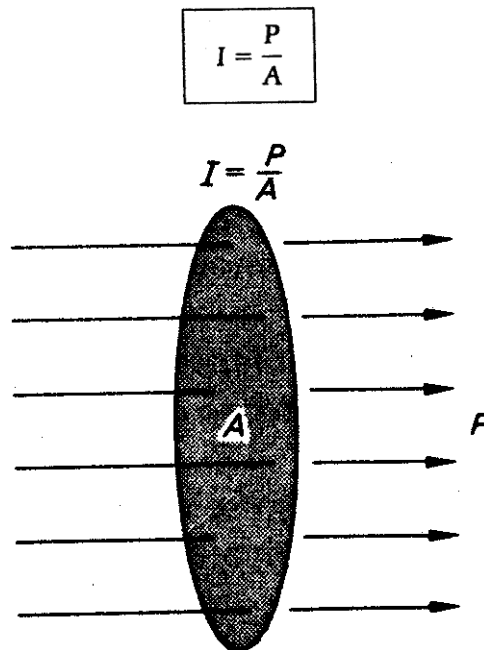
Tono Frecuencia

Timbre (Calidad) Forma de la onda

El significado de los términos de la izquierda puede variar considerablemente de uno a otro [individuo](#). Los términos de la derecha son medibles y [objetivos](#).

Las ondas sonoras constituyen un flujo de energía a través de la materia. La intensidad de una onda sonora específica es una medida de la razón a la cual la energía se propaga a través de un cierto volumen espacial. Un [método](#) conveniente para especificar la intensidad sonora es en términos de la rapidez con que la energía se transfiere a través de la unidad de área normal a la dirección de la propagación de la onda. Puesto que la rapidez a la cual fluye la energía es la [potencia](#) de una onda, la intensidad puede relacionarse con la potencia por unidad de área que pasa por un punto dado.



La intensidad sonora es la potencia transferida por una onda sonora a través de la unidad de área normal a la dirección de la propagación.



La intensidad de una onda sonora es una medida de la potencia transmitida por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación de onda.

Las unidades para la intensidad resultan de la relación de una unidad de potencia entre una unidad de área. En unidades del SI, la intensidad se expresa en W/m^2 , y ésa es la unidad que emplearemos. Sin embargo, la rapidez de flujo de energía en ondas sonoras es pequeña, y en la [industria](#) se usa todavía W/cm^2 en múltiples aplicaciones. El factor de conversión es:

$$1 \text{ } W/cm^2 = 1 \times 10^{-2} \text{ } W/m^2$$

 GRUP SAS	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos d'Ones	

Se puede demostrar por [métodos](#) similares a los utilizados para un resorte que está vibrando, que la intensidad sonora varía en forma directa al cuadrado de la frecuencia f y al cuadrado de la amplitud A de una determinada onda sonora. Simbólicamente, la intensidad I esta dada por:

$$I = 2\pi^2 f^2 A^2 \rho v$$

Donde v es la velocidad del sonido en un medio de densidad ρ . El símbolo A en la ecuación se refiere a la amplitud de la onda sonora y no a la unidad de área.

La intensidad I_0 del sonido audible apenas perceptible es el orden de 10^{-12} W/m². Esta intensidad, que se conoce como umbral de audición, ha sido adoptado por expertos en acústica como la intensidad mínima para que un sonido sea audible.

El umbral de audición representa el patrón de la intensidad mínima para que un sonido sea audible. Su [valor](#) a una frecuencia de 1000 Hz es:

$$I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 1 \times 10^{-10} \text{ ?W/cm}^2$$

El intervalo de intensidades por arriba del cual el oído humano es sensible es enorme. Abarca desde el umbral de audición I_0 hasta una intensidad de 10^{12} veces mayor. EL extremo superior representa el punto en el que la intensidad es intolerable para el oído humano. La sensación se vuelve dolorosa y no sólo auditiva.

El umbral del dolor representa la intensidad máxima que el oído promedio puede registrar sin sentir dolor. Su valor es:

$$I_p = 1 \text{ W/m}^2 = 100 \text{ ?W/cm}^2$$

En vista de la amplitud del intervalo de intensidades al que es sensible el oído, es más conveniente establecer una [escala](#) logarítmica para las mediciones de intensidades sonoras. Dicha escala se establece a partir de la siguiente regla.

Cuando la intensidad I_1 de un sonido es 10 veces mayor que la intensidad I_2 de otro, se dice que la relación de intensidades es de 1 bel (B).

O sea que, cuando se compara la intensidad de dos sonidos, nos referimos a la diferencia entre niveles de intensidad dada por:

$$B = \log \frac{I_1}{I_2} \quad \text{beles (B)}$$

donde I_1 es la intensidad de un sonido e I_2 es la intensidad del otro.

Ejemplos



FOC-ELEN20



Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació

Conceptos Básicos d'Ones

Dos sonidos tienen intensidades de $2.5 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ y 1.2 W/m^2 . Calcule la diferencia en niveles de intensidad en beles.

Solución

$$\begin{aligned} B &= \log \frac{I_1}{I_2} = \log \frac{1.2 \text{ W/m}^2}{2.5 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2} \\ &= \log 4.8 \times 10^7 = 7.68 \text{ B} \end{aligned}$$

En la práctica, la unidad de 1 B es demasiado grande. Para [obtener](#) una unidad más útil, se define el decibel (dB) como un décimo del bel. Por lo tanto, la respuesta al ejemplo también se puede expresar como 76.8 dB.

Usando la intensidad I_0 como patrón de comparación para todas las intensidades, es posible establecer una escala general para valorar cualquier sonido. El nivel de intensidad en decibeles de cualquier sonido de intensidad I puede calcularse a partir de la relación general.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{decibeles (dB)}$$

donde I_0 es la intensidad del umbral de audición ($1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$). El nivel de intensidad para I_0 es de cero decibeles.

Calcule el nivel de intensidad de un sonido cuya intensidad es de $1 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$

Solución

$$\begin{aligned} \beta &= 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left(\frac{10^{-4} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \right) \\ &= 10 \log 10^8 = 10(8) = 80 \text{ dB} \end{aligned}$$

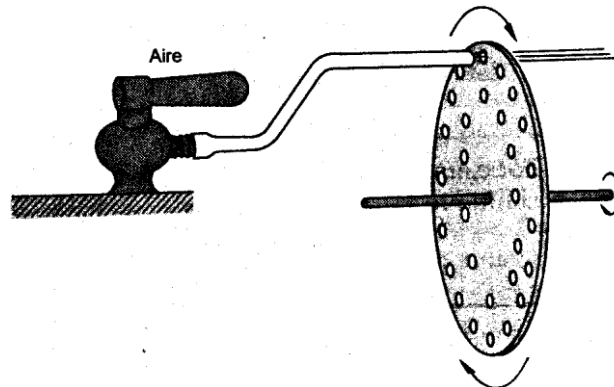
TABLA 23-1 Niveles de intensidad para sonidos comunes	
Sonido	Nivel de intensidad, dB
Umbral de audición	0
Susurro de las hojas	10
Murmullo de voces	20
Radio a volumen bajo	40
Conversación normal	65
En una esquina de una calle transitada	80
Transporte subterráneo	100
Umbral de dolor	120
Motor a propulsión	140 -160

En virtud de la notación logarítmica de los decibeles, el amplio intervalo de intensidades a niveles de intensidad se reduce a un espectro de 0 a 120 dB. Debemos recordar, sin embargo, que la escala no es lineal sino logarítmica. Un sonido de 40 dB es mucho más que el doble de intensidad de un sonido de 20 dB. Un sonido es 100 veces más intenso que otro es tan sólo 20 dB mayor. En la tabla aparecen varios ejemplos de los niveles de intensidad de sonidos comunes.

6. Tono y Timbre.

El efecto de la intensidad en el oído humano se manifiesta en sí mismo como volumen. En general, las ondas sonoras que son más intensas son también de mayor volumen, pero el oído no es igualmente sensible a sonidos de todas las frecuencias. Por lo tanto, un sonido de alta frecuencia puede ni parecer tan alto como uno de menor frecuencia que tenga la misma intensidad.

La frecuencia de un sonido determina lo que el oído juzga como el tono del sonido. Los músicos designan el tono por las letras que corresponden a las notas de las teclas del piano. Por ejemplo, las notas do, re y fa se refieren a tonos específicos, o frecuencias. Un disco de sirena, como el que se [muestra](#) en la figura, puede utilizarse para demostrar cómo el tono queda determinado por la frecuencia de un sonido. Una corriente de aire se envía sobre una hilera de agujeros igualmente espaciados. Al variar la velocidad de rotación del disco, el tono del sonido resultante se incrementa o decrece.



Demostración de la relación entre tono y frecuencia.



Dos sonidos del mismo tono se pueden distinguir fácilmente. Por ejemplo, suponga que suena la nota do (250 Hz) sucesivamente en un piano, una flauta, una trompeta y un violín. Aun cuando cada sonido tiene el mismo tono, hay una marcada diferencia en el timbre. Se dice que esta diferencia resulta una diferencia en la calidad o timbre del sonido.

En los [instrumentos musicales](#), independientemente de la fuente de vibración, generalmente se excitan en forma simultánea diversos modos de oscilación. Por consiguiente, el sonido producido consiste no sólo en la fundamental, sino también en varios sobretonos. La calidad de un sonido se determina por el número y las intensidades relativas de los sobretonos presentes. La diferencia en la calidad o timbre entre dos sonidos puede observarse en forma objetiva analizando las complejas formas de onda que resultan de cada sonido. En general, cuanto más compleja es la onda, mayor es el número de armónicas que contribuyen a dicha complejidad.

7. Interferencia y pulsaciones.

La interferencia también se presenta en el caso de las ondas sonoras longitudinales y el principio de superposición también se les aplica a ellas. Un ejemplo común de la interferencia en ondas sonoras se presenta cuando dos diapasones (o cualquier otra fuente sonora de una sola frecuencia) cuyas frecuencias difieren ligeramente, se golpean de manera simultánea. El sonido que se produce varía en intensidad, alternando entre tonos fuertes y silencio virtual. Estas pulsaciones regulares se conocen como pulsaciones. El efecto vibrato que se obtiene en algunos órganos es producida por dos tubos sintonizados a frecuencias ligeramente diferentes.

Para comprender el origen de las pulsaciones, examinemos la interferencia que se establece entre ondas sonoras que producen de dos diapasones de frecuencia ligeramente distinta. La superposición de ondas A y B ilustran el origen de las pulsaciones. Los tonos fuertes se presentan cuando las ondas interfieren constructivamente y los tonos suaves ocurren cuando las ondas interfieren en forma destructiva. La [observación](#) y los cálculos demuestran que las dos ondas interfieren constructivamente $f - f'$ veces por segundo. Así podemos escribir

	FOC-ELEN20		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos d'Ones	

$$\text{Número de pulsaciones por segundo} = |f - f'|$$

Por ejemplo si dos diapasones de 256 y 259 Hz se golpean simultáneamente, el sonido resultante pulsará tres veces por segundo.

8. Efecto Doppler.

Siempre que una fuente sonora se mueve en relación con un oyente, el tono del sonido, como lo escucha el observador, puede no ser el mismo que el que percibe cuando la fuente está en reposo. Por ejemplo, si uno está cerca de la vía del ferrocarril y escucha el silbato del tren al aproximarse, se advierte que el tono del silbido es más alto que el normal que se escucha cuando el tren está detenido. A medida que el tren se aleja, se observa que el tono que se escucha es más bajo que el normal. En forma similar, en las pistas de carreras, el sonido de los automóviles que se acercan a la gradería es considerablemente más alto en tono que el sonido de los [autos](#) que se alejan de la gradería.

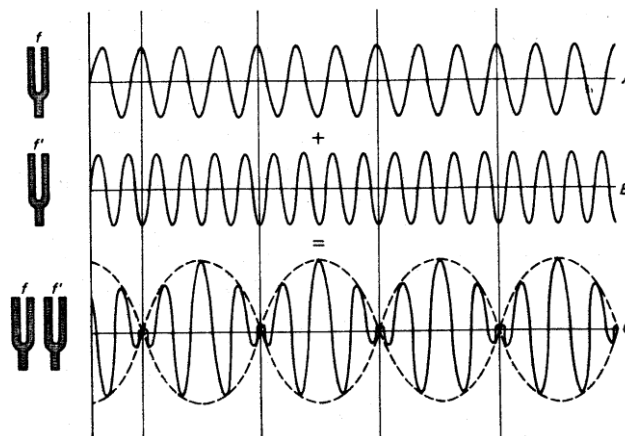


Diagrama que muestra el origen de las pulsaciones. La onda C es una superposición de ondas A y B.

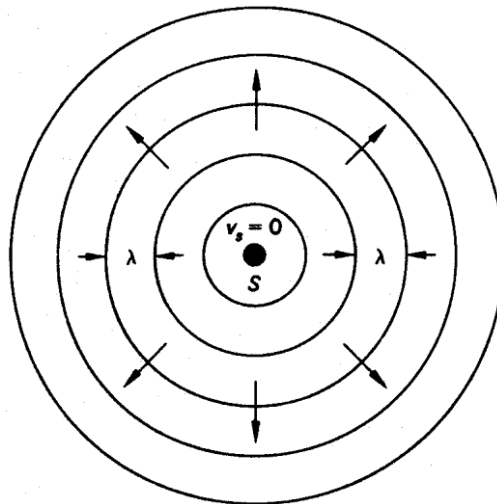
El fenómeno no se restringe al movimiento de la fuente. Si la fuente de sonido está fija, un oyente que se mueva hacia la fuente observará un aumento similar en el tono. Un oyente que se aleja de la fuente de sonido escuchará un sonido de menor tono. El cambio en la frecuencia del sonido que resulta del movimiento relativo entre una fuente y un oyente se denomina efecto Doppler.

El efecto Doppler se refiere al cambio aparente en la frecuencia de una fuente de sonido cuando hay un movimiento relativo de la fuente y del oyente.

El origen del efecto Doppler se puede demostrar gráficamente por medio de la representación de las ondas periódicas emitidas por una fuente como círculos concéntricos que se mueven en forma radial hacia fuera. La distancia entre cualquier par de círculos representa la longitud de onda ??del sonido que se desplaza con una

velocidad V . La frecuencia con que estas ondas golpean el oído determina el tono de sonido escuchado.

Consideremos en primer lugar que la fuente se mueve a la derecha hacia un observador A inmóvil. A medida que la fuente en movimiento emite ondas sonoras, tiende a alcanzar las ondas que viajan en la misma dirección que ella. Cada onda sucesiva se emite desde un punto más cercano al oyente que la onda inmediata anterior. Esto da por resultado que la distancia entre las ondas sucesivas, o la longitud de onda, sea menor que la normal. Una longitud de onda más pequeña producen una frecuencia de ondas mayor, lo que aumenta el tono del sonido escuchado por el oyente A. Mediante un razonamiento similar se demuestra que un incremento en la longitud de las ondas que llegan al oyente B hará que B escuche un sonido de menor frecuencia.



Representación gráfica de ondas sonoras emitidas desde una fuente fija.

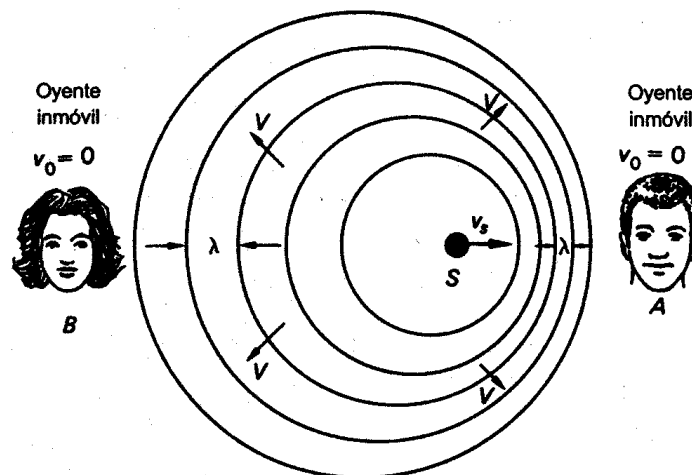


Ilustración del efecto Doppler. Las ondas frente a una fuente en movimiento están más cercanas entre sí que las ondas que se propagan detrás de la fuente móvil.



FOC-ELEN20

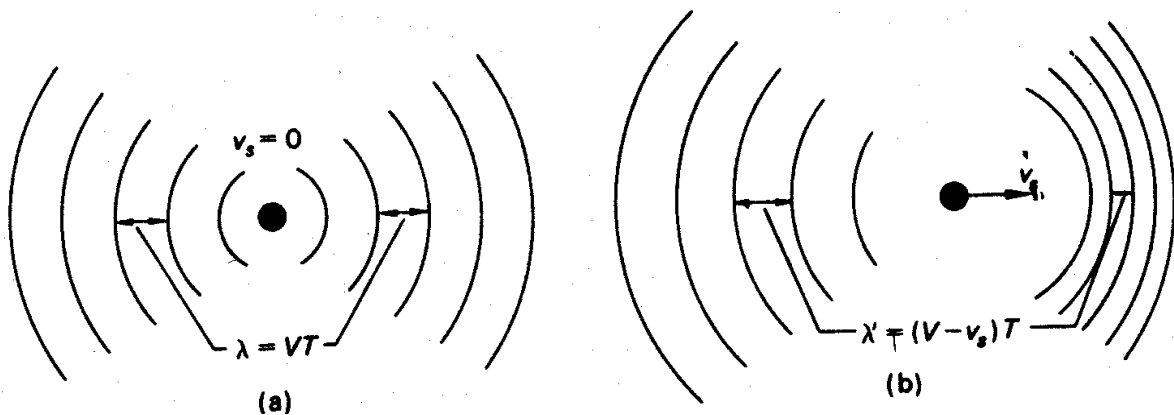


Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació

Conceptos Básicos d'Ones

Ahora podemos deducir una relación para predecir el cambio en la frecuencia observada. Durante una vibración completa de la fuente estacionaria (un tiempo igual al del periodo T), cada onda se moverá a lo largo de una distancia de una longitud de onda. Esta distancia se presenta con λ y está dada por:

$$\lambda = VT = \frac{V}{f_s}$$



Cálculo de la magnitud de la longitud de onda del sonido que se emite desde una fuente en movimiento. La velocidad de la fuente V_s se considera positiva para velocidades de acercamiento y negativa para velocidades de alejamiento.



Donde V es la velocidad de sonido y f_s es la frecuencia de la fuente. Si la fuente se mueve a la derecha con una velocidad V_s , la nueva longitud de onda λ' al frente de la fuente será:

$$\lambda' = VT - V_s T = (V - V_s) T$$

Esta ecuación también se aplica para la longitud de onda a la izquierda de la fuente en movimiento si seguimos la convención de que las velocidades al aproximarse se consideran positivas, y las velocidades al alejarse se consideran negativas. Por lo tanto, si calculamos λ' a la izquierda de la fuente en movimiento, el valor negativo sería sustituido para V_s' dando por resultado una mayor longitud de onda.

La velocidad del sonido en un medio es función de las propiedades del medio y no depende del movimiento de la fuente. Así, la frecuencia f_0 escuchada por un oyente inmóvil y proveniente de una fuente en movimiento de frecuencia f_s' está dada por:

$$f_0 = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V f_s'}{V - v_s}$$

 GRUP SAS	FOC-ELEN20		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos d'Ones	

donde V es la velocidad del sonido y V_s es la velocidad de la fuente. La velocidad V_s se considera como positiva para velocidades de acercamiento y negativa para velocidades de alejamiento.