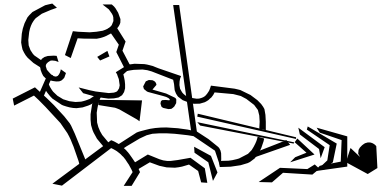


Guía 2 *El sonido*

Sonido

De una manera amplia, llamamos sonido a aquellos estímulos susceptibles de ser captados por nuestro sistema auditivo. En otras palabras, sonido es aquello que podemos escuchar; por lo tanto, los estímulos de naturaleza similar a las ondas sonoras, pero que no pueden ser captados por el ser humano, no constituyen sonido.

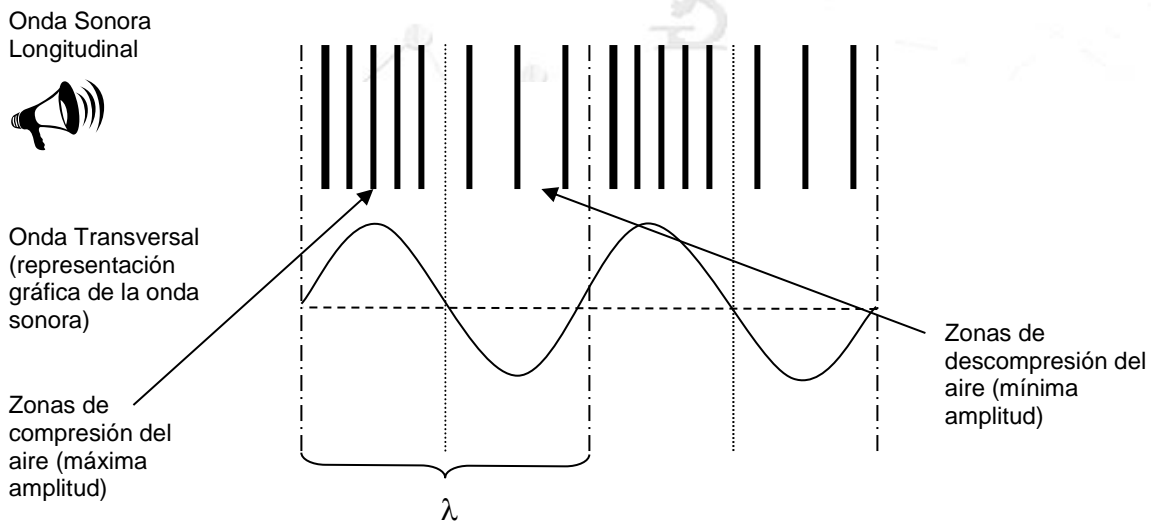


Concepto de *sonido*

El sonido es una onda mecánica longitudinal, constituida por variaciones de presión que se propagan en el aire y a través de otros medios elásticos. Todos los sonidos son producidos por vibraciones mecánicas que transfieren su energía a diferentes medios de propagación. Es importante señalar que pese a que el sonido puede viajar a través de diferentes medios, nuestro oído capta preferentemente aquellos que llegan a él a través de medios gaseosos.



No obstante la onda sonora es longitudinal, se representa gráficamente mediante un modelo de función senoidal, similar a una onda transversal.

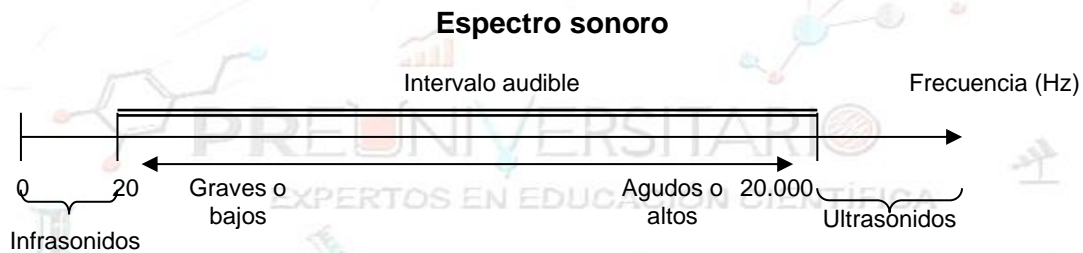


Observaciones:

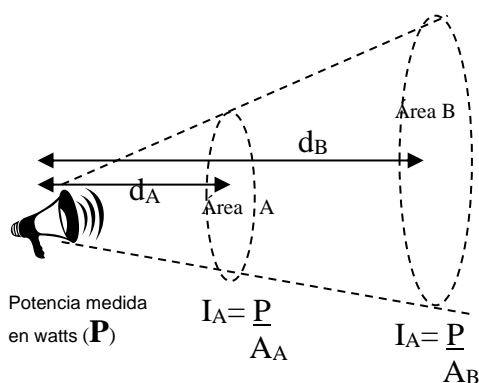
- ✓ Si bien es cierto, el sonido se produce por vibraciones, no todas las vibraciones producen sonidos. En efecto, dicha vibración debe poseer un mínimo de intensidad y debe tener una frecuencia de vibración dentro del intervalo de frecuencias audibles por el ser humano.
- ✓ El sonido requiere de un medio material para su propagación, no puede hacerlo en el vacío.
- ✓ Tiene tres cualidades que permiten distinguir entre diferentes sonidos: intensidad, altura y timbre.

Cualidades del sonido

Altura o tono de un sonido, que corresponde a la percepción auditiva de la **frecuencia** de la onda sonora. La frecuencia de la onda sonora está determinada por la frecuencia de vibración de la fuente. Lo que se reconoce como sonido es la sensación sicoacústica producida por las vibraciones cuya frecuencia puede captar el oído humano. Se ha determinado experimentalmente que en general el intervalo audible de los seres humanos se encuentra entre los 20 y 20.000 Hz, aproximadamente. Un sonido alto o agudo es aquel que tiene alta frecuencia respecto de uno grave o bajo. La altura no debe confundirse con la potencia o sonoridad (volumen).



La Intensidad permite diferenciar sonidos potentes de sonidos débiles. En efecto, la intensidad de un sonido es lo que cotidiana pero erradamente denominamos “volumen” del sonido. La intensidad con que percibimos un sonido depende básicamente de dos factores: la amplitud de la onda sonora (dada por la amplitud de la vibración) y la distancia a la fuente sonora (la intensidad de un sonido es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente).



A medida que nos alejamos de la fuente sonora, el área sobre la cual se “proyecta” el sonido se hace mayor, por lo tanto, la intensidad disminuye (cada vez es menor la cantidad de energía sonora por unidad de área).
La intensidad disminuye de acuerdo a la siguiente regla:

$$I_A \cdot d_A^2 = I_B d_B^2$$

$$I \cdot d^2 = \text{cte.}$$

La intensidad mínima capaz de estimular el oído humano corresponde al **umbral de audición**. Su valor es:

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

La sonoridad, es decir, la percepción de la intensidad sonora, se mide mediante una escala logarítmica, que toma como base el umbral de audición. Dicha escala se denomina Escala de Bell, su unidad es el Bel y tiene una subunidad llamada decibel o dB. En esta escala, el umbral de audición tiene el valor 0 dB. Cada vez que la intensidad sonora aumenta diez veces (se multiplica por diez), la sonoridad aumenta en 10 dB.

Escala de Bell

Fuente del Sonido	Nivel (dB)	Intensidad	Factor
Umbral auditivo	0	I_0	10^0
Respiración normal	10	$10 \cdot I_0$	10^1
Conversación en voz baja	30	$1000 \cdot I_0$	10^3
Biblioteca	40	$10000 \cdot I_0$	10^4
Conversación normal	60	$1000000 \cdot I_0$	10^6
Tráfico pesado	70	$10000000 \cdot I_0$	10^7
Fábrica promedio	90	$1000000000 \cdot I_0$	10^9
Máquina cortadora de metal	100	$10000000000 \cdot I_0$	10^{10}
Umbral del dolor	120	$1000000000000 \cdot I_0$	10^{12}
Motor a reacción a 30 m	140	$100000000000000 \cdot I_0$	10^{14}

Cuando la intensidad del sonido sobrepasa los 120 dB, produce una sensación de intenso dolor en las personas.

Las intensidades de los sonidos se pueden comparar fácilmente por la diferencia de decibeles que tienen.

Un incremento de 10 dB aumenta la intensidad diez veces (se multiplica por un factor 10).

Un incremento de 20 dB aumenta la intensidad cien veces (se multiplica en un factor 100).

Un incremento de 30 dB aumenta la intensidad mil veces (se multiplica por un factor 1000).

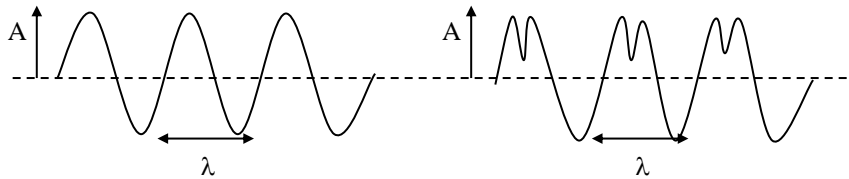
La diferencia de intensidad en decibeles es el exponente de la potencia del factor 10 de la diferencia de intensidades, es decir, es de carácter logarítmico; por ejemplo, determinar la diferencia de intensidades de dos sonidos, uno de 120 dB y el otro de 100 dB:

$$120 \text{ dB} - 100 \text{ dB} = 20 \text{ dB} = 2B$$

El nivel de intensidad del sonido de 120 dB es 100 veces más intenso que el de 100 dB.

Timbre: es la propiedad que permite distinguir sonidos de la misma intensidad y altura, pero emitido por distintas fuentes. Por ejemplo, una nota generada en el piano suena distinto que la misma nota producida en un violín. Las voces de las personas tienen distinto timbre y eso nos permite identificar a una persona por su voz. De una manera simplificada, podemos decir que el timbre de un sonido está directamente relacionado con la forma del perfil de la onda correspondiente al sonido. Por ejemplo, en la figura adjunta, ambos sonidos en un mismo medio (igual rapidez de propagación) tienen la misma frecuencia (y por consiguiente igual λ) e igual amplitud (A). Sin embargo, tienen diferente forma (timbre), debido a que provienen de fuentes diferentes.

www.prociencia.cl



Fenómenos asociados al sonido

Rapidez de propagación: experimentalmente se ha determinado que la rapidez del sonido en el aire a 0°C es aproximadamente $331,4\text{ m/s}$ y dicho valor aumenta o disminuye en **$0,6\text{ m/s}$ por cada 1°C de incremento o disminución en la temperatura del aire.**

Sin embargo, para los efectos prácticos, y a no ser que se indique algo diferente, para las condiciones normales de temperatura y presión (20°C y 1 atmósfera respectivamente), consideraremos la rapidez del sonido en el aire como 340 m/s . El sonido también se transmite en los líquidos y sólidos, siendo su rapidez mayor en estos últimos.

Reflexión. Como todas las ondas, el sonido puede experimentar el fenómeno de reflexión, al incidir sobre una superficie u obstáculo. Sin embargo, solo se produce reflexión cuando el sonido incide sobre superficies lisas, duras y compactas. Ejemplo: el hormigón, el acrílico, las paredes de roca, maderas duras, metales, etc.

Hay dos fenómenos asociados a la reflexión, que suelen confundirse pese a tener ciertas diferencias entre sí:

i. **El eco:** es una reflexión especial, que se caracteriza porque el sonido reflejado por una superficie se distingue nítidamente del sonido emitido. Es decir, el oído puede identificar y diferenciar ambos sonidos. Nuestro oído es capaz de distinguir dos sonidos diferentes, siempre y cuando estos lleguen a él con una diferencia de tiempo igual o superior a $0,1$ segundo, ya que este es el tiempo mínimo de respuesta de nuestro sistema auditivo. Si dos sonidos llegan al oído con una diferencia de tiempo menor, nuestro oído no puede discriminar entre ellos y solo se percibirá ruido.

Si consideramos la rapidez del sonido como 340 m/s , es posible demostrar que la distancia mínima a la que debe estar ubicada una fuente sonora del obstáculo o superficie reflectora es de 17 metros, para que así se perciba eco.

ii. **Reverberancia o reverberación,** ocurre cuando el sonido experimenta múltiples reflexiones sobre algunas superficies antes de atenuarse por completo. ("rebota" múltiples veces en las paredes antes de atenuarse). En efecto, decimos que hay reverberancia cuando el sonido puede seguir sintiéndose después de que la fuente sonora ha dejado de emitirlo. La reverberación se puede percibir muy bien cuando se habla en un salón sin muebles y sin cortinas ni alfombras.

Absorción y transmisión del sonido: de la misma forma como ocurre con las demás ondas, el sonido puede refractarse (transmitirse) a través de diferentes medios o ser absorbido. En general, el

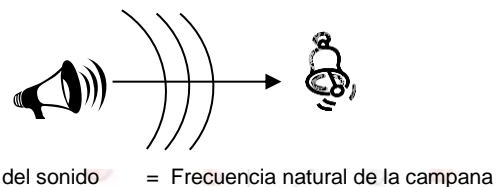
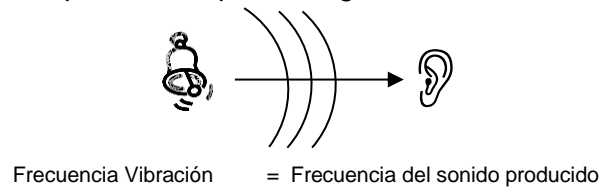
www.prociencia.cl

sonido se transmite muy bien en medios elásticos, como el acero, hormigón o ciertas maderas duras. Sin embargo, es absorbido rápidamente en medios de baja elasticidad, como el poliestireno, el caucho, las telas, superficies porosas, etc.

Se ha observado que los sonidos más agudos o altos son los que experimentan con mayor facilidad la absorción, siendo los más graves los que se transmiten fácilmente.

Resonancia: todos los cuerpos en vibración, tienen una frecuencia característica (frecuencia natural de vibración) que es independiente de la amplitud con que lo haga. Cuando dicho cuerpo vibra transmitiendo su energía al aire, produce un sonido cuya frecuencia es equivalente a la frecuencia de vibración.

Un objeto (como la campana de la figura) puede comenzar a vibrar por resonancia, si incide sobre ella un sonido cuya frecuencia (f_s) sea igual a su frecuencia natural de vibración (f_n). Esto ocurre sin que haya contacto físico entre la fuente sonora y el objeto que vibra por resonancia:



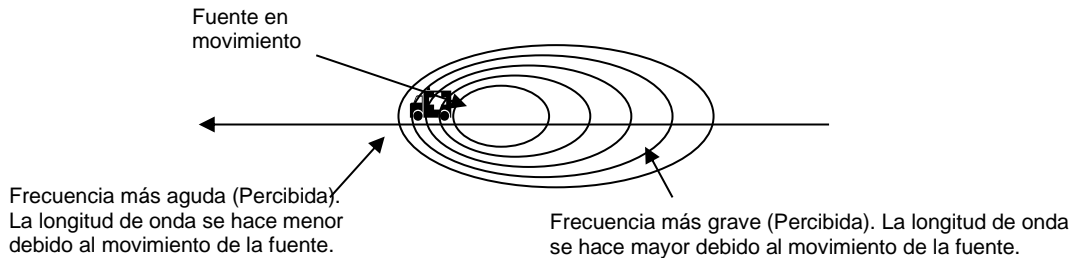
Un sistema resonante, es un sistema formado por dos o más cuerpos que tengan igual frecuencia natural de vibración (o que sean idénticos). En tal caso, basta con que uno de ellos sea puesto en vibración para que el sonido producido incida sobre el segundo y lo haga vibrar por resonancia.



Es importante distinguir la resonancia de otro fenómeno denominado **vibración forzada**. Dicho fenómeno puede ocurrir en los siguientes casos:

- Cuando el sonido es muy potente, como por ejemplo el emitido por un avión. En este caso, los objetos absorben mucha energía, vibran forzosamente con la misma frecuencia del sonido emitido por la fuente.
- Cuando la fuente sonora o vibratoria se pone en contacto con un objeto, como por ejemplo cuando un teléfono celular con vibrador es activado sobre una mesa. Aquí es posible observar que la mesa vibra al ser estimulada (golpeada) periódicamente por la fuente, de tal forma que vibrará forzosamente.

Efecto Doppler: este fenómeno consiste en la variación (aumento o disminución) del valor de la frecuencia que se percibe cuando la fuente que produce un sonido está en movimiento relativo respecto del observador. En otras palabras, es una alteración en la percepción de la frecuencia. Por ejemplo, si una fuente sonora permanece en reposo, todos los observadores en su entorno percibirán el sonido con la misma altura (frecuencia y período) con que es emitido.



la fuente sonora se pone en movimiento respecto del observador, emite los pulsos sonoros no desde el mismo punto, de tal forma que estos llegan al observador con diferente frecuencia a la emitida. En efecto, si la fuente sonora se mueve hacia el observador, pareciera estar “persiguiendo” sus propios pulsos, de modo que “acorta” la distancia entre ellos, aumentando así la frecuencia percibida. Del mismo, si la fuente emisora se aleja del observador, pareciera “arrancarse” de los pulsos emitidos, de tal forma que “aumenta” la distancia entre ellos, llegando así con una frecuencia menor a la emitida. Este fenómeno no altera ni la velocidad ni el timbre del sonido emitido.

Pulsaciones: como ya sabemos, la superposición de ondas da origen a un perfil de ondas distinto, formado por las ondas incidentes. Si ambas ondas son de igual timbre, frecuencia e intensidad (como las producidas por dos guitarras cercanas emitiendo la misma nota), percibiremos un sonido de igual frecuencia y timbre, pero de amplitud igual a la suma de las amplitudes de dichas ondas. Sin embargo, si se superponen dos ondas de igual timbre y frecuencias muy cercanas f_1 y f_2 , tal que $f_1 \approx f_2$, se producirá un fenómeno muy particular denominado pulsación (batimiento, batido o beat). En esos casos, nuestro sistema auditivo no es capaz de percibir separadamente las dos frecuencias presentes, sino que se percibe una frecuencia única promedio:

$$f = (f_1 + f_2) / 2$$

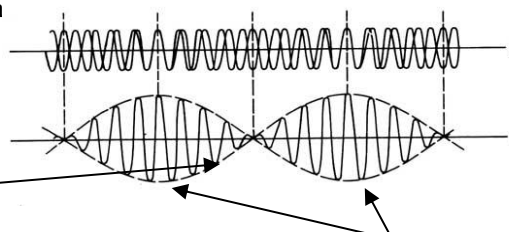
Sin embargo, se perciben periódicos cambios de amplitud. A estos cambios o alteraciones de amplitud, se les denomina pulsaciones o batidos. La frecuencia con que ocurren dichas pulsaciones está dada por la diferencia entre las frecuencias f_1 y f_2 .

$$f_{\text{pulsaciones}} = |f_1 - f_2|$$

Por ejemplo, si superponemos dos ondas senoidales de 300 Hz y 304 Hz, nuestro sistema auditivo percibirá un único sonido cuya altura (frecuencia) corresponde a una onda de 302 Hz y cuya amplitud (pulsaciones) varía con una frecuencia de 4 Hz (es decir, cuatro veces por segundo).

Superposición de ondas de frecuencia muy cercanas

La frecuencia corresponde al promedio de las frecuencias iniciales.
 $f = (f_1 + f_2) / 2$



La frecuencia de las pulsaciones es: $|f_1 - f_2|$

Algunas aplicaciones del sonido

Una de las aplicaciones más útiles para el cuerpo humano es el scanner de ultrasonido. Pulsos de ultrasonido que se envían al interior del cuerpo humano, lo cual mediante la traducción computacional produce, por ejemplo, la ecografía de un bebé en gestación.

A altas frecuencias, el sonido puede viajar a través de la mayoría de los materiales, pero algo de la onda siempre es reflejada cuando la onda pasa de un material a otro. El porcentaje de onda que se refleja dependerá de los materiales involucrados.

El ultrasonido se refleja cuando alcanza el límite entre los diferentes tejidos del cuerpo humano, como músculos y huesos. La reflexión es detectada por el scanner y convertida en imagen sobre la pantalla. La ventaja de usar el sonido es que no daña las células como sí pueden hacerlo los rayos X. Para ver los detalles más finos, la onda sonora debe tener una longitud de onda muy pequeña, es decir, la longitud de onda debe ser más pequeña que las partes del cuerpo que se van a estudiar. Si es más grande que el objeto mismo no experimentará reflexión y continuará su camino. Esta es la razón por la cual se utilizan frecuencias muy altas (recordar que mientras más alta sea la frecuencia, más pequeña será la longitud de onda).

Otro ejemplo claro es la utilización de las ondas sonoras en la industria pesquera para detectar los recursos a explotar por medio de un aparato llamado ecosonda, el cual mide con precisión la cantidad, profundidad, el sustrato y la temperatura del agua, por medio de reflexiones del sonido que emite el aparato.

Ejercicios

1. Un sonido de 30 dB aumenta su intensidad 100 veces, ¿cuál será su nuevo nivel de sonoridad?

- A) 130 dB
- B) 90 dB
- C) 70 dB
- D) 60 dB
- E) 50 dB

2. Un sonido de 1700 Hz que se propaga en el aire se refracta hacia cierto líquido, aumentando su rapidez en un 75%. ¿cuál es el valor de λ para este sonido en el líquido?

- A) 0,2 m
- B) 0,15 m
- C) 0,05 m
- D) 0,35 m
- E) 2975 m

3. Dos violines que suenan de manera cercana producen pulsaciones (zumbidos), a razón de 8 Hz. Si el más agudo suena con 540 Hz, ¿cuál es la frecuencia del otro violín?

- A) 67,5 Hz
- B) $8/540$ Hz
- C) 548 Hz
- D) 532 Hz
- E) 4320 Hz

4. Una ambulancia con su sirena encendida se acerca a una persona a gran velocidad. Respecto del sonido percibido por la persona podemos afirmar que:

- I. Tiene mayor período que el sonido producido.
- II. Tiene mayor velocidad que el sonido producido.
- III. Tiene menor longitud de onda que el sonido producido.

De las anteriores afirmaciones es(son) correcta(s):

- A) Solo I
- B) Solo III
- C) Solo I y II
- D) Solo II y III
- E) Solo I y III

5. El timbre de un sonido está determinado físicamente por:

- A) la fuente que lo produce.
- B) el largo del pulso sonoro.
- C) la energía con que es emitido.
- D) su altura.
- E) Todas las anteriores.

Respuestas correctas:

1.	2.	3.	4.	5.
E	D	D	B	A

GLOSARIO

Sonido: es lo que escuchamos. Corresponde a una onda mecánica longitudinal, que se propaga en el aire mediante variaciones de presión.

Cualidades del sonido: características básicas de todo sonido que permite distinguirlos entre sí. Son tres: timbre, intensidad y tono.

Tono del sonido: de esta forma se denomina a la percepción auditiva de la frecuencia de la onda sonora. Los sonidos se denominan graves (baja frecuencia) o agudos (alta frecuencia), de manera relativa entre sí.

Timbre: es la propiedad que permite identificar la fuente que produce un sonido. Físicamente corresponde a la forma que tiene el perfil de la onda sonora.

Intensidad y sonoridad: la intensidad de un sonido, es una magnitud física relacionada con la cantidad de energía que transporta la onda sonora. Corresponde a la potencia por unidad de área. Al alejarse de la fuente que lo produce, un sonido disminuye su intensidad, puesto que es mayor el área que debe abarcar con la una misma potencia. La sonoridad es una magnitud relacionada con la percepción auditiva humana y mediante ella se ha establecido una escala que pretende estandarizar percepciones subjetivas.

Resonancia: si se hace incidir sonido con un tono igual a la frecuencia de vibración de un cuerpo, dicho cuerpo comenzará a vibrar al absorber la energía del sonido. Si el sonido incide mucho tiempo sobre el cuerpo, esta vibración aumentará paulatinamente su amplitud, pudiendo llegar incluso a romper el cuerpo.

Bibliografía

Hewit, Paul. *Física Conceptual, Adaptación para NM1, Mineduc. Ed. McGraw Hill. 2000.*

Tippens, Paul. *Física, conceptos y aplicaciones.* Ed. McGraw Hill. 2002.

Jauregui, Marcos y otros. *Física, educación media 1.* Ed. Santillana. 1999.

www.tach.ula.ve/fisica/cd/Miguel/acustica.htm

www.tecnociencia.es/.../acustica/sonido1/s6.htm

www.geocities.com/cerdeiraa/MOV_ONDULATORIO.html