

SCEA

Capítulo I: El Sonido



En este capítulo se explicarán las características básicas del sonido, que serán útiles para todo el desarrollo del sistema completo a diseñar en esta tesis.

El sonido es el principal factor de importancia, conociendo su comportamiento y características, se podrá hacer un análisis metodológico correcto y conciso que permita conocer las características del aparato que lo produce, que lo capta, que lo transmite y amplifica, y hasta del espacio en el cual se propaga.

1.1 El Sonido:

El sonido es la sensación que se produce a través del oído en el cerebro y las causas físicas que lo provocan son las vibraciones de un medio elástico que pueden ser sólido, líquido y gaseoso. Estas vibraciones se producen por desplazamiento de las moléculas del aire debido a la acción de una presión externa. Cada molécula transmite la vibración a las que hay a su lado provocándose un movimiento en cadena.

El sonido es todo lo que oímos los seres humanos y los animales, resultado de los desplazamientos moleculares. Se transmite en forma de ondas, y depende de las características del medio en el que se propaga.

Una característica muy importante del sonido es su naturaleza como movimiento armónico, que es un caso particular del movimiento periódico.

Un movimiento armónico es el que describe ciclos idénticos en tiempos iguales respetando amplitud y fuerza. El ejemplo más claro para comprender el concepto antes descrito es el de un resorte sujetado en un extremo a una superficie fija horizontal (un techo por ejemplo) y en el otro extremo a una pelota. Cuando el resorte se encuentra estático se dice que está en posición de reposo (A). Si se aplica una fuerza que haga que se desplace la pelota del punto A al A' en un eje vertical y se suelta la pelota, el resorte presentará un movimiento armónico (oscilatorio).

El tiempo que transcurre entre el paso de la pelota dos veces por el mismo punto se denomina periodo T y se expresa en segundos. La frecuencia f es el número de veces que la bola pasa por el mismo estado de oscilación en la unidad de tiempo, esto es 1 segundo. Por tanto:

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad \text{Ec. 1.1}$$

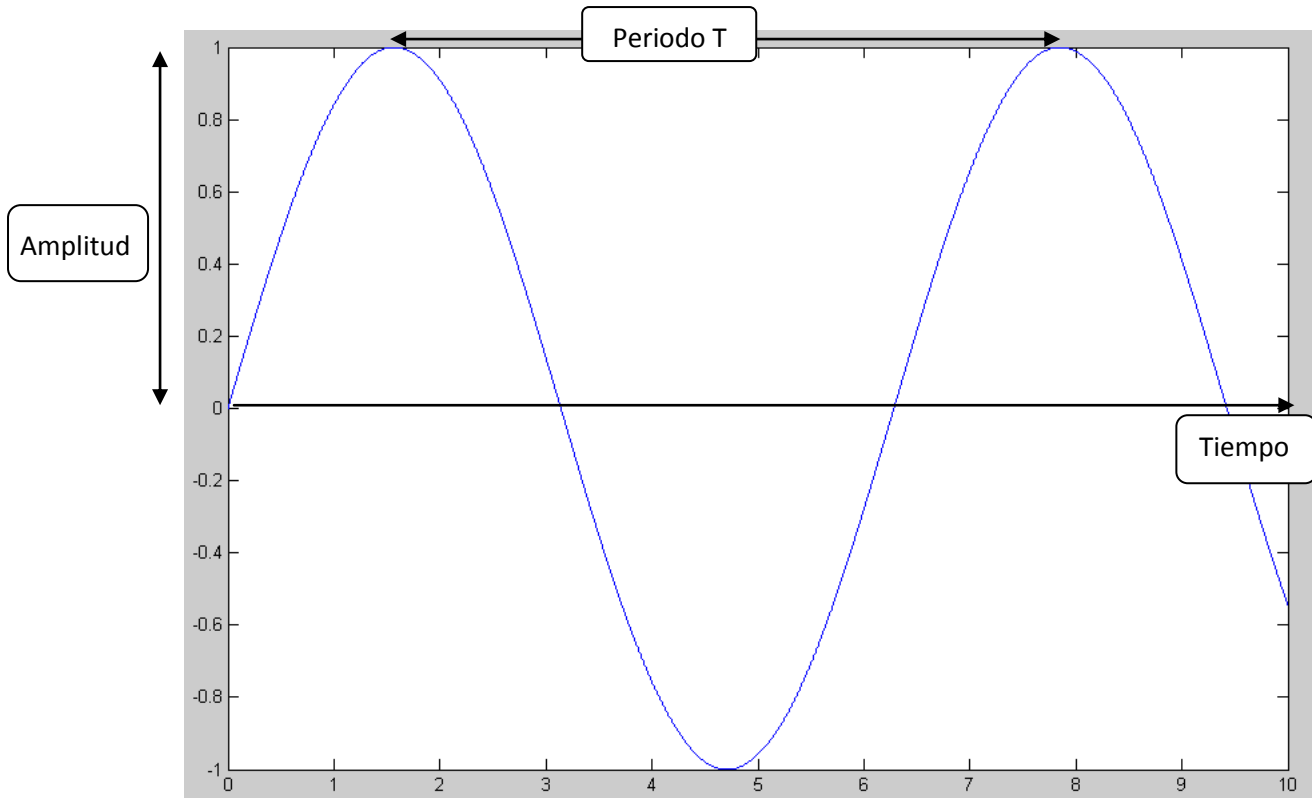


Figura 1.1: Representación de una señal periódica.

En otras palabras, el tiempo que tarda en finalizar una onda u oscilación es el período. Se mide en unidades de tiempo, normalmente en segundos y se representa por la letra T, figura 1.1.

La frecuencia se define como el número de ondas que hay en un segundo. Éstas son las vibraciones que se producen en las moléculas. La unidad de medida de frecuencia es el Hertz (Hz).

La amplitud de una onda es indicativa del nivel de potencia en el que se han producido las oscilaciones. Cuando mayor sea, el sonido será más fuerte.

- **1.2 Origen y Formación**

Para que se produzca sonido se requiere la existencia de un cuerpo vibrante, denominado foco (cuerda tensa, varilla, una lengüeta) y de un medio elástico que transmita esas vibraciones, que se propagan por él constituyendo lo que se denomina onda sonora.

Para hablar del origen y la formación del sonido, es importante primero conocer el medio por el cual viaja, en el cual se forma y por el cual podemos captarlo con nuestros oídos.

Ya que para los fines de esta tesis el medio de propagación acústica será el aire, se estudiará más a fondo.

El aire, está compuesto por 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y pequeñísimas cantidades de gases inertes, impurezas y vapor de agua que conforman el 1% restante.

El aire es una mezcla homogénea, no se pueden diferenciar los elementos que lo conforman a simple vista, y es un medio isotrópico, esto es, presenta iguales propiedades en todas direcciones.

Las diferentes moléculas que forman el aire permanecen en equilibrio, mientras no haya causa que lo turbe, y constituye un medio elástico de extraordinaria fluidez.

Una onda, molecularmente hablando, será un evento en cadena debido a la oscilación de varias moléculas sucesivamente.

La longitud de onda, es el espacio necesario para que se complete un ciclo de perturbación en su totalidad, si no se dispone de este espacio, la onda no podrá generarse en forma completa. En otras palabras, la longitud de onda es la distancia en la que se repite la onda senoidal (cresta a cresta, valle a valle, inicio de onda a inicio de onda). Figura 1.2.

Para cuantificar la longitud de onda se utiliza la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{V}{f} [m] \quad \text{Ec. 1.2 Donde } V \text{ y } f \text{ son la velocidad y la frecuencia.}$$

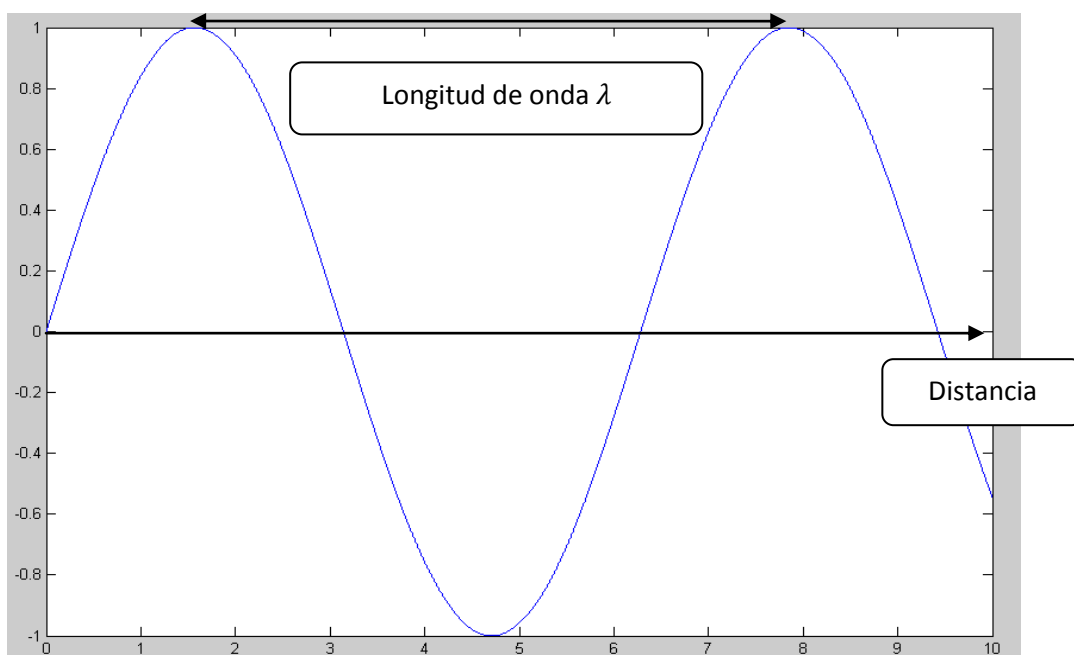


Figura 1.2: Longitud de onda

- **1.3 Propagación**

Ya que se ha hablado del espacio necesario para que la onda se propague, el siguiente punto de interés es la velocidad con la cual viajará esta onda en el espacio.

Esta velocidad puede verse afectada por cambios en la presión, temperatura y humedad.

En función de la presión a que está sometido el aire, la velocidad está dada por la ecuación:

$$V = \sqrt{\frac{1.4P}{D}} \quad \text{Ec. 1.3}$$

Siendo P la presión y D la densidad.

Pero según la ley de Boyle, los volúmenes son inversamente proporcionales a las presiones de los gases perfectos, en otras palabras, las presiones son directamente proporcionales a las densidades, por lo que el cociente P/D será siempre una constante, y V será invariable.

La temperatura, es un factor importante en lo que respecta a la velocidad del sonido, ya que las moléculas de los gases tienen una oscilación natural dependiente de la temperatura, a mayor temperatura más rápida es esta oscilación, a la cual se le superpondrá la oscilación creada por el sonido, la cual se verá afectada, mientras más alta sea la temperatura, mayor será la velocidad de propagación.

José Pérez Miñana proporciona la siguiente tabla donde muestra las diferentes velocidades del sonido a diferentes temperaturas. Se supone una humedad relativa del 50%.

K	°C	Velocidad del sonido m/s
253	-20	319
563	-10	326
273	0	332
283	10	338
293	20	344
313	40	355

Tabla 1.1: Velocidad del sonido a diferentes temperaturas.

Jean-Jacques Matras en su libro “El sonido” menciona: “Es sabido que en el aire a 0°C bajo presión atmosférica, el sonido se desplaza con una velocidad de 340 metros por segundo.”

Algunos autores como Allan D. Pierce en su libro “Acustics” obtienen la relación de la velocidad del sonido con la temperatura basado en el peso molecular de los componentes del aire puro por lo que la velocidad del sonido a 0°C (273.16 K) es de 331 m/s. Para otras temperaturas de interés, es suficiente expandir la velocidad en una serie de Taylor alrededor de 273.16 K. con lo que $dv/dT = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{V}{T}\right)$ o .061 (m/s)/K. Con la variación de la temperatura la velocidad sigue la siguiente ley:

$$V = 331 \left[\frac{m}{s} \right] + 0.6 \left[\frac{m/s}{^{\circ}C} \right] T \quad Ec. 1.4$$

Donde T es la temperatura en grados Celsius.

Otra relación que se puede obtener para la velocidad del sonido involucra la longitud de onda (λ) con la frecuencia.

Se parte de la definición básica de velocidad, la cual es $v = \frac{dx}{dt}$ o burdamente dicho, distancia entre tiempo, pero conociendo que la distancia que recorre una onda es λ y el tiempo que le toma es un periodo T . por lo tanto

$$v = \frac{d}{t} = \frac{\lambda}{T} \quad Ec. 1.5$$

Como la frecuencia es la inversa del período, también tenemos que:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda * f \quad Ec. 1.6$$

Por otra parte, las ondas del sonido al ir chocando con otras moléculas en el medio en el que se desplazan van perdiendo energía. Las ondas sonoras van encontrándose obstáculos que las van a debilitando. Por lo tanto, la amplitud va decreciendo con la distancia hasta que finalmente la onda es absorbida por el medio.

- **1.4 Características del sonido**

- **1.4.1 El Tono**

El tono es la cualidad que permite distinguir entre un sonido agudo y otro grave. Para un sonido puro el tono está determinado principalmente por la frecuencia, aunque también puede cambiar con la presión. Las frecuencias de los tonos agudos son altas, y las de los tonos graves son bajas.

El espectro audible se puede subdividir en función de los tonos:

1. Tonos graves (frecuencias bajas, correspondientes a las 4 primeras octavas, esto es, desde los 16 Hz a los 256 Hz).
2. Tonos medios (frecuencias medias, correspondientes a las octavas quinta, sexta y séptima, esto es, de 256 Hz a 2 kHz).
3. Tonos agudos (frecuencias altas, correspondientes a las tres últimas octavas, esto es, de 2 kHz hasta poco más 16 kHz aproximadamente).

Para diferenciar mejor los sonidos, se divide el espectro audible en once secciones que denominamos octavas.

El término de *octava* se toma de una escala musical. La octava es el intervalo entre dos sonidos que tienen una relación de frecuencias igual a 1:2 y que corresponde a ocho notas de dicha escala musical. Por ejemplo: si se comienza con una nota DO, la octava completa será: DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-DO. Si se comienza en LA y el primer LA esta afinado en 440 Hz el segundo LA (octava siguiente) estará en 880 Hz

<i>1ª Octava</i> 16 - 32 (Hz)	<i>7ª Octava</i> 1000 - 2000 (Hz)
<i>2ª Octava</i> 32 - 64 (Hz)	<i>8ª Octava</i> 2000 - 4000 (Hz)
<i>3ª Octava</i> 64 - 125 (Hz)	<i>9ª Octava</i> 4000 - 8000 (Hz)
<i>4ª Octava</i> 125 - 250 (Hz)	<i>10ª Octava</i> 8000 - 16000 (Hz)
<i>5ª Octava</i> 250 - 500 (Hz)	<i>11ª Octava</i> 16000 - 32000 (Hz)
<i>6ª Octava</i> 500 - 1000 (Hz)	

Tabla 1.2 Separación del registro audible en octavas

▪ 1.4.2 Timbre

El timbre de un sonido es la cualidad en virtud de la que se pueden distinguir dos sonidos de igual frecuencia e intensidad emitidos por dos focos sonoros diferentes. El timbre se debe a que generalmente un sonido no es puro y depende principalmente del espectro de frecuencias que lo acompaña. Pero también depende en gran manera de la frecuencia. Un ejemplo muy claro es cuando alguien escucha una nota, por ejemplo la nota LA, en un piano, y después escucha la misma nota LA emitida por una trompeta, aunque sean señales que viajan por el aire a la misma frecuencia y posiblemente a la misma amplitud, TONO E INTENSIDAD, es posible distinguir una de la otra.

▪ 1.4.3 Armónicos

Los armónicos de una señal, son frecuencias senoidales que acompañan a la señal principal modificando sus características acústicas cambiando el color y

la tesitura de la música y de los sonidos en general, algunos armónicos son deseados y otros no, pues en general se presentan como distorsión en una onda.

Los armónicos siempre son frecuencias que aparecen a la nf (Hz) donde $n = 2,3,4,5 \dots$ las amplitudes de dichas frecuencias decaen muy rápidamente y por eso en algunos casos no son consideradas.

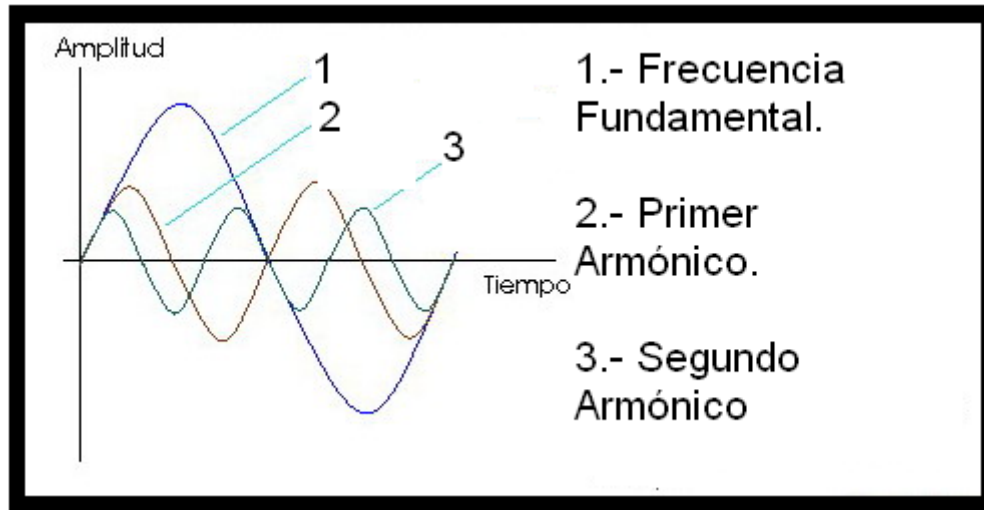


Figura 1. 3: Frecuencia Fundamental y Armónicos

▪ 1.4.4 Intensidad

Desde el punto de vista de la intensidad, los sonidos pueden dividirse en fuertes y débiles. La intensidad depende principalmente de la presión sonora (fuerzas).

▪ 1.4.5 Duración

Básicamente la duración es cuánto tiempo permanece la oscilación en el medio a una misma intensidad o a una intensidad muy parecida sin que varíe el tono.

• 1.5 El ruido

Ruido de fondo. Se llama así el sonido propio que tiene todo sistema electroacústico.

Aunque el sistema no reciba sonido, generará una pequeña tensión motivada por movimiento de electrones como consecuencia del calentamiento del circuito (Ruido eléctrico.)

• 1.6 Distorsión

Se entiende por distorsión la diferencia entre la señal que entra a un equipo o sistema y la señal de salida del mismo. Por lo tanto, puede definirse como la

"deformación" que sufre una señal tras su paso por un sistema. La distorsión puede ser lineal o no lineal.

Hay tres tipos básico de distorsión:

1. Distorsión no lineal. Si a la frecuencia fundamental se le añaden frecuencias extrañas en forma de armónicos de la misma, el sonido se puede representar con el desarrollo de Fourier:

$$A_1 \sin \omega_1 t + A_2 \sin \omega_2 t + A_3 \sin \omega_3 t + \dots \quad \text{Ec. 1.7}$$

Donde

$$\omega_2 = 2\omega_1,$$

$$\omega_3 = 3\omega_1$$

Las amplitudes, decrecen rápidamente en esta serie, por lo que carecen de importancia los sumandos restantes.

Se conoce por coeficiente de distorsión D a la expresión

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^n A_i^2}{A_1^2}} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Esta ecuación utiliza los coeficientes de la serie de Fourier

A_1 amplitud de la componente fundamental

A_2 amplitud de la primera armónica

A_3 amplitud de la segunda armónica

A_n amplitud de la enésima armónica

Cuyo valor indicará la importancia de la distorsión y quedará controlada limitando la cuantía de este coeficiente.

2. Distorsión de amplitud. Cuando las deformaciones afectan a la amplitud de las vibraciones sonoras, serán percibidas inmediatamente, pues el sonido se ve afectado en intensidad.
3. Distorsión de fase: Consiste en la alteración de la fase del movimiento oscilatorio (el oído es incapaz de apreciarlo si no existe una referencia acústica).

- **1.7 El oído humano**

El oído humano es capaz de detectar y procesar señales sonoras dentro de un rango de intensidad y frecuencia particular. El rango de frecuencias que puede detectar comprende el rango que va de los 20 [Hz] a los 20 [kHz]. En cuestión al rango de intensidades va de los 0dB SPL a los 120 dB SPL (Sound Pressure Level). Éstos corresponden con los niveles de Umbral de audición y umbral de dolor.

La intensidad se calcula de la siguiente manera

$$Nivel\ de\ intensidad = 10 \log \frac{I}{I_0} [dB] \quad Ec. 1.9$$

I = Intensidad de presión sonora, $[W/m^2]$.

I_0 = nivel de referencia cuyo valor es $10^{-12} [W/m^2]$.

Intensidad en dB (SPL)	Descripción
120	Despegue de un avión
110	Umbral de dolor
90	Perforadora neumática
60	Interior de una oficina
50	Conversación normal
40	Habitación silenciosa
20	Al aire libre, en silencio
0	Umbral de audición

Tabla 1.3: Ejemplos de intensidades en la percepción del oído humano

Para explicar el funcionamiento del oído se usan curvas isofónicas figura 1.4. En el eje horizontal está la frecuencia y en el vertical la intensidad del sonido. Cuanto menor es la frecuencia es necesaria una mayor intensidad para percibir los sonidos. La zona de escucha del oído humano se encuentra englobada entre la curva del nivel umbral de audición y la del nivel umbral del dolor.

Estas curvas se miden en fonos. Un fono es un decibel SPL a 1 kHz. Así, trabajamos con sensaciones iguales. Para un nivel de umbral se dibuja una curva a 0 fonos para todo el espectro audible. El nivel de dolor corresponde a los 120 fonos.

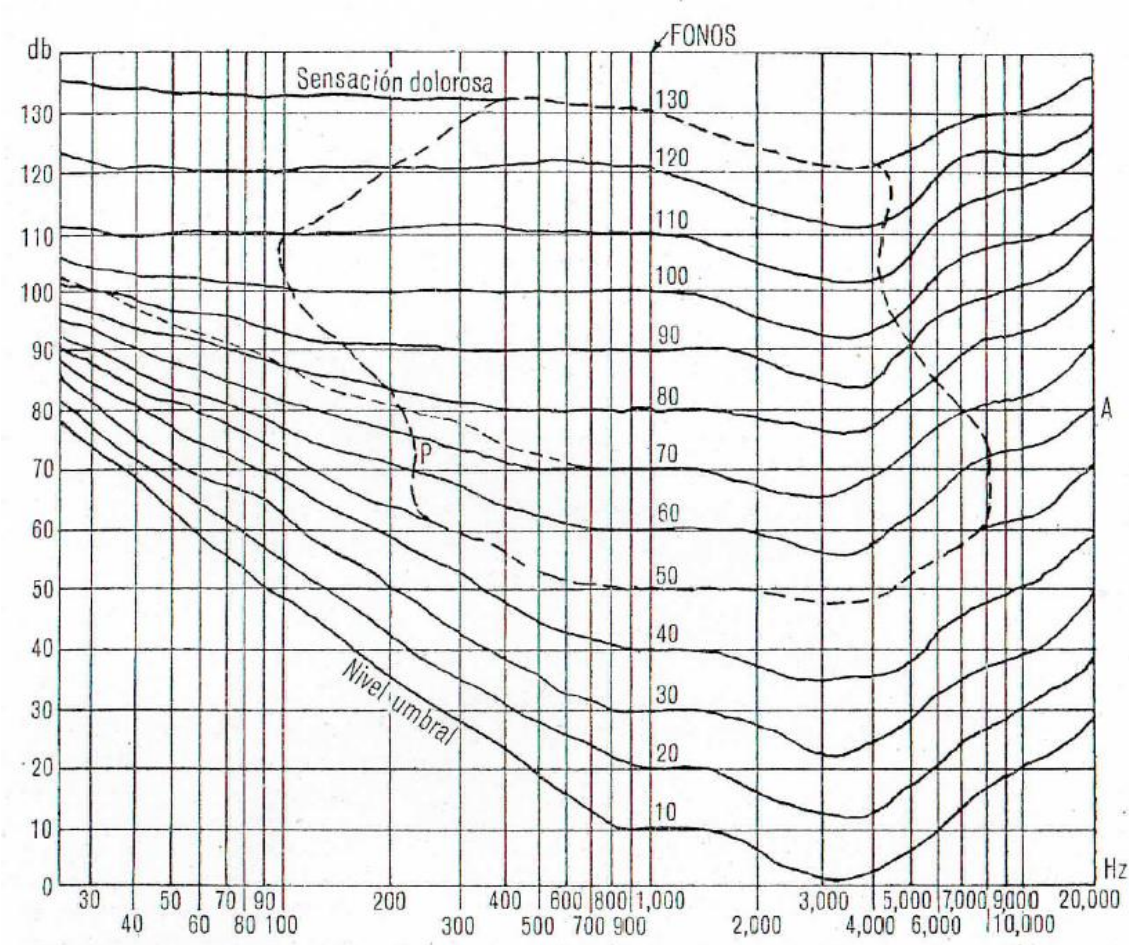


Figura 1.4: Curvas de Fletcher- Munson

Por último, se llama sonido estereofónico a aquel sonido que intenta situar las distintas fuentes sonoras en localizaciones diferentes para el oído humano. Al distribuir las señales entre derecha (R) e Izquierda (L), el cerebro recibe el efecto de un cierto ambiente acústico.

El sonido estereofónico, envía señales totalmente diferentes e independientes a la derecha y a la izquierda. El sonido monofónico, por otra parte, es distinto. Supone que la misma señal se envía sobre la izquierda y la derecha. Así, mientras que en el estereofónico hay dos señales diferentes, en el monofónico hay dos iguales