

## ¿Qué es el sonido? (II)

Antes de comenzar, gracias al tirón de orejas de Eugenio Manuel en el primer artículo, voy a matizar un poco qué es el sonido a nivel fisiológico.

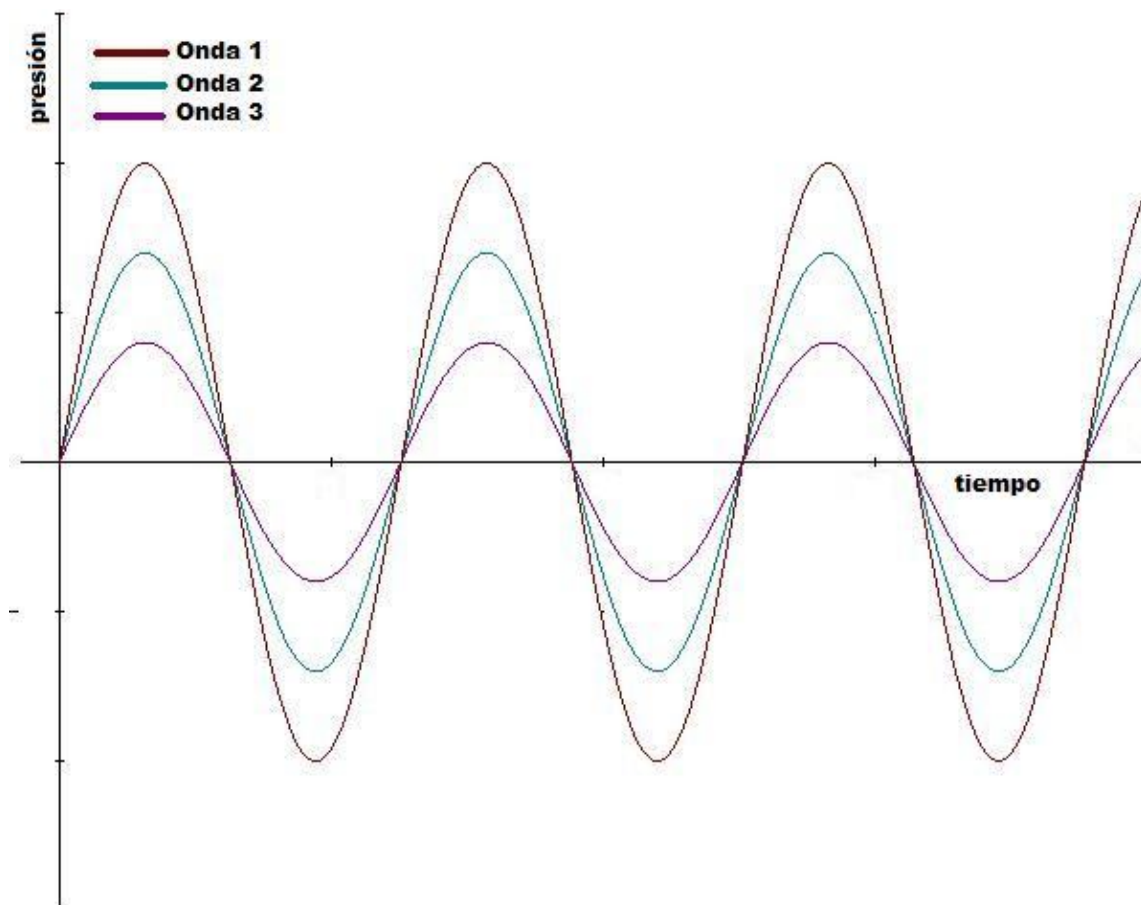
Toda onda sonora, cuando llega a un objeto determinado, produce en él variaciones de presión en función del tiempo, de frecuencia  $f$  igual a la de vibración del objeto que la produce.

Imaginemos, que en un determinado punto del espacio, estas ondas sonoras, se encuentran con un oído. Estas vibraciones, alcanzan la membrana timpánica, la cual, al igual que en el primer ejemplo, vibrará a la misma frecuencia que el objeto que las produce. Esta vibración, se transmite a través del oído medio hasta el **órgano de Corti**, cuya función es transformar la vibración en un estímulo nervioso, el cual llega al cerebro produciendo una sensación auditiva.

Dicho esto, vamos a ver las características que diferencian un sonido de otro, que era el tema que iba a tratar en este artículo. Éstas, son tres: **intensidad, tono y timbre**.

### 1. Intensidad

Supongamos, que tenemos tres ondas de igual frecuencia, pero con diferente amplitud:



Como veís en la gráfica presión-tiempo, las ondas sonoras de mayor amplitud producen mayores presiones y depresiones sobre la membrana timpánica, por lo que la sensación auditiva será mayor. La amplitud es mayor, ergo, la onda transporta mayor energía a nuestro oído, y nuestro tímpano vibra con mayor intensidad.

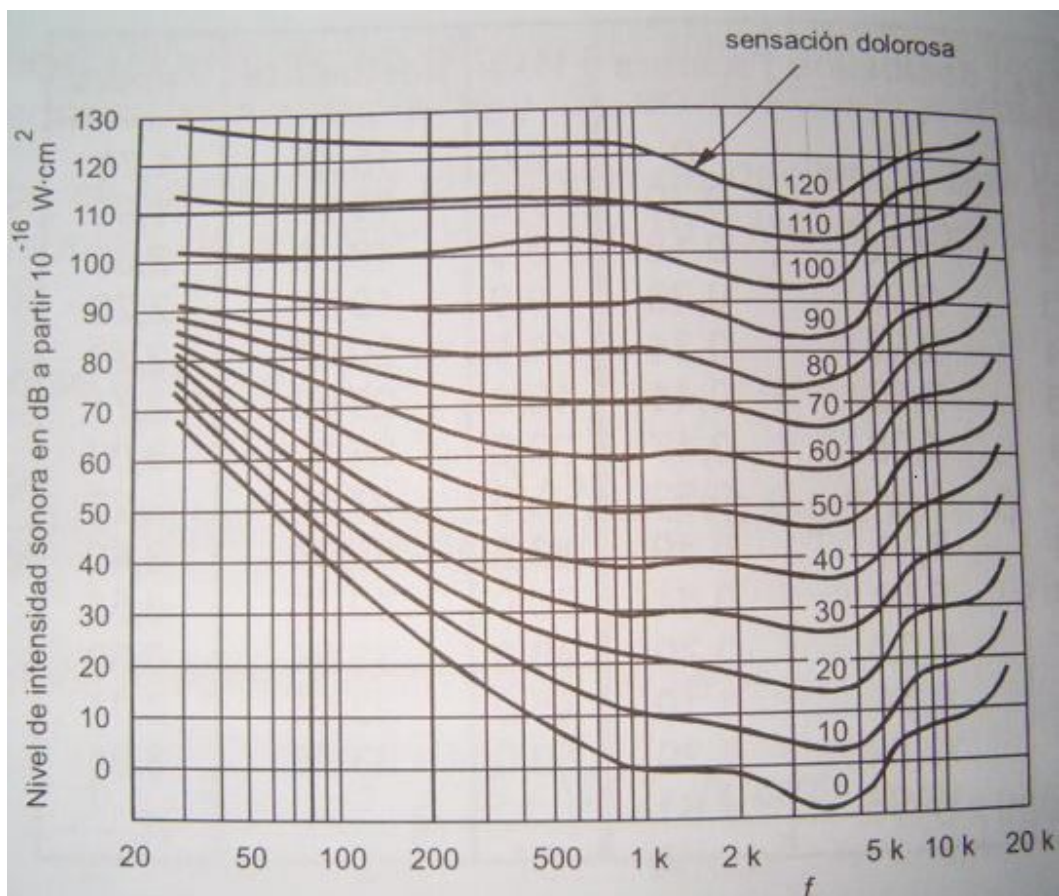
Existe una relación, entre la variación de intensidad de sonido y la variación en la sensación auditiva. Imaginemos que disponemos de un generador de onda, un amplificador y un altavoz. Generamos una onda de 1 kHz, y regulamos el potenciómetro de volumen del amplificador hasta que, nuestro oído, perciba la mínima señal capaz de causar sensación auditiva. Medimos esta potencia, y vemos que para 1 kHz, la intensidad sonora mínima para que se produzca sensación auditiva, es de  $(10^{-16} \text{ W/cm}^2)$ . Este valor, se conoce como  $(W_0)$ , siendo el **umbral auditivo para mil ciclos**.

Si comenzamos a aumentar el volumen del amplificador, observamos que para obtener una sensación auditiva el doble de intensa, la potencia tiene que aumentar 10 veces. Lo mismo, para doblar ésta última, y así sucesivamente. Por lo que, llegamos a la conclusión, de que esta relación es de tipo logarítmico, es decir, el oído responde logarítmicamente a las variaciones de potencia. Como curiosidad, de aquí viene que los potenciómetros de volumen de los amplificadores sean de tipo logarítmico. Ahora, hago una pequeña reflexión; parece mentira esto último que acabo de decir, "**el oído responde logarítmicamente a las variaciones de potencia**".

A mi me llama mucho la atención, es como sí, bueno, de hecho es, nuestro oído funcionase atendiendo a alguna función matemática, ¡una parte de nuestro cuerpo! (más o menos). A la conclusión que llego, es que las Matemáticas, son la base de prácticamente todo en esta vida, ¡hasta de la naturaleza! Esto me recuerda a la proporción áurea, aunque no es tema a tratar, continuo pues a lo mío, esto era solo una reflexión en "voz alta".

Como ejemplo, si un amplificador, produce una señal de 10 W, un aumento de 9 W sería bastante significativo, sin embargo, para que esta sensación fuese la misma para una señal de 100 W, este aumento debería de ser de 90 W, ya que 9 W apenas variarían la sensación auditiva.

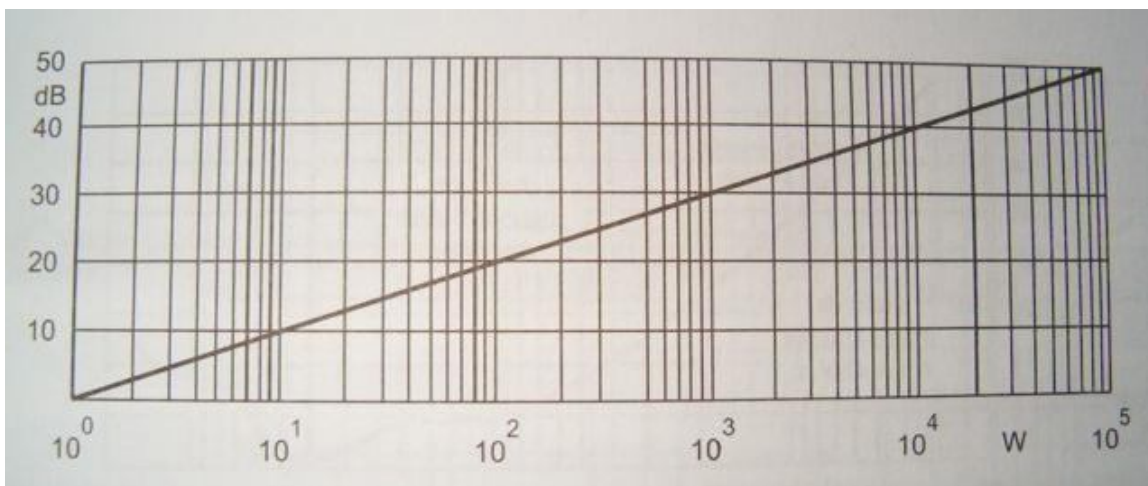
Hablamos ahora de **belios** y **decibelios**. Se dice que una potencia es un belio mayor que otra, cuando el cociente de ambas es igual a 10. Dado que nuestro oído, es capaz de diferenciar diferencias de intensidades sonoras de un belio, utilizamos una unidad diez veces menor: el decibelio.



(2)

Fijarse en el detalle de que el eje de ordenadas sigue una ley aritmética, y el de abscisas sigue una ley logarítmica. Este tipo de escalas se denominan semilogarítmica.

Vamos a ver ahora, un gráfico que relaciona los umbrales de intensidades no audibles, audibles y dolorosas:



(3)

Aprendamos ahora a calcular la **diferencia entre dos intensidades sonoras**. La fórmula general es la siguiente:

$$N_{db} = 10 \log \frac{W_1}{W_2}$$

Siendo  $W_1$  y  $W_2$  dos potencias cualesquiera, en  $W/cm^2$ .

Si la intensidad, se mide en **presiones acústicas**, es decir en  $\mu\text{bar}$ , la relación anterior toma la forma:

$$N_{db} = 20 \log \frac{P_1}{P_2}$$

Y si, se emplean relaciones de **tensiones**:

$$N_{db} = 20 \log \frac{V_1}{V_2}$$

Ya que:

$$W = VI$$

Y la intensidad es igual a:

$$I = \frac{V}{R}$$

De lo que deducimos que:

$W = V \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$  y si para ambos circuitos la resistencia es igual, obtenemos:

$$W_1 = \frac{V_1^2}{R_1} \text{ y } W_2 = \frac{V_2^2}{R_2}$$

Siendo los decibelios:

$$N_{db} = 10 \log \frac{\frac{V_2^2}{R_2}}{\frac{V_1^2}{R_1}}$$

Ambas resistencias son iguales, simplificamos:

$$N_{db} = 10 \log \frac{V_2^2}{V_1^2} = 20 \log \frac{V_1}{V_2}$$

También se pueden usar logaritmos neperianos para calcular la diferencia de intensidades sonoras  $W_1$  y  $W_2$ , cuya unidad son los **nepers**.

$$N_{nepers} = \frac{1}{2} \ln \frac{W_2}{W_1}$$

Para acabar con el tema de la intensidad, nos queda comentar lo que ocurre con las **intensidades subjetivas**. El oído no tiene la misma sensibilidad a sonidos de distinta frecuencia, es decir, que un sonido de intensidad determinada cuando cambia de frecuencia produce en nuestro oído la impresión de un cambio de intensidad, aunque en realidad no haya cambiado la energía acústica. Según esto, si se comparan dos sonidos de la misma frecuencia y consideramos como intensidad cero la correspondiente a uno de los sonidos de energía acústica  $W_1$ , la otra energía  $W_2$  producirá en el oído una impresión subjetiva que estará sobre la

primera  $N$  decibelios, según la fórmula anterior. Pero si los sonidos son de frecuencia distinta, veremos que dos sonidos del mismo nivel producen intensidades subjetivas diferentes.

Para evitar esto, se utiliza el **fonio**.

$$N_{fonios} = 10 \log \frac{W_x}{W_0}$$

Por ejemplo, un sonido de 70 Hz y 60 dB por encima del nivel cero produce en nuestro oído la misma intensidad subjetiva, 30 fonios, que otro de 5 kHz y 30 dB por encima del nivel cero.

No confundir el decibelio con el fonio, el primero se utiliza para comparar intensidades y el segundo se usa para medir sonoridades.

## **2. Tono**

Recibe el nombre de tono la cualidad de los sonidos que permite distinguir entre **agudos** y **graves**. El tono de un sonido, que determinado por su frecuencia.

En lo que respecta a la música, se habla de relaciones entre frecuencias, que da lugar a las escalas musicales. En estas escalas, los sonidos se denominan notas. En la siguiente tabla, se relaciona una **octava musical**, con la denominación de las notas y la relación de frecuencias entre ellas.

<b>Nota musical</b>	do	re	mi	fa	sol	la	si	do
<b>Relación de frecuencias</b>	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

Físicamente, el sonido se estudia teniendo en cuenta las frecuencias absolutas.

### **3. Timbre**

Dos instrumentos musicales, interpretando la misma nota, no producen la misma sensación en nuestro oído. Esta cualidad que los diferencia se denomina **timbre**. El timbre viene determinado por el número e intensidad de los **armónicos** que acompañan a un sonido fundamental (u onda de menor frecuencia) cuando éste es emitido, y depende de las características de cada fuente sonora.

Los **armónicos** de un sonido, de frecuencia determinada (denominada fundamental), son las ondas que la acompañan, y cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental. De modo, que si la frecuencia de un sonido es de 500 Hz, el armónico 2 tiene una frecuencia de 1000 Hz, cuya amplitud puede tener cualquier valor. Y así para el armónico 3, para el 4...

El **sonido puro**, es decir, sin armónicos, no existe. Los sonidos producidos por los instrumentos musicales van acompañados de armónicos, excepto el producido por el **diapasón**.

Si un sonido está acompañado hasta el sexto o séptimo armónico, decimos que es rico en armónicos y bien timbrado. Si por el contrario, el sonido va acompañado de armónicos altos (por encima del séptimo), su calidad es áspera. Cuando un sonido va acompañado de otras frecuencias, que no son múltiplos enteros de la fundamental, son ruidos (vibraciones aperiódicas), resultando desagradables para el oído.

Hasta aquí el segundo artículo. Para cualquier error o aclaración, por favor comentádmelo en un comentario.

Bibliografía: *Diseño y fabricación de Baffles*, Francisco Ruiz Vasallo.  
 (2): extraída de *Diseño y fabricación de Baffles*, Francisco Ruiz Vasallo.  
 (3): extraída de *Diseño y fabricación de Baffles*, Francisco Ruiz Vasallo.