

EL FONIO (PHON)

NUEVA UNIDAD INTERNACIONAL DE INTENSIDAD SONORA

POR ALBERTO LAFFÓN Y SOTO, INGENIERO DE CAMINOS

El autor da cuenta de esta nueva unidad sonora, adoptada en junio de 1937, a propuesta del "Comité Consultatif International Telephonique", y explica su significado y su expresión matemática.

El estudio analítico del movimiento vibratorio de los cuerpos puede ser dirigido, bien a la determinación de los efectos mecánicos producidos por la vibración en la masa del cuerpo vibrante, o a la de los efectos psicofisiológicos en el hombre, cuando aquélla se transmite a su órgano auditivo, produciéndose con ello la sensación denominada "sonido".

La determinación de los esfuerzos suplementarios originados por la trepidación en los elementos metálicos de un puente, el estudio de las olas del mar y el de la propagación de las ondas explosivas, son ejemplos de aquel primer grupo en cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos.

Para el sonido, en cambio, se parte siempre de la base de ser el aire el medio transmisor del movimiento vibratorio, ya que normalmente es éste el que rodea al hombre, cuyo órgano del oído actúa de receptor.

Energía del movimiento vibratorio.

Los desplazamientos alternativos y rápidos de las partículas del aire, propagados por el contacto de unas con otras, constituyen la onda sonora y originan variaciones, igualmente alternativas, de la presión, de la densidad y de la temperatura de la masa gaseosa.

La intensidad del movimiento vibratorio en un punto es función de estos valores y puede ser medida por el flujo medio de energía que pasa a través de la unidad de superficie receptora de la onda, expresándola generalmente en vatios por centímetro cuadrado. Pero cabe también medir dicha energía en función de la presión unitaria superficial o de la velocidad de las partículas aéreas, puesto que aquélla es el producto de éstas (fuerza multiplicada por espacio recorrido en la unidad de tiempo), y por otra parte, la relación de la presión a la velocidad es una cantidad constante, igual al producto de la densidad del fluido transmisor por la velocidad de propagación de la onda en su seno.

En efecto:

Los desplazamientos e de las partículas aéreas producidos por una onda plana sinusoidal, de pulsación ω , estarán dados por la ecuación:

$$e = a \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right),$$

en la que x es la distancia al origen del punto cuyo movimiento se estudia y c la velocidad de propagación de la onda sonora.

La primera derivada de esta ecuación, con respecto al tiempo, t , da inmediatamente la velocidad de la partícula

$$\frac{de}{dt} = v = a \omega \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right),$$

y su valor máximo $V_{\text{máx.}} = a \omega$.

Para obtener el valor de la presión, p , precisa, primeramente, integrar esta ecuación con respecto a x para tener la expresión del Potencial de Velocidades, Φ , puesto que $v = - \frac{d\Phi}{dx}$

$$\Phi = - \int a \omega \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) dx = a c \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

y derivar seguidamente con respecto a t para obtener p ,

$$p = \rho_0 \frac{d\Phi}{dt} = \rho_0 c a \omega \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right),$$

siendo el máximo valor de la presión $P_{\text{máx.}} = \rho_0 c a \omega = \rho_0 c V_{\text{máx.}}$ y por consiguiente,

$$\frac{p}{v} = \rho_0 c;$$

expresión que da el valor constante de la relación entre p y v , igual, como dijimos, al producto de la densidad del aire, ρ_0 , por la velocidad de propagación, c .

En la práctica se adopta, para esta relación, el valor de 40.

Puede, pues, establecerse la equivalencia siguiente:

$$1 \text{ w/cm.}^2 = 10^7 \text{ ergios/cm.}^2 = 2 \cdot 10^4 \text{ dinas/cm.}^2 \times 5 \cdot 10^2 \text{ cm./s.,}$$

o, en general:

$$w = \frac{p^2}{40} 10^{-7} = 40 \nu^2 10^{-7}$$

$$p = 2 \cdot 10^4 \sqrt{w}$$

y

$$\nu = 5 \cdot 10^2 \sqrt{w}.$$

La energía sonora puede determinarse, pues, conociendo únicamente la presión o la velocidad de las partículas aéreas.

Medida de la intensidad del sonido.

Como el sonido no es una vibración, sino la sensación por ella producida, medir su intensidad es medir una sensación.

Recordemos que medir una cantidad o magnitud determinable, es compararla con otra cantidad fija de su misma naturaleza, llamada unidad, que sirve de término de comparación, obteniéndose como resultado un número.

Las sensaciones fueron consideradas como magnitudes inmensurables ante la imposibilidad de establecer una sensación modular o patrón; pero pasaron a la categoría de cantidades desde el momento en que Weber Fechner encontró la ley que relacionaba la sensación con la excitación exterior que la originaba, con lo cual la medición de la primera podría efectuarse de modo indirecto, siempre que la excitación, que en este caso es la energía vibratoria del aire, pudiera medirse.

Observó Fechner que la intensidad de una sensación humana no experimentaba variación, mientras que el valor relativo o porcentual de la excitación no alcanzaba un cierto límite, que era precisamente el denominado "discriminativo" en psicología experimental.

Así, en el silencio de la noche, llegamos a percibir claramente el tenue zumbido del vuelo de un mosquito, totalmente inaudible si lo superponemos al ruido normal de la vida diaria, porque la intensidad de la onda vibratoria producida por su vuelo tiene un valor apreciable con relación a la calma o silencio nocturnos, pero resulta completamente des-

preciable comparada con la amplitud de las agitaciones o ruidos diurnos.

Traduciendo estos hechos al lenguaje matemático, diríamos que para obtener una serie de sensaciones homogéneas de intensidades crecientes en progresión aritmética, es preciso que la serie de las excitaciones correspondientes crezca en progresión geométrica, es decir, que "la sensación es proporcional al logaritmo de la excitación", forma en que Fechner enunció su trascendental ley.

El decibel y el fonio.

La electroacústica, joven rama de la Ciencia moderna, de cuya fecundidad la radiotelefonía y el cine sonoro son universales testimonios, ha sido la primera en utilizar esta ley, estableciendo la unidad logarítmica denominada "Belio" (Bel), y su submúltiplo el "Decibelio" (db.) como unidad práctica, para medir relaciones de intensidades sonoras, en la sencilla forma siguiente:

El número de decibelios entre dos sonidos es el producto, por 10, del logaritmo vulgar del cociente de sus energías.

FONIOS		W./CM. ²
120	Explosiones.	10 ⁻⁴
110	Tiroteo cercano.	10 ⁻⁵
100	Cabina de avión.	10 ⁻⁶
90	Taller de calderería.	10 ⁻⁷
80	Metropolitano.	10 ⁻⁸
60	Gran orquesta.	10 ⁻⁹
70	Tráfico urbano.	10 ⁻¹⁰
50	Oficina ruidosa.	10 ⁻¹¹
40	Conversación media.	10 ⁻¹²
30	Música suave de radio.	10 ⁻¹³
20	Jardín tranquilo.	10 ⁻¹⁴
10	Ruido nocturno lejano.	10 ⁻¹⁵
0	Hogar a media noche.	10 ⁻¹⁶

Así, 30 db. equivalen a una relación de energías de $10^8 = 1\ 000$, y 1 db., a un aumento o disminución del 26 por 100, que responde al valor práctico medio de la diferencia mínima de intensidades de un mismo sonido que un oído normal puede discriminar.

Faltaba, para completar la utilidad práctica de esta unidad, establecer un origen invariable de referencia, y con este fin, y a propuesta del Comité Consultatif International Téléphonique (C. C. I. T.) en la Conferencia de París, de junio de 1937, se acordó establecer un *nivel cero de sonido*, que quedó definido como el producido por una potencia vibratoria de 10^{-16} vatios/cm.², equivalente, según antes vimos, al producto de una presión acústica de $2 \cdot 10^{-4}$ dinas/cm.² por una velocidad de $5 \cdot 10^{-6}$ cm./s.

Y una vez establecido el nivel de referencia, se acordó, igualmente, en el referido Congreso, denominar PHON (que en español proponemos traducir por FONIO), al número de decibelios resultante de comparar la intensidad de un sonido con este nivel patrón.

La intensidad sonora, expresada en fonios, de una onda cuya energía sea w vatios/cm.², vendrá expresada por:

$$F = 10 \lg. (w + 16),$$

o, en función de la presión, p , en dinas/cm.², o de la velocidad, v , cm./s.,

$$F = 10 (2 \lg. p + 7,4) = 10 (2 \lg. v + 10,6).$$

Para dar a nuestros lectores una idea aproximada de la aplicación de esta unidad, insertamos en la página anterior un cuadro, con una escala de Fonios, y de sus energías correspondientes, relacionada con el orden de magnitud de algunos sonidos vulgarmente conocidos.

Pone de manifiesto dicho cuadro la amplísima escala de funcionamiento del oído humano, capaz de percibir intensidades sonoras que alcancen la relación de $\frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 10^{12}$, o sea de ¡UN BILLON DE VECES!