

Clase 8: Introducción a la Psicoacústica

La Psicoacústica es una rama de la Psicofísica que estudia la percepción auditiva en base a estímulos acústicos. Hay muchos autores que han escrito excelentes libros y publicaciones al respecto, como algunos de los citados en la bibliografía. Por ello, sólo profundizaremos en algunos temas que nos serán de gran utilidad, dejando el resto para que investiguen quienes deseen profundizar.

Nivel de Presión Sonora

El sonido se manifiesta en movimientos ondulatorios de compresión y rarefacción que se propaga en el aire a cierta velocidad (del orden de 340m/s según la temperatura, humedad, etc.), y si nos ubicamos en un punto fijo, podremos medir estos movimientos en magnitudes de presión. Claro está que también estamos expuestos a la presión atmosférica, la cual es del orden de 1000hPa.

El oído humano tiene la capacidad de percibir variaciones de presión del orden de los 20uPa (umbral de audición) hasta los 20Pa (umbral de dolor). Estas magnitudes son muy pequeñas comparadas con la presión atmosférica. Sin embargo, la presión atmosférica no experimenta grandes variaciones, por lo que podemos aproximarla a una presión continua. Podemos entonces “montar” el sonido y sus variaciones de presión a la presión atmosférica, como se muestra cualitativamente en la Figura 1.

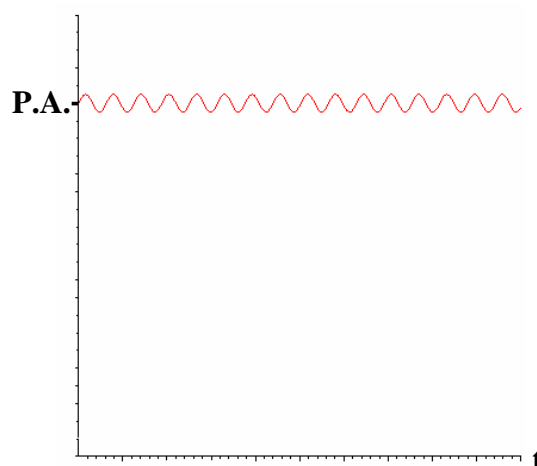


Fig. 1 - Variaciones de presión, donde P.A. es la presión atmosférica

Entonces, definiremos a la *presión sonora* como las variaciones de presión presentes respecto a la presión atmosférica en reposo, y estas variaciones son fácilmente calculables, ya que si la presión atmosférica es de 1013hPa y en presencia de sonido percibimos una presión de 101312Pa, la *presión sonora* será de $101300\text{Pa} - 101312\text{Pa} = 12\text{Pa}$.

Claro está que no habituamos hablar de la presión sonora en Pascales. E incluso si lo hiciéramos, sería muy incómodo debido a las grandes diferencias de magnitudes entre los valores perceptibles más pequeños respecto a los más grandes que el oído puede tolerar. Es por ello que, al igual que vimos en el dB Eléctrico, se adopta una escala logarítmica para definir al *Nivel de Presión Sonora* (NPS, o SPL -del Inglés, Sound Pressure Level-) en Decibeles Acústicos, tomando como nivel de referencia P_{ref} el umbral de audición de los 20uPa, como define la siguiente ecuación:

$$NPS = 20 \cdot \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} [dB]$$

Vemos que para $P=20\mu Pa$ obtendremos 0dB, y para $P=20Pa$ obtendremos 120dB, *Nivel de Presión Sonora* donde se encuentra el *umbral de dolor*.

Percepción del Sonido

No todos los sonidos de igual presión sonora se escuchan “al mismo volumen”. Incluso dos instrumentos distintos que ejecutan la misma nota musical suenan distintos. Esto amerita un estudio de las sensaciones psicoacústicas para poder entender estos fenómenos.

Sensaciones Psicoacústicas

Básicamente podemos clasificar las sensaciones percibidas en tres tipos: *altura tonal*, *sonoridad* y *timbre*, las cuales están estrechamente relacionadas.

- **Altura Tonal**

La *altura tonal* tiene una estrecha relación con la frecuencia, donde las bajas frecuencias corresponden a las notas graves, y las altas frecuencias a las agudas. En los primeros capítulos explicábamos la necesidad de representar al espectro en una escala logarítmica de base 2, y esto proviene de la música, donde la octava musical tiene una diferencia de dos veces la frecuencia de la octava anterior, y $\frac{1}{2}$ de la frecuencia de la octava siguiente. La música occidental se apoya en ese concepto, y la *escala temperada*, donde por octava hay 12 semitonos equidistantes logarítmicamente, y la distancia entre cada semitono es $\sqrt[12]{2}$ veces la frecuencia del semitono anterior (o $\frac{1}{\sqrt[12]{2}}$ veces el semitono siguiente).

Por ejemplo, para el LA central, de 440Hz, el DO siguiente se encuentra a tres semitonos de distancia (Figura 2), lo que implica que la frecuencia del DO será $(\sqrt[12]{2})^3 \times 440Hz = 523,25Hz$.



Fig. 2 - Diferencia de tres semitonos del LA 440Hz al DO 523,25Hz

- **Sonoridad**

En el caso de la *sonoridad*, se interpreta como el volumen o la intensidad percibida de un sonido, pero en este caso la amplitud de la señal no es el principal factor a tener en cuenta: la altura tonal también deberá ser considerada. Por ejemplo, una señal sinusoidal de 1kHz de 50dB NPS es más sonora que una de 1kHz de 40dB NPS, pero menos sonora que una de 5kHz de 45dB NPS. Esto es así debido a que la percepción auditiva no es lineal en respuesta en frecuencia, y esta respuesta a su vez cambia según el nivel de presión sonora. Las famosas curvas de Fletcher y Mundson (Figura 3) describen este comportamiento, representando con *curvas isofónicas* los niveles de presión sonora percibidos de igual sonoridad para las distintas frecuencias. En la actualidad, una aproximación más precisa a este fenómeno está descrita por las curvas de Robinson y Dadson (Figura 4), las cuales fueron realizadas con parlantes en sala anecoica en vez de auriculares.

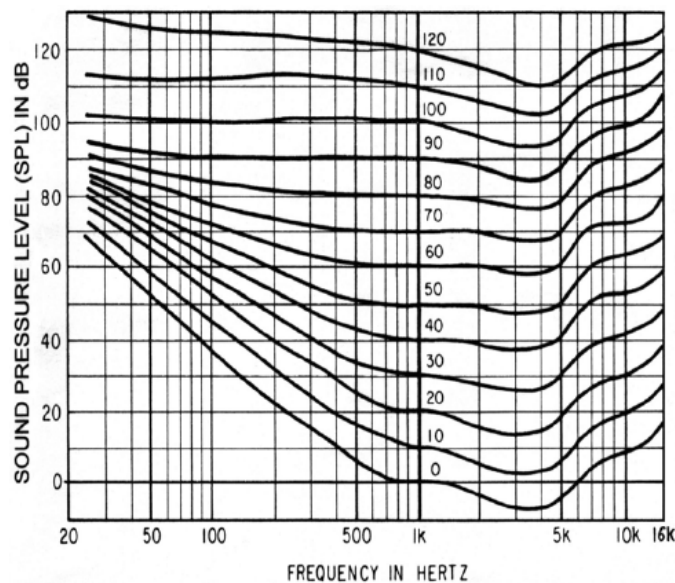


Fig. 3 - Curvas de Fletcher y Mundson (1933)

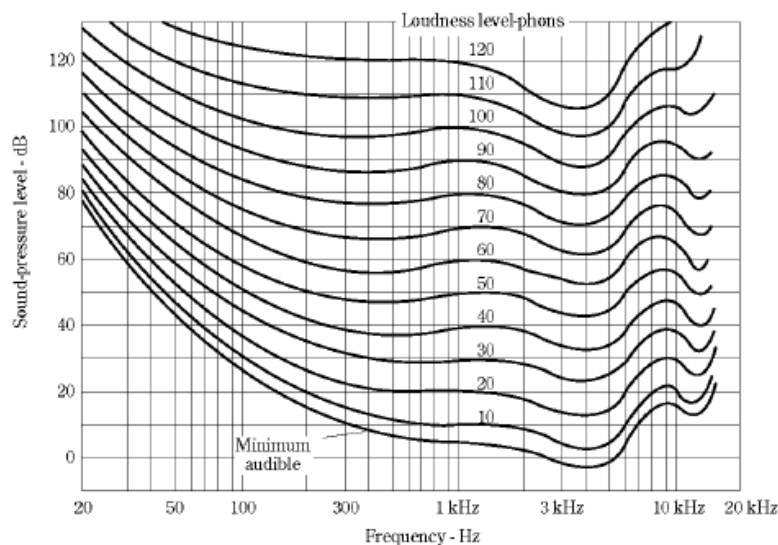


Fig. 4 - Curvas de Robinson y Dadson (1956)

Como los niveles de sonoridad no coinciden en la mayoría de los casos con los niveles de presión sonora, se expresan en *fonos*, coincidentes con su curva correspondiente que intersecta a los valores de NPS múltiplos de 10 a la frecuencia de 1kHz. Es por ello que 100dB NPS de 1kHz tienen la misma sonoridad que 90dB NPS de 3kHz, y a esta sonoridad le corresponde el valor de 100 fonos.

En base a la aparición de curvas isofónicas surge el muy cuestionado dBA, que corresponde al *Nivel de Presión Sonora ponderado A* (hay distintas ponderaciones), donde al espectro lineal se le aplica una “ecualización” que se acerque a la respuesta en frecuencia del oído, y así poder cuantificar la sonoridad con instrumentos de medición, como los *sonómetros* (comúnmente llamados *decibelímetros*). Debido a que con las variaciones del nivel de presión sonora la respuesta en frecuencia debería cambiar, también existen otras ponderaciones, como la conocida dBC, que se utiliza a grandes niveles de SPL. En la Tabla 1 se ejemplifica un ruido de ancho espectro “plano” de 110dB SPL con diferentes ponderaciones y sus respectivos valores.

El umbral de audición de un oído sano corresponde a 0 fonos, y niveles inferiores no serán percibidos, mientras que el umbral de dolor rondará los 120 fonos, y niveles superiores generarán fuertes dolores, así como daños auditivos a nivel del oído interno.

31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB Sum	
100	100	100	100	100	100	100	100	100	110,0	dB Lin
										Ponderados
60,6	73,8	83,9	91,4	96,8	100	101,2	101	98,9	107,0	dBA
82,9	90,7	95,8	98,7	99,7	100	99,9	99,3	97,1	107,4	dBB
97	99,2	99,8	100	100	100	99,8	99,2	97	108,8	dBC
	89,1	94,5	98,4	99,7	100	107,9	111,1	105,5	114,1	dBD

Tabla 1 - Relación entre dB lineales y ponderados

En relación a la fatiga auditiva que produce la exposición a sonidos muy fuertes, y a la respuesta en frecuencia del oído, se recomienda mezclar a niveles del orden de los 75-80dBA, y para tener un buen balance graves-medios-agudos para ser reproducido a cualquier nivel, y no superar las 6hs de mezcla, con intervalos de descanso en el medio.

- **Timbre**

El timbre no es caracterizable ni cuantificable. En la primera clase hicimos referencia a la composición armónica del sonido para definir al timbre, que es la sensación psicoacústica que nos permite diferenciar distintas fuentes sonoras que poseen o no la misma frecuencia tonal. Sin embargo, además de la *composición espectral* hay otro factor de vital importancia, el cual fue nombrado en el uso de los compresores, que es la *envolvente*. Esto es lo que nos permitirá, por ejemplo, distinguir entre un sonido de cuerda de guitarra o de un piano de

un instrumento de viento, ya que además de la composición armónica al percutir la cuerda, el ataque, su sostenimiento y la forma en que se extingue el sonido son distintos para ambos casos. Incluso no todas las frecuencias experimentarán las mismas envolventes dinámicas, lo que será otro factor más a considerar. Este comportamiento en frecuencia define dos tipos de envolventes: una *envolvente primaria* y una *envolvente secundaria*. La primera se refiere a la tradicional envolvente dinámica, que responde a la amplitud de la suma de todas las frecuencias que intervienen en el sonido. La segunda depende de la envolvente particular de cada banda de frecuencias. Ambas envolventes pueden al cambiar la altura tonal, como en el caso de un instrumento.

Formantes

Cada instrumento posee características que lo diferencian de otro, y estas características se repiten en todos los sonidos que este emite. Generalmente entre estas características predominan ciertas *resonancias* conocidas como *formantes*, que son propias de la construcción del instrumento, y actúan como filtros, modificando el espectro. En el caso de las cajas de resonancia, cuanto más suaves sean estos filtros, mejor, debido a que entregará un espectro parejo para todas las notas, sin que aparezcan algunas mucho más sonoras que otras.

Los formantes, al igual que el espectro y las envolventes, no definen timbres por separado, sino en conjunto.

El caso más cotidiano es el de la voz humana, donde el sonido proveniente de las cuerdas vocales es filtrado tanto por la laringe como por la cavidad bucal y la cavidad nasal. Como consecuencia de ello, se consiguen envolventes espectrales que cambian según los movimientos del tracto vocal, y así se logra el sonido de las vocales. En la Figura 5 se observa el filtro producido para vocalizar la letra A, donde las resonancias se ubican en 800 y en 1200Hz. En la Tabla 2 se encuentran las frecuencias aproximadas donde actúan los formantes para todas las vocales.

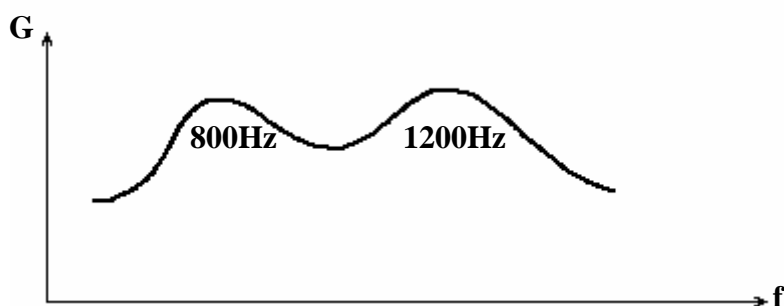


Fig. 5 - Formante de la letra "A"

A	800 y 1200Hz
E	500 y 2000Hz
I	300 y 2200Hz
O	500 y 800Hz
U	300 y 600Hz

Tabla 2 - Formantes de las vocales

La existencia de los formantes es de vital importancia para el reconocimiento de los fonemas: mediante los formantes se puede, por ejemplo, entender las palabras sin que ellas contengan su primer armónico, como ocurre en el teléfono.

Enmascaramiento

Hay sonidos que pueden enmascarar a otros, lo que significa “taparlos” y hacerlos inaudibles. El fenómeno de enmascaramiento solamente ocurre en el oído, por lo que un micrófono, aunque tome todo el espectro, no lo experimentará.

Hay varias formas de experimentar el enmascaramiento. Una de ellas es por la presencia de ruido de fondo, donde sonidos muy débiles se pierden en presencia de ruidos muy fuertes. Para que esto ocurra generalmente se requieren de ruidos de fondo que sobrepasen en aproximadamente 15dB o más al sonido enmascarado.

La otra forma de enmascaramiento es por frecuencias predominantes, que enmascararán a las frecuencias más próximas. Ocurre con mayor influencia en las bajas frecuencias, tendiendo a enmascarar en mayor proporción hacia las frecuencias adyacentes más agudas (Figura 6).

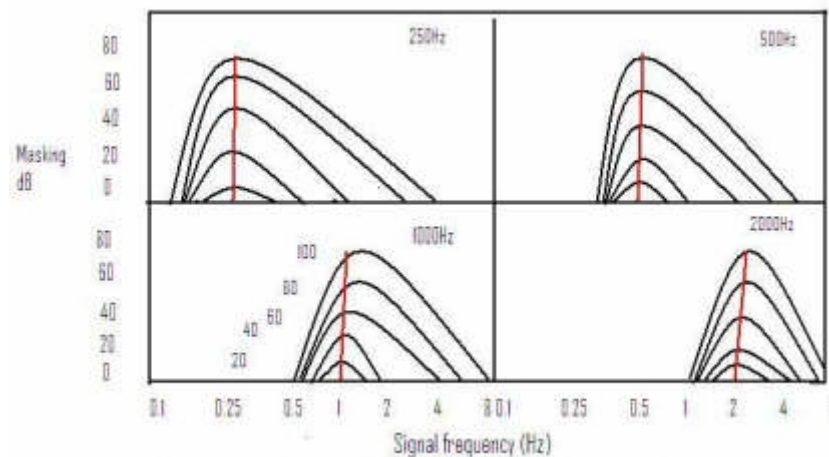


Fig. 6 - Enmascaramiento por tonos puros (Fuente: Wikipedia)

Las frecuencias adyacentes que estén por debajo del nivel de presión sonora definido por las curvas de enmascaramiento se volverán inaudibles, ya que el

umbral disminuirá en esa porción del espectro, excepto en las frecuencias muy próximas al tono enmascarante y a sus múltiplos, debido a que se producirá un batido (Figura 7).

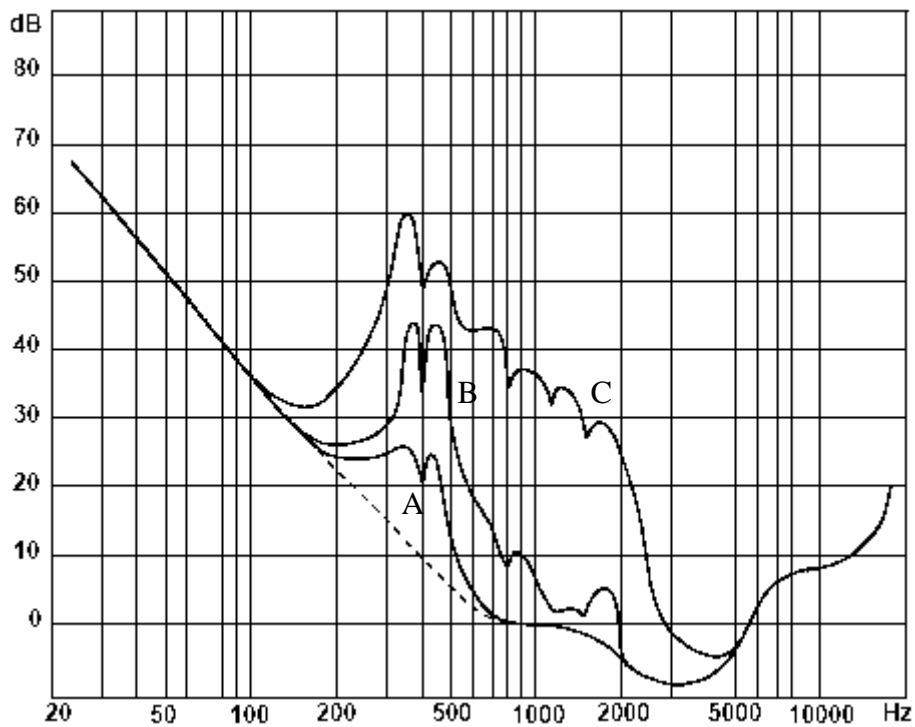


Fig. 7 - Enmascaramiento producido por un tono de 400Hz de A) 40dB, B) 60dB, C) 80dB

Bibliografía

Alton Everest, F. *The Master Handbook of Acoustics*, McGraw-Hill, 2001.

Basso, Gustavo. *Percepción Auditiva*, UNQ Editorial, 2006.

Miyara, Federico. *Acústica y Sistemas de Sonido*, UNR Editora, 2006.

Roederer, Juan G. *Acústica y Psicoacústica de la Música*, Ed. Ricordi, 1997.

Tribaldos, Clemente. *Sonido Profesional*, Editorial Paraninfo, 1993.

Wikipedia, Free Encyclopedia, 2009.

<http://www.sengpielaudio.com/Acoustics226-2003.pdf>