

Capítulo 1

Aspectos Básicos del Sonido y el Ruido

1 INTRODUCCIÓN. LA ACÚSTICA Y LA INGENIERÍA ACÚSTICA

Se define la Acústica como la parte de la ciencia que estudia la generación, transmisión y recepción de energía en forma de ondas vibratorias en la materia y el efecto que dicha energía pueda producir. Los primeros estudios sobre fenómenos acústicos provienen de la Antigua Grecia: Pitágoras y sus discípulos estudiaron la relación que existía entre las características de una cuerda vibrante y el tono que emite; Aristóteles estudió la naturaleza del eco, atribuyéndolo a la reflexión del sonido; Herón de Alejandría enseñó que los sonidos son ondas vibratorias longitudinales que se propagan a través del aire. Poco a poco, a lo largo de la historia se fueron conformando las bases de la acústica física, hasta que en el siglo XIX, Lord Railegh publica en 1886 su trabajo *The Theory of Sound* (reeditado en 1945 por la editorial Dover en N.Y.). Este trabajo recopila y sienta las bases de la acústica del siglo XX.

Durante el siglo XX, la asociación de la acústica con las nuevas tecnologías que iban apareciendo (electrónica, informática, procesado de señal) ha favorecido el nacimiento y evolución de diversas líneas, hasta el punto que hoy en día podemos distinguir distintas actividades específicas dentro de la denominación genérica de "ingeniería acústica". De este modo podemos distinguir al Ingeniero de audio, al ingeniero de control de ruido, etc. y quizás la denominación de ingeniero acústico (o consultor acústico) quede reservada muchas veces para el profesional que asesora al arquitecto en cuestiones relacionadas con la acústica arquitectónica. Para dar una idea del desarrollo que ha alcanzado en la actualidad la ingeniería acústica pasamos a citar algunas de las disciplinas que actualmente se encuentran en pleno desarrollo describiendo las que están más relacionadas con este proyecto:

- **Control de Ruido y Vibraciones.** En un entorno cada vez más ruidoso, el campo del control de ruido y vibraciones está cobrando una importancia cada vez mayor: por un lado la implantación de las normativas sobre higiene laboral de la Comunidad Europea

(B.O.E. del 02-11-1989) y las normativas sobre impacto medioambiental y social del ruido (D.O.G.A. del 20-8-1997), han creado una demanda de profesionales con conocimientos sobre las técnicas de control de ruido en diversos campos:

- **Medioambiental:** La denominación de "Control de Ruido Medioambiental" incluiría todos aquellos conocimientos necesarios para controlar el ruido en espacios abiertos: propagación del sonido, diseño de barreras acústicas naturales y artificiales y técnicas de control de ruido de tráfico en general (rodado, aéreo, etc.).
- **Industrial:** Dentro de este campo podemos distinguir dos objetivos de trabajo:
 - a) Control de la exposición al ruido de los trabajadores durante el proceso de producción industrial. El objetivo dentro de esta línea de actuación será conseguir que la actividad productiva en la nave industrial se ajuste a los límites recomendados.
 - b) Minimización del ruido que pueda emitir el producto fabricado durante su utilización (técnicas de diseño de máquinas silenciosas).

Dentro del segundo punto se ha producido una de las mayores revoluciones en este campo al incorporar técnicas de procesado de señal al control de ruido, dando lugar a la aparición del **Control Activo de Ruido y Vibraciones**.

- *Acústica Numérica.* A partir de los años 70, el incremento de la potencia de cálculo y la mejoría de los algoritmos de cálculo numérico permitieron emprender con éxito simulaciones de diversos fenómenos acústicos (radiación sonora de fuentes de ruido complejas, difracción, etc.). A partir de entonces la acústica numérica se ha convertido en soporte fundamental de alguno de los campos de la ingeniería acústica, como el control de ruido y vibraciones.
- *Electroacústica.* Sería imposible hablar de procesado de la señal acústica, control activo de ruido, etc. si no existiera la posibilidad de convertir la señal acústica en eléctrica y viceversa. Entendemos por electroacústica como la parte de la ingeniería acústica que estudia las técnicas que permiten realizar la mencionada conversión y las aplica en el diseño de los transductores apropiados a cada caso. Bajo la denominación de transductores electroacústicos podemos agrupar dispositivos tales como: micrófonos, altavoces, pantallas acústicas, acelerómetros, hidrófonos y transductores ultrasónicos.
- *Acústica Arquitectónica.* Quizás una de las disciplinas más próximas al ciudadano de a pie y también una de las peor comprendidas y utilizadas. Esta disciplina trata con dos cuestiones totalmente diferentes y a menudo mezcladas y confundidas:

- a) **El aislamiento acústico.** Agrupa todas las técnicas de control de ruido en edificios. Para ello, debe tenerse un buen conocimiento de las vías de propagación del sonido en edificios y de qué actuaciones son factibles para controlar la transmisión por cada una de ellas.
- b) **Acondicionamiento acústico.** Engloba a todas las técnicas necesarias para controlar las características del campo acústico dentro de una sala.

- *Sistemas de Audio.*
- *Acústica Musical.*
- *Psicoacústica.* Es una parte de la acústica eminentemente empírica: estudia cómo reacciona una persona ante determinados estímulos acústicos. La psicoacústica es la fuente de la que beben gran parte de los desarrollos más espectaculares dentro del audio digital de los últimos años. El audio 3D, las grabaciones binaurales y la codificación de audio en alta calidad no existirían sin los aportes de los estudios psicoacústicos.
- *Tratamiento Digital de Voz y Audio.*
- *Acústica Submarina.*

2 LAS SEÑALES ACÚSTICAS Y SU CARACTERIZACIÓN

Antes de entrar en detalle sobre la problemática del ruido y del aislamiento acústico, a continuación se describen algunos conceptos básicos sobre el sonido y aquellas magnitudes acústicas de uso común en el marco de la acústica ambiental.

2.1 ¿Qué es el sonido?

El sonido es una perturbación que se propaga a través de un fluido. Esta perturbación puede ser debida a cambios locales de presión p , velocidad vibratoria v , o densidad ρ . Esta onda vibratoria puede ser percibida por el ser humano en frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 KHz. Las componentes frecuenciales que quedan por debajo del límite inferior reciben el nombre de *Infrasonidos* y aquellas que superan el umbral superior se denominan *Ultrasonidos*.

2.2 Unidades

El sonido suele ser descrito como una perturbación de presión, ya que es a esta magnitud a la que responde el oído humano. La unidad más usual es por tanto el Pa = N/m² (*Pascal = Newton por metro cuadrado*).

El gran margen dinámico que puede percibir el ser humano, obliga a utilizar una escala logarítmica para referirse a la amplitud de la presión sonora, en un intento de construir una escala manejable. Se define el **Nivel de Presión Sonora** como:

$$SPL = 10 \cdot \log\left(\frac{P^2}{P_{ref}^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \quad (dB)$$

La referencia del nivel de presión sonora, $P_{ref} = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa se toma a partir del umbral de audición humano a 1.000 Hz.

La presión sonora es una función escalar, que depende del punto donde se observe. Para un entorno determinado, el nivel de presión sonora depende de la distancia a la fuente sonora, de la potencia acústica radiada por dicha fuente y de las características acústicas del entorno. La presión sonora por sí sola no proporciona información suficiente sobre la emisión acústica. El conocimiento de la potencia acústica radiada por una fuente sonora, permite predecir el nivel de presión sonora en cualquier punto del entorno acústico. El **Nivel de Potencia Sonora** en dB se calcula como:

$$L_w = 10 \cdot \log\left(\frac{W \text{ (vatios)}}{W_{ref}}\right) \quad (dB)$$

donde $W_{ref} = 10^{-12}$ wat.

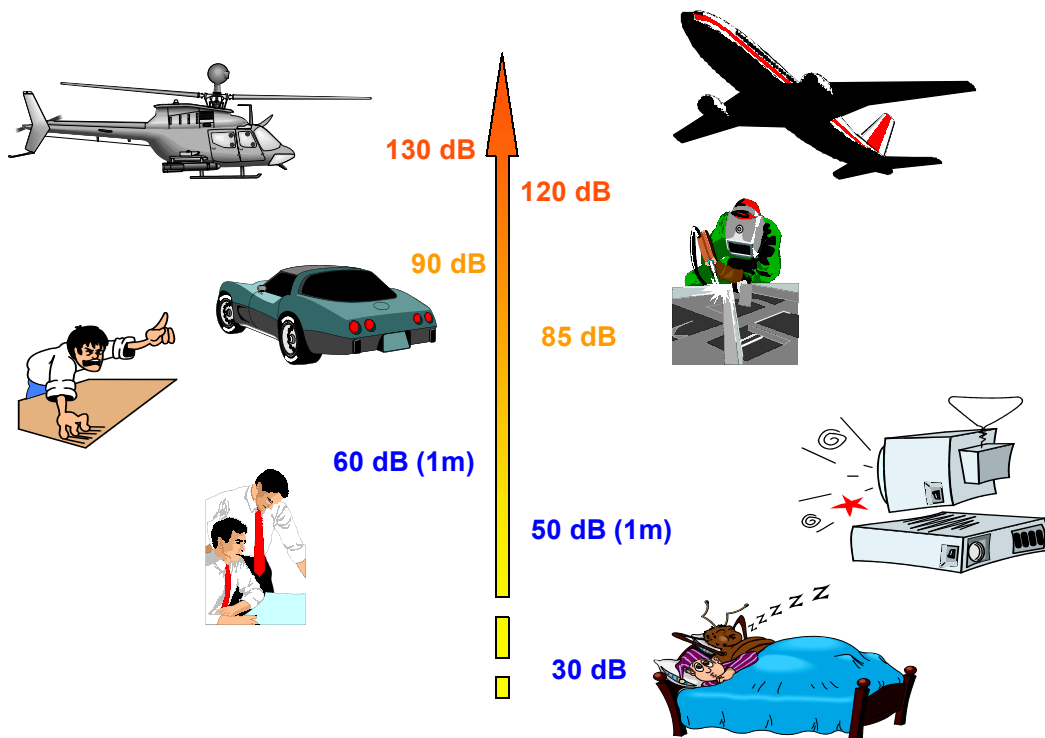


Figura 1: Niveles de presión sonora típicos para diferentes fuentes sonoras.

La Figura 1 muestra los valores típicos del nivel de presión sonora para algunos casos habituales. Se considera que para mantener el sueño sin molestias por ruido, el nivel debe ser inferior a los 35-40 dB. Cuando dos personas mantienen una conversación normal, a una distancia aproximada de 1 metro de distancia, el nivel de presión sonora medio emitido puede

rondar los 60 dB, con picos en torno a los 67-70 dB. Para el caso de una persona elevando la voz, un sonómetro puede medir valores que superan los 80 dB en media. El ruido de tráfico en una calle de gran circulación puede superar este valor, mientras que en aeropuertos pueden medirse valores de hasta 120 dB en cabecera de pista.

La **Intensidad Acústica** de una onda sonora se define como el flujo medio de energía a través de una superficie unidad perpendicularmente a la dirección de propagación. Su unidad fundamental es el watio/m². El **Nivel de Intensidad Sonora** se calcula como:

$$L_i = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_{ref}}\right) \quad (dB)$$

donde $I_{ref} = 10^{-12}$ wat/m².

2.2.1 Relación entre presión, potencia e intensidad

El módulo de la intensidad sonora y la presión acústica se relacionan sólo en campo libre, es decir, en ausencia total de reflexiones. En estas condiciones, en un punto particular y en la dirección de propagación de la onda, se cumple:

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho \cdot c}$$

donde ρ es la densidad del aire y c la velocidad de propagación del sonido. El producto $\rho \cdot c$ recibe el nombre de **Impedancia Característica del Medio** y su valor, para una temperatura $T = 20^\circ\text{C}$ y presión atmosférica $P_s = 0.751$ mm de Hg es de $z = \rho \cdot c = 406$ rayls (unidad MKS para impedancia acústica).

Para una onda esférica progresiva, la relación entre potencia e intensidad es:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Y finalmente podríamos expresar:

$$P_{eff}^2 = \frac{\rho \cdot c \cdot W}{4\pi r^2}$$

Expresión que relaciona la presión sonora en campo libre y la potencia acústica radiada, W .

2.3 El ruido, tipos de ruido.

Podemos definir **Ruido** como todo sonido indeseado que interfiere con la señal que se desea percibir, En este apartado se aborda una clasificación genérica del ruido en dos dominios: tiempo y frecuencia.

- Caracterización en frecuencia:

- a) **Ruido Blanco.** Se trata de un tipo de ruido con espectro plano. Tiene la misma energía en todas las frecuencias. Se utiliza en acústica como señal de referencia para medir determinadas características de sistemas acústicos utilizando analizadores de espectro FFT. Estos analizadores no utilizan descomposición espectral mediante bancos de filtros de octava o tercio de octava, sino que calculan el espectro de la señal que se desea estudiar realizando la DFT.
 - b) **Ruido Rosa.** El nivel de energía de este tipo de ruido decae a razón de 3 dB/octava. A la salida de un banco de filtros de octava este ruido presenta un nivel de energía uniforme. Se utiliza como señal de referencia para la realización de todas las medidas acústicas en las que se debe realizar una descomposición de la señal en bandas de octava o fracción de octava: medidas de aislamiento acústico, potencia sonora, absorción acústica, realización de ecualización de salas, etc.
 - c) **Ruido Tonal.** Ruido cuyo espectro presenta una marcada componente tonal. Habitualmente presenta armónicos de la frecuencia fundamental. Multitud de ruidos cotidianos presentan esta característica: ventiladores, compresores, etc. Dependiendo de la frecuencia fundamental del tono, este tipo de ruido puede llegar a ser muy molesto.
- Caracterización temporal:
 - d) **Ruido Estacionario.** En este tipo de ruido el nivel de presión sonora permanece constante en el tiempo.
 - e) **Ruido Fluctuante.** Ruido cuyo nivel de presión sonora varía. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o no periódicas.
 - f) **Ruido Intermitente.** Ruido que aparece solamente en determinados instantes.
 - g) **Ruido Impulsivo.** Ruido que presenta impulsos cortos de nivel muy superior al ruido de fondo. Los impulsos pueden presentarse aislados o ser repetitivos.

En la Ley de Protección Acústica de la Comunidad Gallega se realiza una extensa clasificación de tipos de ruido con mayor o menor precisión en su definición. No contempla en la clasificación ruidos de característica impulsiva.

3 EQUIPOS DE MEDIDA

3.1 El sonómetro básico

En este apartado se describen los bloques funcionales de un equipo básico para la medida del nivel de presión sonora. En la Figura 2 se muestran los distintos bloques que integran un medidor genérico: micrófono, preamplificador, red de ponderación en

frecuencia (R.P.F.), banco de filtros, amplificador, detector RMS, red de ponderación temporal (Fast/Slow/Impulse), y finalmente un elemento o *display* que permita la representación de la señal captada. En sucesivos apartados se describen las funciones de cada elemento.

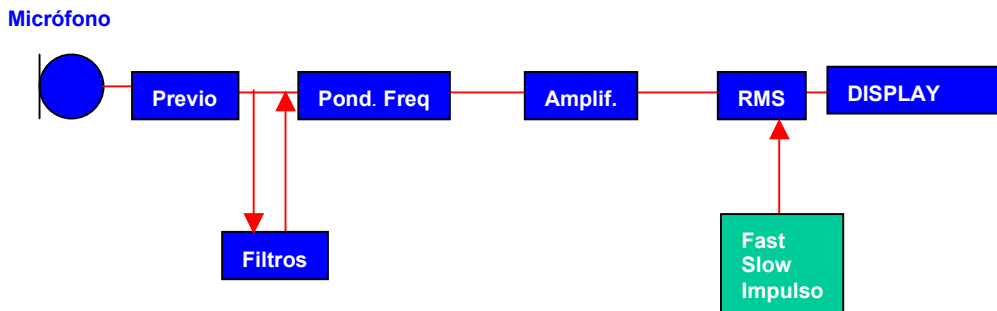


Figura 2: Diagrama de bloques genérico de un sonómetro.

- El micrófono de medida

El micrófono es el elemento transductor, encargado de transformar las variaciones de energía acústica en señal eléctrica. Un micrófono de medida debe presentar una respuesta en frecuencia plana, es decir, debe presentar la misma sensibilidad -relación de transformación de presión acústica en tensión eléctrica- en todo el rango de frecuencias (20 a 20.000 Hz).

Un micrófono de medida se caracteriza normalmente por uno de los tres tipos posibles de respuesta en frecuencia: **campo libre, presión e incidencia aleatoria**. Al introducir un micrófono dentro de un campo acústico, se produce una alteración de las características del campo debido a la difracción producida sobre el micrófono para frecuencias cuya longitud de onda es comparable al tamaño del mismo. Este efecto es particularmente evidente en frecuencias superiores a 1.000 Hz. Un **Micrófono para Incidencia Normal** presenta una respuesta en frecuencia uniforme cuando apunta hacia la fuente sonora en campo libre, compensando la perturbación que se produce en el campo sonoro. Un **Micrófono de Presión** responde uniformemente a la presión que le llega, sin compensar el efecto de perturbación que produce, y un **Micrófono de Incidencia Aleatoria** presenta una respuesta en frecuencia uniforme en situaciones donde el sonido llega simultáneamente de todos los ángulos de incidencia posibles (campos reverberantes). Para la mayoría de los micrófonos de medida, sus características de respuesta en presión e incidencia aleatoria prácticamente coinciden. Si un micrófono de incidencia aleatoria se utiliza en condiciones de campo libre, el nivel de presión sonora medido será demasiado elevado, mientras que por el contrario, si se utiliza un micrófono de campo libre en condiciones de campo difuso, el SPL será subestimado.

Muchos equipos de medida existentes en el mercado incorporan la posibilidad de corregir la variación de respuesta de un micrófono al variar el tipo de incidencia (campo libre/ *random*).

Los micrófonos de medida suelen ser de tipo condensador, que combinan una excelente respuesta en frecuencia con una gran estabilidad y fiabilidad. Estos micrófonos presentan una impedancia de salida demasiado elevada, por lo que se necesita un **preamplificador** cuya principal misión es adaptar la impedancia del micro a la impedancia habitual de entrada de un equipo de audio (en torno a los 100-150 Ohms). En general, requieren alimentación, que en muchos casos suministra el propio equipo de

medida. Existen micrófonos de condensador prepolarizados que no necesitan que se les suministre tensión de alimentación.

- Banco de filtros

Para aplicaciones donde se requiera un análisis en frecuencia de la señal acústica (medidas de aislamiento, potencia acústica, etc.) se deben utilizar equipos que cuenten con un banco de filtros normalizados de 1/1 ó 1/3 de octava. Para las medidas más habituales en acústica (aislamiento acústico, potencia radiada, etc.) es suficiente con una resolución espectral hasta de 1/3 de octava. Para otras aplicaciones (ecualización de salas, etc.), donde se requiera una resolución mayor existen sonómetros y analizadores de espectro en tiempo real con filtros de ancho de banda inferior al tercio de octava (1/12; 1/16 etc.). Las frecuencias centrales de los filtros de 1/3 y 1/1 octava están especificadas en la norma UNE 74-002-78 que concuerda con la ISO 266.1975.

La siguiente tabla muestra el conjunto de frecuencias centrales para dichas bandas. Las frecuencias preferentes para las medidas con filtros de 1/1 octava están resaltadas en negrilla. Puede observarse como cada fila puede obtenerse a partir de la anterior simplemente multiplicando por 10.

31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000	25000

- La Red de Ponderación en Frecuencia

Una vez convertida la señal acústica en señal eléctrica, un detector de sobrecarga se ocupa de generar el correspondiente mensaje de error en caso de que el margen dinámico de la señal captada exceda en margen de funcionamiento de alguna de las etapas posteriores, con lo que la medida resultante no sería correcta.

En caso de no existir error, la medida seguiría su curso. La primera etapa que nos encontramos después del detector de sobrecarga es la red de ponderación en frecuencia. En esta etapa la señal pasa a través de un filtro cuya respuesta en frecuencia varía de forma análoga a la sensibilidad del oído humano, simulando los contornos o curvas de igual sonoridad. De esta forma se busca que el nivel de presión sonora medido refleje en cierta manera el nivel subjetivo percibido. Los equipos de medida suelen presentar cuatro características de ponderación, recogidas en las normas internacionales:

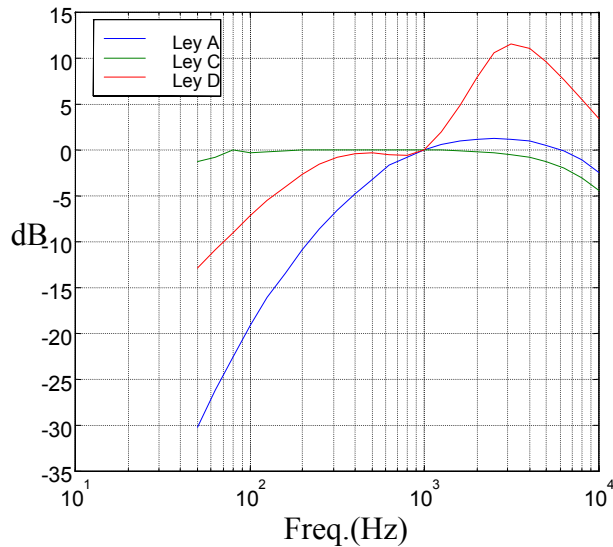


Figura 3: Curvas de ponderación.

- **Ley A:** La más utilizada ya que es la que mejor refleja la respuesta del oído humano para niveles habituales de ruido. Corresponde con el inverso de la curva isofónica de 40 fonos. Se utiliza para determinar el grado de molestia subjetiva que produce un ruido. La siguiente tabla muestra los valores que hay que añadirle a una medida realizada en dB para obtener el correspondiente valor en dBA.

F (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Ley A	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	- 4,8	-3,2	-1,0
F (Hz)	800	1000	1250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000
Ley A	-0,8	0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5

- **Ley B:** Sigue aproximadamente el inverso de la curva de 70 fonos. Es la menos utilizada de las cuatro.
- **Ley C:** Se ajusta al inverso de la curva de 100 fonos. Utilizada en la ponderación de niveles de pico.
- **Ley D:** Es la curva de ponderación utilizada para determinar el impacto del ruido para niveles muy altos (aeropuertos).

Además, los equipos de medida suelen incluir una red de respuesta lineal (plana) - opción LIN- que permite la posibilidad de dejar pasar la señal sin modificación.

Tanto la Ley de Protección Contra la Contaminación Acústica como el Real Decreto 1316, especifican que los niveles de ruido deberán medirse en "dBA". Este término se refiere a que en el sonómetro de medida se debe seleccionar esta ley de ponderación y como resultado, la medida vendrá expresada en "decibelios A", haciendo referencia a la

red de ponderación utilizada. En el caso de medir ruidos de elevado nivel, debe utilizarse la "Ley D" y el resultado de la medida vendría expresado en "dBD". Para describir el efecto de la ponderación con Ley A, incluimos a continuación una gráfica que permite comparar una medida realizada en dB y una segunda medida obtenida en dBA.

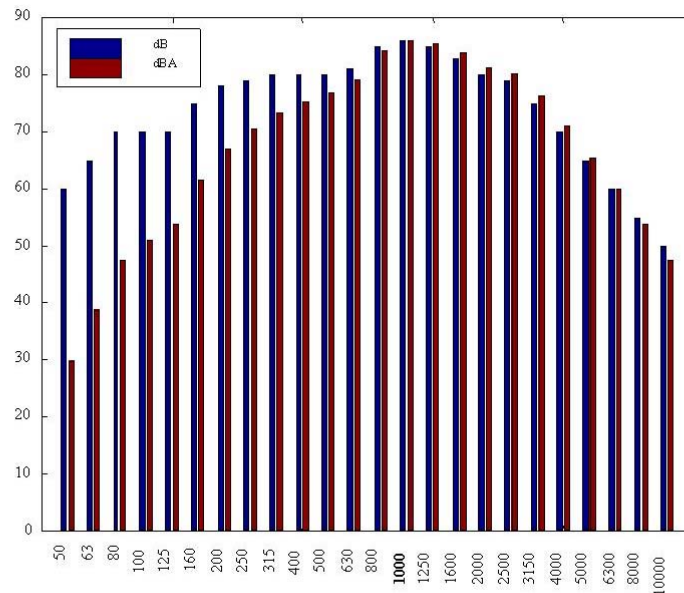


Figura 4: Gráfica comparativa entre niveles en dB y en dBA.

Se puede observar claramente como las barras de la zona izquierda de la gráfica, correspondientes a las bajas frecuencias, son sensiblemente inferiores en los resultados expresados en dBA (barras rojas). El oído humano para estos niveles de ruido se comporta de forma análoga, atenuando (debido a su menor sensibilidad) las bajas frecuencias. Las frecuencias medias permanecen inalteradas prácticamente.

- Detector RMS

Todo detector RMS tiene una respuesta temporal determinada. Para equipos de medidas acústicas, están normalizadas tres tipos de respuestas:

- h) *Fast*. Respuesta rápida. Se utiliza para las medidas de ruido fluctuante. La constante de tiempo para este tipo de respuesta es de 125 ms.
- i) *Slow*. Respuesta lenta. Se utiliza para medir ruidos que no fluctúan rápidamente. La constante de tiempo es de 1 s.
- j) *Impulse*. Respuesta impulsiva. Se utiliza únicamente para medir ruidos impulsivos, con una constante de tiempo de 35 ms.

Medir un ruido con variaciones rápidas con una constante de ponderación *slow* supondría evaluar un nivel de presión sonora inferior al que realmente se está percibiendo. Este es quizás uno de los aspectos que no está recogido adecuadamente en

la actual ley de protección acústica, ya que en su Anexo II, en la clasificación de ruidos, define el **Ruido Continuo Fluctuante** como aquél que medido con una respuesta lenta muestra variaciones de ± 6 dB.

Técnicamente, ruidos con variaciones rápidas deben ser medidos con respuesta rápida.

- Calibración

Antes de proceder a medir conviene asegurar que los niveles de presión medidos por el sonómetro son correctos. Para ello se utiliza un calibrador acústico o **Pistófono** que se aplica directamente sobre el micrófono del equipo de medida. El pistófono proporciona una señal de nivel de presión sonora conocido (nivel de referencia). En general, los pistófonos suelen proporcionar un tono puro, de frecuencia 1 kHz. Con un SPL de 94 dB (1 Pa).

Para garantizar que los pistófonos emiten la señal requerida o que el equipo mide adecuadamente en todo el margen de frecuencias, debe enviarse periódicamente el equipo a un laboratorio certificado para la realización de calibraciones acústicas. En España, la entidad certificadora de laboratorios es ENAC (Entidad Nacional de Certificación). Cuando se solicita una medición acústica debe solicitarse que los equipos utilizados estén dentro de un programa de calibración externa, lo que garantizará que las medidas se realizan adecuadamente.

El número del certificado de calibración deberá figurar en los informes resultantes de las medidas.

4 ÍNDICES DE VALORACIÓN DE RUIDO

En los últimos años se han ido promulgando una serie de decretos y disposiciones cuyo objetivo común es la mejora del confort acústico, tanto limitando los niveles de exposición a ruidos en el puesto de trabajo -Real decreto 1316/1989 sobre la protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido en el ambiente de trabajo, B.O.E. 2/11/1989- como regulando los niveles de emisión de ruido en general -Ley 7/1997 del 11 de Agosto de 1997 de Protección contra la Contaminación Acústica, D.O.G.A. 20/08/1997-. En estos decretos se regulan los niveles máximos de ciertos parámetros acústicos, obtenidos en general a partir del estudio temporal del nivel de presión sonora que conviene conocer. En este apartado se definen estos parámetros y otros que pueden resultar de utilidad a la hora de caracterizar un ambiente ruidoso.

4.1 Nivel equivalente continuo

El L_{eq} o **Nivel Equivalente Continuo** se define como el nivel de un ruido continuo que contiene la misma energía que el ruido medido, y consecuentemente también posee la misma capacidad de dañar el sistema auditivo.

Una de las utilidades por tanto de este parámetro es poder comparar el riesgo de daño auditivo ante la exposición a diferentes tipos de ruido. Este parámetro es básico para cualquier medida de ruido y su definición se encuentra en la mayoría de las normas de medida de ruido y de la legislación actual sobre protección acústica. El L_{eq} ponderado A se denota como L_{Aeq} .

El L_{Aeq} se calcula a partir del valor cuadrático medio de la presión sonora ponderada A en un período de observación $T = t_2 - t_1$:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A^2(t)}{p_{ref}^2} \right) \cdot dt \right] \quad (dBA)$$

Muchos equipos proporcionan el L_{eq} cada t_i seg. El L_{eq} en un intervalo subdividido en un conjunto de intervalos, Δt_i , se puede calcular como:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \Delta t_i \cdot 10^{\frac{(L_{Aeq})_i}{10}} \quad (dBA)$$

donde N es el número total de intervalos en los que se divide T y $(L_{Aeq})_i$ es el nivel continuo equivalente ponderado A en el intervalo i -ésimo. Si todos los intervalos de muestreo son de la misma duración, $\Delta t_i = \Delta t$, la ecuación anterior se simplifica:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \frac{\Delta t}{N \cdot \Delta t} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{Aeq})_i}{10}} = 10 \cdot \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{Aeq})_i}{10}} \quad (dBA)$$

4.2 Evaluación de la exposición sonora

A partir de la definición del nivel equivalente continuo, la norma ISO 1999:1990(E) - *Acoustics: Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced hearing impairment*- (Acústica: Determinación de la Exposición a Ruido en el Trabajo y Estimación de las Pérdidas Auditivas) define una serie de magnitudes que se obtienen a partir de la consideración de que la jornada nominal laboral dura un período $T = 8$ horas. Estas definiciones se utilizan en la legislación actual sobre ruido industrial. El **Nivel Diario Equivalente**, $L_{Aeq,d}$ definido en el Real Decreto 1316, y en la norma ISO 1999:1990(E) como nivel de exposición sonora normalizado a 8 horas se calcula a partir de la ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \cdot \log \frac{T_e}{8} \quad (dBA)$$

donde T_e es la duración efectiva de la jornada laboral y $L_{Aeq,Te}$ el nivel equivalente continuo debido a la exposición durante T_e horas.

Durante la jornada laboral, un trabajador puede estar expuesto a diversos tipos de ruido. Cada uno de estos N tipos de ruido deberán ser evaluados separadamente y el nivel diario equivalente calculado como:

$$L_{Aeq,d} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^N 10^{0.1(L_{Aeq,d})_i} = 10 \cdot \log \frac{1}{T_e} \sum_{i=1}^N T_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_{Aeq,T_i}} \quad (dBA)$$

donde L_{Aeq,T_i} es el nivel continuo equivalente ponderado A resultante de la exposición a cada uno de los ruidos de duración T_i horas por día, y $(L_{Aeq,d})_i$ es el nivel diario equivalente que resultaría si solo existiera dicho tipo de ruido. $T_e = T_1 + T_2 + \dots + T_N$. Finalmente, el **Nivel Semanal Equivalente** se define como la media en decibelios de las exposiciones diarias, $L_{Aeq,di}$, de cada uno de los cinco días de la semana laboral:

$$L_{Aeq,s} = 10 \cdot \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{0.1 \cdot L_{Aeq,di}} \quad (dBA)$$

El Real Decreto 1316 establece que todo trabajador expuesto a un nivel diario equivalente superior a los 80 dBA deberá someterse a medidas especiales para evitar la degradación de su capacidad auditiva (aparición de sordera profesional). Básicamente, las técnicas a seguir en estos casos son: exploraciones audiométricas periódicas, utilización de equipos de protección personal, planificación de la jornada laboral (rotación de puestos de trabajo, para que un mismo empleado no esté siempre en un puesto excesivamente ruidoso).

Además se han de tomar medidas especiales de control de ruido (encapsulados de máquinas, apantallamiento de zonas ruidosas, etc.).

4.3 Niveles percentiles

Los **Niveles Percentiles**, L_n se definen como el nivel de presión sonora que es sobrepasado el n% del tiempo de observación. Los más utilizados son:

- L_{10} . Nivel sobrepasado solo durante el 10% del intervalo de observación. Es un descriptor del nivel de pico de la señal.
- L_{50} . Nivel sobrepasado durante la mitad del tiempo de medida. Utilizado para calcular algunos descriptores de ruido de tráfico.
- L_{90} . Indicativo de ruido de fondo de la señal.

Estos niveles se calculan a partir de la función de distribución acumulada.

4.4 Nivel sonoro promediado día/noche

Se trata de un índice que intenta reflejar que los ruidos son más molestos durante los períodos de descanso nocturnos que durante el día.

$$L_{DN} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \left[\int_{8:00}^{22:00} \frac{p_A^2}{p_{ref}^2} dt + 10 \cdot \int_{22:00}^{8:00} \frac{p_A^2}{p_{ref}^2} dt \right]$$

El intervalo de observación de 24 horas, se divide en dos subintervalos y se penaliza el período nocturno. La definición de estos intervalos día/noche varía dependiendo de la legislación local. En el caso de Galicia, este intervalo está definido en la Ley de Protección Acústica, editada en el DOGA del 20 de Agosto de 1997.

4.5 Curvas de valoración NC

Además de los índices mencionados, existen una serie de curvas de valoración que permiten relacionar el espectro de ruido con la perturbación que introduce en el desarrollo de una actividad determinada. Para la determinación del índice, simplemente se compara el espectro de ruido medido en bandas de 1/1 octava con los valores de una serie de curvas normalizadas. El valor del índice en cuestión corresponderá con el de la curva inmediatamente superior al máximo nivel espectral del ruido.

4.6 El tiempo de reverberación. Ecuación de Sabine

Uno de los parámetros que indiscutiblemente influyen de manera decisiva en muchos aspectos de la calidad acústica de una sala es la reverberación. Los desarrollos de la teoría estadística van en gran medida encaminados a explicar este fenómeno. Se define el **Tiempo de Reverberación**, T , como el tiempo que tarda la energía acústica en atenuarse 60 dB a partir del cese de la emisión de una fuente sonora dentro de una sala. En unidades naturales, la energía se habrá atenuado a la millonésima parte de su valor inicial.

La **Ecuación de Sabine** proporciona un método para calcular de manera aproximada el tiempo de reverberación en una sala o recinto determinados:

$$T = 0.161 \cdot \frac{V}{A}$$

En la Ecuación de Sabine, T representa el tiempo de reverberación en segundos, V el volumen de la sala en cuestión en m^3 y A el área de absorción equivalente en m^2 .