

## Capítulo 6

# El ruido y su caracterización

Entre las diferentes acepciones de ruido, cuando hablamos en términos de acústica, tenemos las siguientes:

- Conjunto de sonidos no agradables
- Combinación de sonidos no coordinados que originan una sensación desagradable
- Todo grupo de sonidos que interfiera una actividad humana

Es decir, la consideración como ruido de un sonido es en principio subjetiva. Un mismo sonido podría ser considerado como molesto o como agradable dependiendo de la situación y de la sensibilidad concreta de cada persona. El ruido puede tener entonces una consideración no objetiva, sin embargo, el sonido en sí, es cuantificable y medible.

Se considera entonces que el ruido es aquel sonido no deseado. Es una emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio, detectada por el oído y provoca una sensación de molestia. El ruido corresponde generalmente a una variación aleatoria de la presión a lo largo del tiempo. La mayoría de los ruidos que escuchamos están formados por más de una frecuencia. Por ejemplo, a nivel industrial los diferentes componentes de una máquina vibran a una frecuencia distinta, de forma que lo que parece un único sonido es en realidad una amalgama de diferentes frecuencias.

El ruido es, por tanto, un sonido complejo que puede ser estudiado a partir de la frecuencia de los sonidos puros que lo componen y por la amplitud de la presión acústica correspondiente a cada una de esas frecuencias. En el caso de que las frecuencias que componen el ruido sean demasiadas, se realiza una clasificación en bandas de frecuencia contiguas. De esta forma, se define un espectro frecuencial del ruido. Este espectro de frecuencias, correspondiente a un ruido variará de forma aleatoria a lo largo del tiempo, a diferencia de otros sonidos complejos, como los acordes musicales, que siguen una ley de variación precisa. Existen multitud de posibilidades y clasificaciones para diferenciar unos ruidos de otros: su composición en frecuencias, su intensidad, su variación temporal, su cadencia y ritmo, etc. Un punto importante es que la propagación del ruido en el aire y a través de los obstáculos depende asimismo del espectro de frecuencias del ruido.

## 6.1. Análisis de frecuencias

Llamaremos **tono puro** a un sonido cuyas variaciones de presión dependen de una sola frecuencia. Si una determinada onda sonora, con una frecuencia determinada, tiene baja frecuencia, diremos que tiene tono grave (un trueno, por ejemplo) y si tiene alta frecuencia, diremos que tiene tono agudo (un silbido). Esta distinción es debida a que el oído humano reacciona de manera diferente según las frecuencias, estando el intervalo audible de frecuencias comprendido entre los 20 y los 20.000 Hz,

Entonces, en general, una onda sonora estará compuesta por varias ondas de distintas frecuencias, de forma que el tono será de tipo compuesto. Así, los sonidos reales podemos dividirlos en un gran número de tonos puros. Mediante el análisis de frecuencias podemos saber como descomponer un sonido real en grupos de tonos puros. Esta técnica es muy útil en el control del ruido y para seleccionar protectores auditivos adecuados. Para realizar un análisis de frecuencias se descompone este intervalo en bandas y se determina el nivel de presión sonora correspondiente a cada una de las bandas. Estas bandas pueden ser:

- De ancho constante tal que  $\Delta f = f_2 - f_1 = \text{cte}$ .
- De ancho proporcional a la frecuencia central  $\Delta f / f_c = \text{cte}$ , donde  $f_c$  es que es la media geométrica de las dos frecuencias extremas:

$$f_c = \sqrt{f_1 f_2}$$

El método más habitual para realizar un análisis de frecuencias es dividir la señal en bandas de ancho proporcional a la frecuencia central, midiendo con unos filtros que dejarán pasar el ruido entre unas frecuencias mínima y máxima determinadas. Estos filtros eliminarán el ruido en las frecuencias superiores o inferiores a estas frecuencias. En acústica se emplean principalmente dos tipos de bandas: bandas de octava y tercio de octava.

Se denomina **banda de octava** al grupo de frecuencias comprendidas entre los valores de las bandas mínima,  $f_1$ , y máxima,  $f_2$ , tal que cumplan la relación:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2$$

Para realizar un análisis más detallado del espectro, se puede emplear bandas de **tercio de octava**, tal que cumplen la siguiente relación:

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}$$

Entonces, cada vez que hablamos de “subir una octava”, lo que hacemos es doblar el ancho del intervalo de frecuencias.

En la práctica, y analizando el espectro mediante el segundo método de los expuestos anteriormente, las frecuencias centrales del espectro se articulan en torno al valor  $f_c = 1000$  Hz. En ese caso, la anchura de los filtros de octava (con  $f_2 = 2 f_1$ ) que se suele emplear es:

$$f_2 - f_1 = 0,707 f_c$$

mientras que la anchura de los filtros de tercio de octava ( $f_2 = \sqrt[3]{2} f_1$ ) que se utiliza es:

$$f_2 - f_1 = 0,232 f_c$$

### 6.1.1. Caracterización espectral del ruido

Una vez que hemos visto cómo el sonido se puede analizar en términos de componentes de distintas frecuencias, podemos caracterizar el ruido según la forma de su espectro. Esta caracterización espectral, además, es básica para decidir sobre las cualidades psicoacústicas del ruido.

Obviamente, se pueden dar muchos tipos de espectro; aquí mencionaremos los siguientes:

**Tono puro** Ya lo hemos definido en la sección anterior: es aquella distribución de intensidad sonora que es cero para todas las frecuencias, salvo para una. En la realidad la forma de manifestarse un tono puro es como un pico estrecho alrededor de la frecuencia referida. Podría ser producido por un oscilador como el descrito en la sección 5.1.1, que transfiriera su oscilación como sonido al medio circundante.

**Sonido armónico** Está compuesto por un pico alrededor de una frecuencia principal,  $f_o$ , y otros picos más pequeños que disminuyen progresivamente con la frecuencia, a frecuencias que son múltiplos enteros de la principal, o bien fracciones simples de la misma (por ejemplo,  $3f_o/2$ ). Su origen está, justamente, en los distintos armónicos de la cuerda vibrante que hemos visto en la sección 5.1.2. Este tipo de sonidos suenan generalmente de forma agradable al oído; de hecho, la música está basada en ellos.

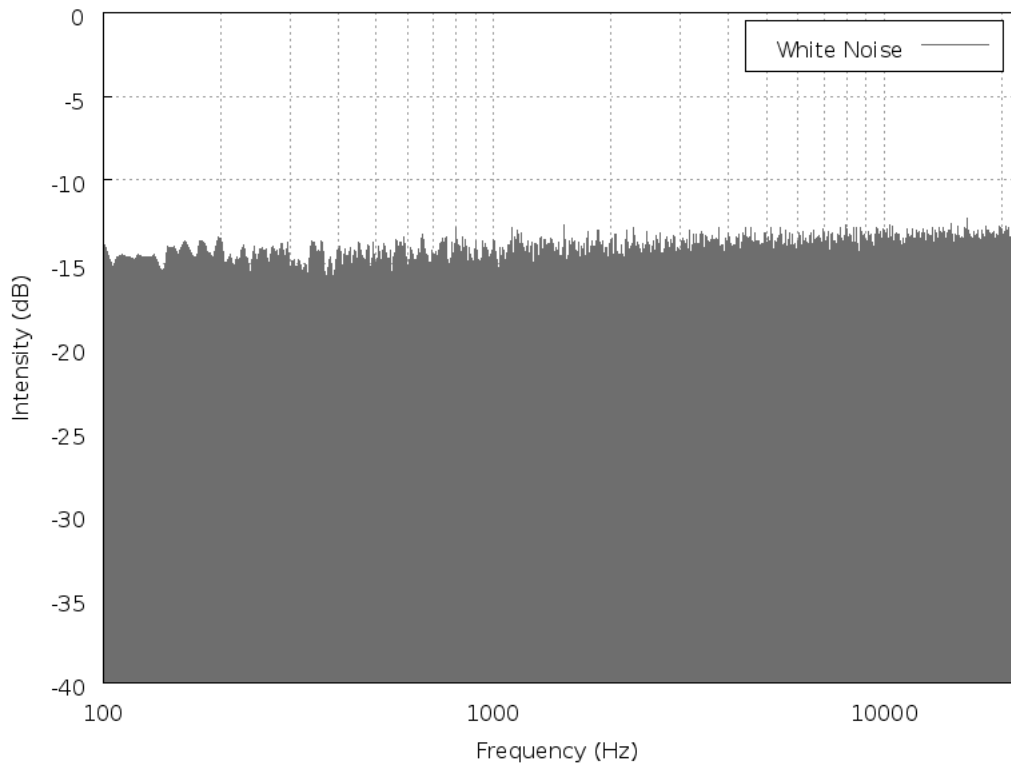
**Ruido blanco** Es el que se obtiene de una fuente totalmente aleatoria. Es la máxima expresión del ruido caótico y suena desagradable al oído. Su espectro es tal, que las componentes de todas las frecuencias tienen más o menos el mismo valor de intensidad, como se muestra en la Figura 6.1. En la misma ambos ejes se dan de forma logarítmica (la escala de decibelios no es más que una forma logarítmica de representar la intensidad sonora, como veremos en la sección siguiente).

**Ruido rosa** En este tipo de ruido, la intensidad tiene una dependencia de la frecuencia como  $1/f^\alpha$ , donde  $0 < \alpha < 2$ . Estrictamente, se considera *ruido rosa* sólo cuando  $\alpha = 1$ , pero se suele englobar aquí a toda la familia de este tipo de espectros. En la representación logarítmica, que vemos en la Figura 6.2, adquiere la forma de una recta. Este tipo de ruido aparece en varios fenómenos naturales —es el típico *sonido de mar* que se escucha aplicando una caracola al oído— y en dispositivos electrónicos.

## 6.2. Sensación sonora

El oído humano puede detectar variaciones de dos cantidades: presión y frecuencia. La presión acústica que puede detectar el oído se encuentra comprendida entre los  $20 \mu\text{Pa}$  ( $2 \times 10^{-5}$  Pa) y un umbral máximo en torno a los  $20.000.000 \mu\text{Pa}$  (20 Pa). Para las frecuencias, detectamos variaciones entre los 20 y los 20.000 Hz.

La variación de la sensibilidad del oído a la variación en la presión acústica es demasiado grande en las unidades de Pascales, ya que la escala estaría dividida en 20 millones de unidades. Para simplificar esta medida se emplea una escala de tipo logarítmico, que permite definir una



**Figura 6.1:** Espectro de ruido blanco

magnitud denominada “nivel de presión sonora”,  $L_p$ , y que se expresa en **decibelios** (dB). La definición de  $L_p$  es:

$$L_p = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (6.1)$$

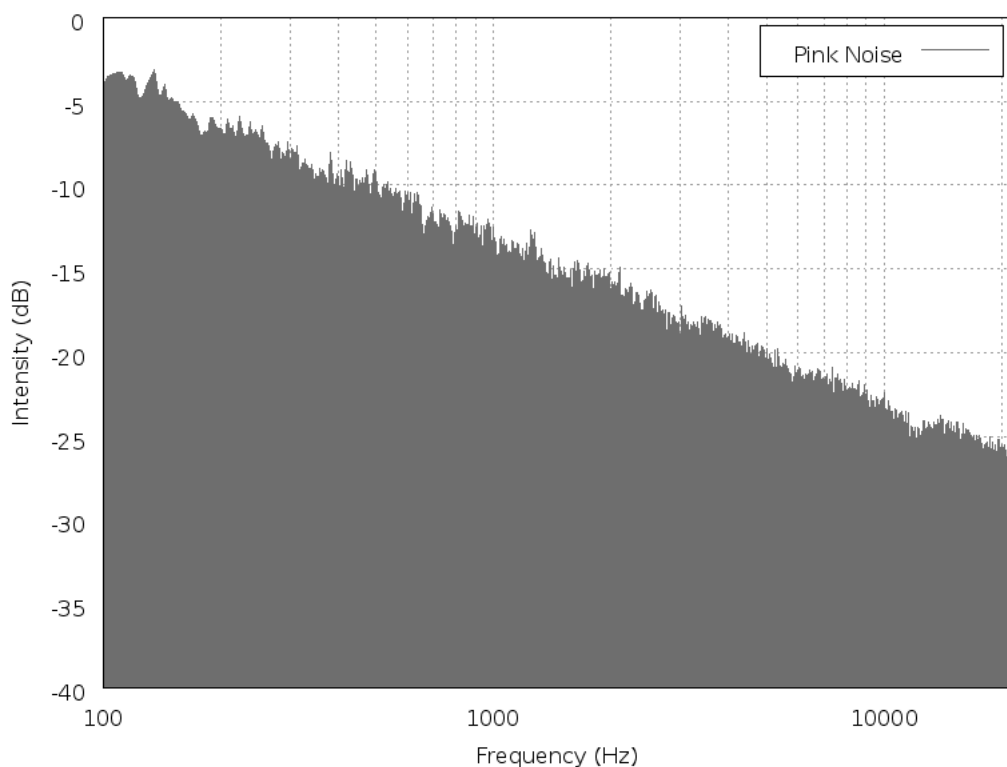
done  $P_0$  es un valor de referencia de la presión acústica que corresponde con la menor presión acústica audible, esto es,  $20 \mu\text{Pa}$ . Para este valor, y según la definición anterior  $L_p = 0$  dB. En el otro extremo de la escala, tenemos que el llamado “umbral del dolor” se encuentra en torno a los 120 dB, para valores por encima de este se pueden producir daños físicos, incluso con la rotura del tímpano.

En resumen, mediante esta escala logarítmica hemos definido una escala para evaluar el ruido que afecta a las personas más manejable, que oscila entre los 0 y los 120 dB.

### 6.2.1. Suma de niveles sonoros

Ahora bien, dado que esta escala es logarítmica, la suma de ruidos no es igual a la suma directa de las cantidades en dB. Desde un punto de vista más físico: si una determinada fuente sonora emite el doble que otra, esto significa que, a la misma distancia del receptor, la intensidad de la onda se duplica. La intensidad de la onda depende cuadráticamente de la presión, como indica la fórmula 5.30; es decir:

$$I \propto P^2$$



**Figura 6.2:** Espectro de ruido rosa

Si la segunda onda tiene el doble de intensidad,  $I' = 2I$ , entonces la relación de presiones es:

$$P' = \sqrt{2}P$$

y finalmente el nivel de presión sonora correspondiente será:

$$L_{p'} = 20 \log \frac{P'}{P_0} = 20 \log \frac{\sqrt{2}P}{P_0} = 20 \frac{1}{2} \log 2 + 20 \log \frac{P}{P_0} \approx 3 + L_p \text{ (en dB)}$$

Es decir, al doblar la intensidad sonora se produce un aumento de 3 dB en la presión sonora existente. O dicho de otra forma, aumentar en 3 dB el nivel de ruido implica duplicar la energía de la onda.

**Ejemplo:** Vamos a suponer que la relación entre las dos fuentes sonoras es tal que

$$I_{p2} = 2^n I_{p1}$$

donde  $n$  es un número entero. Véase que, en tal caso, la segunda fuente tendría intensidades  $2 I_{p1}, 4 I_{p1}, 8 I_{p1} \dots$ . Si ahora aplicamos la metodología anterior para encontrar la relación entre niveles tendremos que:

$$L_{p2} = L_{p1} + 3n \text{ dB}$$

Por tanto, si las presiones aumentan un factor 2, la relación entre los niveles sonoros será ir sumando 3 dB al nivel original.

Para sumar niveles sonoros no podemos sumar directamente las cantidades expresadas en decibelios; cuando se desea expresar que estamos sumando dos señales sonoras de las que conocemos sus niveles (dB), se emplea el símbolo  $\oplus$ , que se denomina “suma energética”,  $L_1 \oplus L_2$ . Y lo que se hace realmente es sumar las intensidades reales que subyacen a la definición de dB:

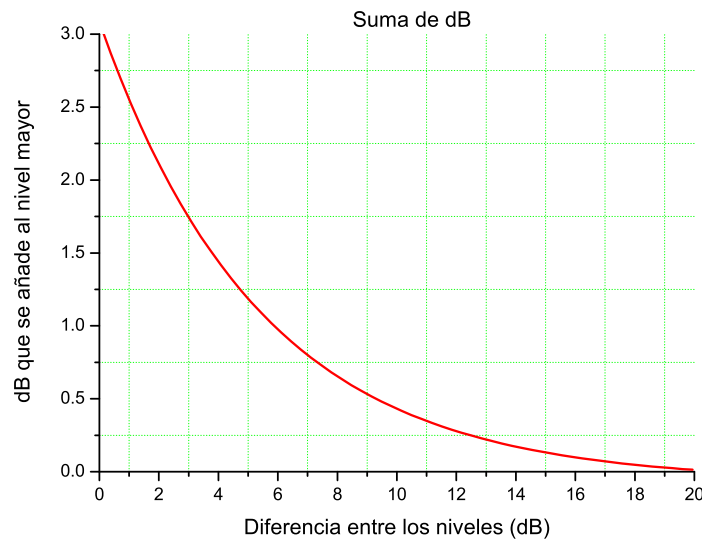
$$L_1 \oplus L_2 = 10 \log \left( 10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \right)$$

La fórmula general para sumar un número indeterminado de niveles sonoros es

$$L_{\text{total}} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \quad (6.2)$$

donde  $n$  es el número de fuentes sonoras y los niveles  $L_i$  son los niveles debidos a cada una de las fuentes (en dB). Si todas las fuentes fuesen emitiesen el mismo ruido  $L$ , tendríamos que:

$$L_{\text{total}} = L + 10 \log n \quad (6.3)$$



**Figura 6.3:** Determinación de la suma de dos niveles sonoros.

Sin embargo, en la práctica se emplea un método gráfico para sumar niveles sonoros de dos en dos comprando con una gráfica como la 6.3 Para sumar dos niveles, primero se halla la diferencia entre ambos, y este valor se introduce en el eje de las abscisas del gráfico. El valor donde se cruza con la curva es el incremento de dB que hay que sumar al valor más alto. En el caso de que tengamos más de dos niveles sonoros, se ordenan de menor a mayor y se van sumando de dos en dos empezando por el menor. Los datos de la figura 6.3, en el rango representado, pueden obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$A = -0,0665 + 3,148 e^{-B/5,425}$$

donde  $A$  son los dB que se añade al valor más alto y  $B$  es la diferencia entre los niveles en dB.

**Ejemplo:** Tenemos que dos fuentes de ruido,  $L_1$  y  $L_2$  proporcionan las mediciones  $L_1 = 87$  y  $L_2 = 80$  dB. Entonces, primer restamos ambas cantidades:  $L_1 - L_2 = 7$ . A continuación, localizamos el valor 7 del eje de abscisas hasta cortar con la curva. Así, se obtiene el valor correspondiente del eje de ordenadas (0,8). Este valor se suma al mayor de  $L_1$  y  $L_2$  para obtener el resultado de la suma  $L_1 \oplus L_2 = 87,8$  dB

**Ejemplo:** Ahora queremos obtener la suma los niveles siguientes: 65, 60, 70, 65, 62 y 67 dB.

- Se ordenan de menor a mayor: 60, 62, 65, 65, 67, 70
- Se suman dos a dos, como en el ejemplo anterior
  - $60 \oplus 62 = 64$  dB
  - $64 \oplus 65 = 67,5$  dB
  - $67,5 \oplus 65 = 69,3$  dB
  - $69,3 \oplus 67 = 71$  dB
  - $71 \oplus 70 = 73,5$  dB

El resultado de la suma de los ruidos es 73,5 dB

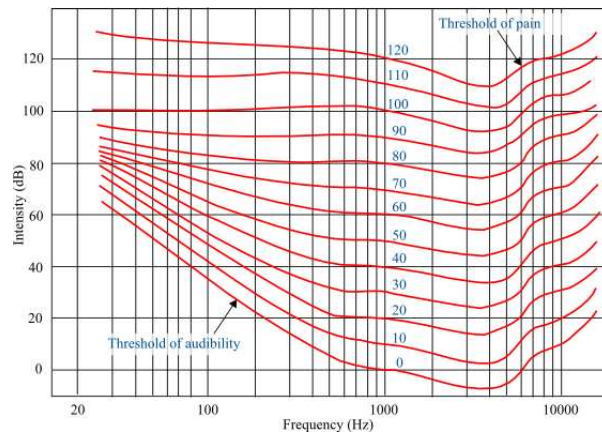
### 6.2.2. Percepción de los sonidos

La percepción subjetiva del sonido depende de múltiples factores. Además de las peculiaridades del sistema auditivo de la persona en cuestión, depende de los variables físicas fundamentales en cuanto a nuestra percepción del ruido: el nivel de presión sonora y la la frecuencia.

Como sabemos, en general, los sonidos están formados por unión de componentes de distinta frecuencia, así que su “sonoridad”, dependerá de las frecuencias presentes y de las intensidades correspondientes. La “sonoridad” es entonces una característica subjetiva. Además, una de las principales características de nuestro oído es que discrimina de forma no lineal, de manera que nuestra respuesta a las diferentes frecuencias es desigual. Nuestro oído atenúa las frecuencias de 20 a 1.000 Hz, pero amplifica aquellas que van desde los 1.000 hasta los 5.000 Hz, volviendo a atenuar de 5.000 Hz en adelante.

Estudios realizados sobre un gran número de oyentes ha permitido tabular un conjunto de curvas de igual sonoridad (curvas isofónicas) que indican, para cada nivel de sonoridad, el nivel sonoro de los distintos tonos puros que producen la misma sensación sonora. Estas curvas vienen representadas en la figura 6.4.

En la figura 6.4 podemos ver una serie de curvas que corresponden a la misma sensación sonora, pero en cada una de ellas los valores de la presión acústica y de la frecuencia varían. Por ejemplo, vemos que tendríamos la misma sensación sonora para una onda de frecuencia 1.000 Hz y 40 dB de nivel de presión que con otra onda que tuviese una frecuencia de 31,5 Hz y una presión de 77 dB. Cada una de estas curvas, que generan un mismo nivel de sensación sonora tiene un valor en dB distinto, denominado “fon” o “fonio”. El fonio o fon es una unidad de medida logarítmica y adimensional, que se usa para indicar la sonoridad con que se percibe un sonido dado. Cada una de las curvas de la 6.4 viene marcada por un número en fonios. Para definir la sonoridad de referencia se usa una onda que tenga una frecuencia de 1.000 Hz

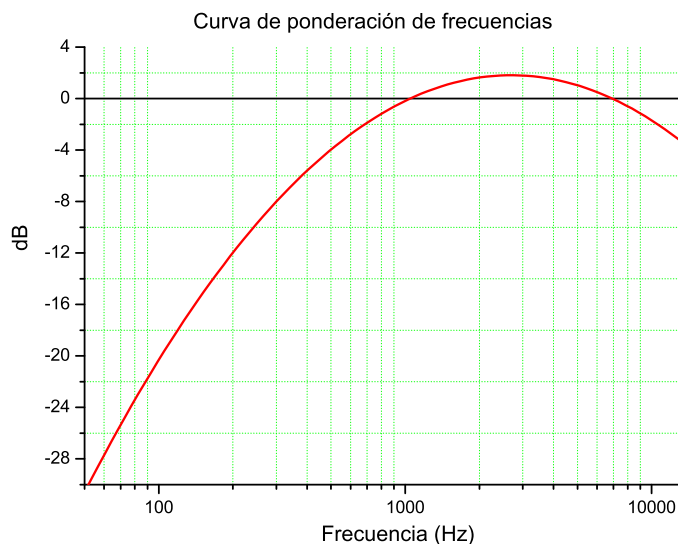


**Figura 6.4:** Curvas de igual sensación sonora.

y una amplitud igual a  $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ . Esa onda tendrá una sonoridad igual a 0 fonios. Pero, al igual que habíamos hecho notar antes, podríamos conseguir 0 fon empleando una onda de presión sonora 60 dB con una frecuencia de 70 Hz.

En definitiva, la característica no lineal del oído humano a la hora de percibir los sonidos es lo que obliga a que, cuando se quiere medir un ruido, sea necesario un dispositivo especial que mida los niveles de presión acústica de forma similar a como los percibimos nosotros.

### Escala de ponderación tipo A



**Figura 6.5:** Escala de ponderación en frecuencia tipo A.

Como hemos dicho, el oído humano no es sensible de la misma manera a las diferentes frecuencias. Así, para un mismo nivel de presión sonora, un ruido será tanto más molesto cuanto mayor proporción de altas frecuencias contenga. Es por tanto necesario tener un método que



permita diseñar aparatos que de medición de presión sonora, con ciertos filtros de corrección, que se asemejen a la respuesta del oído humano.

De esta forma, se definieron una serie de filtros que ponderan la señal recogida por un micrófono de acuerdo con la sensibilidad del oído humano. Basándose en las curvas de isosonoridad del oído humano se introduce el concepto de filtros de ponderación. Estos filtros actúan de manera que los niveles de presión de cada banda de frecuencia son corregidos en función de la frecuencia según unas curvas de ponderación. Con este criterio se han definido varios filtros, siendo los más conocidos los denominados A, B, C y D. El filtro utilizado en el dominio del ruido del transporte es el A (véase la figura 6.5), único filtro recogido por el Real Decreto 1316/89. En decretos posteriores empiezan a aparecer otros filtros, como el C, que aparece en el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo. Los niveles de presión acústica utilizados se miden en “decibelios A”, algo que es denotado como **dBA**. Los valores de este filtro pueden obtenerse, en el rango representado en la figura 6.5 mediante la siguiente expresión:

$$A = -125,42 + 74,185 B - 10,814 B^2$$

donde  $A$  son dB y  $B = \log f$  con  $f$  frecuencia en Hz.

Por poner un par de ejemplos de esta escala, un refrigerador produce un ruido de 40 dBA y una aspiradora genera en torno a 80 dBA<sup>1</sup>.

### 6.2.3. Índices para la evaluación del ruido

El carácter de molestia asociado al ruido, entendido éste como un sonido no deseado, añade un componente de carácter no acústico, que necesita de la contribución de diferentes disciplinas tales como la medicina, la psicología o la sociología para ser correctamente interpretado.

Desde un punto de vista medioambiental, el interés del estudio y control del ruido se centra en la protección de la calidad del ambiente sonoro. Las molestias debidas al ruido pueden ser palpables cuando provocan daños físicos evaluables. Sin embargo, en gran parte de los casos, el riesgo para la salud no es tan fácil de cuantificar, ya que intervienen otro tipo de factores (sociales, psicológicos). Así, el grado de molestia que puede sufrir una persona debido a la exposición al ruido presenta un claro componente subjetivo que introduce una notoria dificultad a la hora de establecer criterios de calidad.

Por tanto, para poder abordar el problema de la evaluación de la calidad del ambiente sonoro, es necesario definir una serie de indicadores que permitan medir adecuadamente el grado de molestia en la población. Se pretende seleccionar uno o varios indicadores de molestias, fáciles de obtener y de interpretar. Dado que las molestias debidas al ruido dependen de muchos factores, los índices deben indicar variaciones de aspectos tales como la energía sonora de la fuente, el tiempo de exposición del sujeto expuesto al ruido, las características del sonido en cuestión (espectro de frecuencias, ritmo, etc), la sensibilidad auditiva del receptor (cultural, física, etc), la actividad que esté realizado el receptor (no es lo mismo el ruido en los periodos de descanso que en horario laboral).

Así, la selección del indicador adecuado es una cuestión especialmente importante, ya que puede dar lugar a distintas interpretaciones acerca de la molestia acerca del valor medido a

---

<sup>1</sup>Recientemente ha habido cierta polémica con el ruido generado con los modernos molinos de viento. En este gráfico puede consultarse el ruido generado en función de la distancia a la fuente <http://files.gereports.com/wp-content/uploads/2010/11/larg-wind-turbine.jpg>

través del mismo. Estos índices deben servir para definir una serie de máximos que no deben sobrepasarse. Pero debe tratarse de varios índices ya que existen distintos criterios que hay que considerar: existen los criterios sanitarios para la protección del sistema auditivo y salud en general, límites máximos admisibles de ciertos índices que reflejan la exposición de las personas al ruido. Para nivelar adecuadamente el componente subjetivo de la respuesta individual de las personas se realizan estudios y encuestas psico-sociológicas para establecer qué indicadores de ruido son los más indicados para limitar las molestias percibidas. Desgraciadamente, tras muchos años de investigación todavía no existe unanimidad de criterios acerca de los indicadores que es necesario emplear. En cualquier caso, a continuación resumiremos algunos de los índices que se emplean habitualmente en la legislación española.

### Índices básicos

El primer índice que podemos comentar es el **nivel de presión sonora**,  $L$ , que ya hemos empleado anteriormente. Sabemos que este índice varía con el tiempo y se expresa como  $L_A$  cuando se mide en dBA, que es lo habitual en estudios medioambientales. Además, existen otros dos valores asociados que suelen emplearse para un determinado periodo de la onda sonora: estos son el valor máximo  $L_{A\text{máx}}$  y el valor mínimo  $L_{A\text{mín}}$  en ese intervalo temporal. Hay que tener en cuenta que estos índices aportan información exclusivamente sobre la intensidad de la onda sonora, pero no dicen nada sobre la duración de la misma o de la exposición que sufre el sujeto.

Para corregir este último punto, se define el **nivel de presión acústica ponderado A**,  $L_{pA}$ , que se ha medido a través de un filtro de ponderación A. Este índice se emplea cuando se tiene un ruido estable. Más habitual y útil es el uso de el **nivel de presión sonora continuo equivalente**,  $L_{A\text{eq}}(T)$ , el cual expresa la media de la energía sonora percibida por el sujeto en un determinado intervalo de tiempo  $T$  (referida a la escala de ponderación A, es decir, expresada en dBA). O dicho de otra forma, es el nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía que el ruido percibido en ese instante de tiempo  $T$ . Esta cantidad depende del tiempo en concreto durante el cual se realiza la medición ( $T$ ) y debe ser indicado entre paréntesis a la hora de referirse a esta cantidad.

La formulación matemática de  $L_{A\text{eq}}(T)$  es:

$$L_{A\text{eq}}(T) = 10 \log \frac{T_0}{T} \int_T \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 dt \quad (6.4)$$

donde  $T$  es el tiempo de duración de la medición,  $P$  es la presión instantánea,  $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$  y  $T_0$  normalmente se toma como igual a 1 s.

En la práctica, esta cantidad se calcula mediante la suma de  $n$  niveles de presión sonora  $L_i$  emitidos en intervalos temporales  $t_i$ , tales que  $\sum_i t_i = T$ , de manera que:

$$L_{A\text{eq}}(T) = 10 \log \frac{T_0}{T} \sum_T 10^{L_i/10} t_i \quad (6.5)$$

De la definición de  $L_{A\text{eq}}(T)$  vemos que podemos dividir el nivel de presión total en una serie de intervalos constantes y obtener para cada uno de ellos los correspondientes niveles de presión sonora. Ocurre que si el periodo total es suficientemente largo la distribución de estos

niveles sigue una ley normal. Así, pueden definirse una serie de **niveles percentiles**,  $L_N$ , que representan el nivel de ruido que se alcanza o sobrepasa durante el  $N\%$  del tiempo en el periodo considerado. Esto es:

- $L_1$ : este es el nivel de ruido que se alcanza o sobrepasa durante el  $1\%$  del tiempo en el periodo considerado.
- $L_{10}$ : nivel alcanzado o sobrepasado durante el  $10\%$  del tiempo.
- $L_{50}$ : nivel alcanzado o sobrepasado durante el  $50\%$  del tiempo. Este valor representa el ruido medio ya que es la mediana estadística.
- $L_{90}$ : nivel al  $90\%$  del tiempo. A veces se emplea este valor como ruido de fondo.

Estas cantidades eran muy utilizadas en el pasado, sin embargo presentan algunas particularidades que las hacen no ser las más adecuadas a la hora de evaluar la contaminación acústica. Primero, se necesita un gran número de mediciones, algo que no siempre es posible conseguir. Segundo, no responden a una formulación matemática precisa y no informan más que de la probabilidad de superar o no un determinado nivel.

### Más índices

Supongamos ahora que queremos comparar sucesos de ruido de diferente duración. Para ello podemos hacer referencia a las cantidades en función de otra que este referida a un segundo. Así, definimos una cantidad que tenga la misma energía en un segundo que la del ruido que queremos estudiar en un determinado intervalo de tiempo  $T$ . Así, se define la cantidad SEL, **nivel de exposición sonora**, como

$$\text{SEL} = 10 \log \sum_T 10^{L_i/10} t_i \quad (6.6)$$

La relación entre  $L_{\text{Aeq}}(T)$  y SEL para un determinado suceso de ruido es:

$$\text{SEL} = L_{\text{Aeq}}(T) + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (6.7)$$

Un índice que se emplea habitualmente es el **nivel diario equivalente**,  $L_{\text{Aeq,d}}$ , que es una cantidad derivada del  $L_{\text{Aeq}}(T)$  cuando el tiempo de exposición se refiere a una jornada de trabajo de 8 horas. Este es un parámetro usado recurrentemente en la legislación española, especialmente cuando hablamos de la exposición laboral al ruido. La expresión matemática para esta cantidad es:

$$L_{\text{Aeq,d}} = L_{\text{Aeq}}(T) + 10 \log \frac{T_e}{8} \quad (6.8)$$

donde  $T_e$  es el tiempo de exposición. Es decir, podemos medir  $L_{\text{Aeq}}(T)$  durante un tiempo determinado de exposición  $T_e$  y de ahí podemos obtener una cantidad de ruido distribuida durante una jornada laboral de 8 horas. Igualmente, se define el **nivel semanal equivalente**,  $L_{\text{Aeq,s}}$ , que es utilizado cuando hay una gran variabilidad en los niveles de ruido de un día a otro.

Otro índice muy empleando, al menos en la normativa más moderna, es el nivel de pico, que viene dado por la expresión:

$$L_{\text{pico}} = 10 \log \left( \frac{P_{\text{pico}}}{P_0} \right)^2 \quad (6.9)$$

donde  $P_{\text{pico}}$  es el valor máximo de presión acústica instantánea (en Pa) a la que está expuesto el trabajador determinado por el índice de ponderación frecuencial C ( $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ )

Volviendo al  $L_{\text{Aeq}}(T)$ , el nivel de presión sonora equivalente, este es un índice mayoritariamente aceptado como indicador del ruido general en la mayor parte de las legislaciones más avanzadas en materia de protección acústica. Sin embargo, a menudo se piensa que este índice es una media aritmética de los niveles sonoros instantáneos y esto no es así. Este índice hace la suma de la energía acústica recibida durante el intervalo de tiempo  $T$ , de ahí que se incluya al tiempo en el símbolo que representa al índice.

**Ejemplo:** Supongamos que un coche pasa por una calle y genera un ruido máximo (a una cierta distancia),  $L_{\text{max}}$ , que es igual a 80 dBA. Supongamos que no pasa ningún otro vehículo en una hora. Para calcular  $L_{\text{Aeq}}(1\text{h})$  hacemos lo siguiente:

$$L_{\text{Aeq}}(T) = 10 \log \frac{T_0}{T} \sum_T 10^{L_i/10} t_i = 10 \log \frac{1 \text{ s}}{3600 \text{ s}} (10^{L_{\text{max}}/10} \times 1 \text{ s}) = 44,4 \text{ dBA}$$

si redondeamos a la cota superior, el  $L_{\text{Aeq}}(1\text{h})$  será igual a 45 dBA. Si el vehículo pasa dos veces en esa hora, se obtiene que el ruido máximo sigue siendo 80 dBA, sin embargo el  $L_{\text{Aeq}}(1\text{h})$  será igual a  $\sim 48$  dBA. De la misma forma, si el vehículo pasa 10 veces en esa hora, el  $L_{\text{Aeq}}(1\text{h})$  será 55 dBA, mientras que  $L_{\text{max}}$  seguiría valiendo 80 dBA. Es decir,  $L_{\text{max}}$  no tiene en cuenta ni el número de veces en que el ruido alcanza ese valor, ni el tiempo total en que ese valor es medido.

En general, en España, se emplea el  $L_{\text{Aeq}}(T)$  extendido a periodos largos de tiempo, especialmente para el ruido asociado al tráfico. Sin embargo, esta medición no explica las grandes variaciones que se obtienen a nivel de las personas, la respuesta individual de cada uno al ruido. Por tanto, resulta necesario completar la medición de este índice con otras magnitudes que tengan en cuenta estos factores. Una forma de hacerlo es emplear  $L_{\text{Aeq}}(T)$  pero referido a un periodo diurno y nocturno. La determinación de estos periodos varía según los municipios y el sector del que estemos hablando (laboral, residencial, colegios, hospitales, etc). Un problema habitual en la medición de ruido es el generado en el entorno de los aeropuertos. Actualmente, para esta situación en concreto del impacto acústico del tráfico aéreo, se emplea el índice  $L_{\text{Aeq}}(T)$  porque proporciona una medida adecuada como indicador energético y porque permite sumar fácilmente el ruido que proviene de diversas fuentes.

Como hemos comentado, la evaluación del ruido depende de otros factores, además de la propia energía de la onda sonora. Un ruido puede ser soportable en ciertas circunstancias, pero no en otras. Por ejemplo, es lógico pensar que no será los límites para el ruido no pueden ser los mismos durante el día o durante la noche. Así, la mayoría de las reglamentaciones de los países de nuestro entorno incluyen una separación entre los índices durante ambos periodos,  $L_{\text{Aeq}}(\text{día})$  y  $L_{\text{Adía}}(\text{noche})$ . Cada país tiene unas costumbres distintas en cuanto a horarios y horas de luz, así que de definir cuando es la “noche” y cuando el “día” no es algo trivial, aunque lo parezca. Según la recomendaciones de la normativa europea, se considera que el periodo

diurno se encuentra entre las 7h y las 17h, la tarde desde las 17h hasta las 23h y el periodo nocturno desde las 23h hasta de nuevo las 7h. Sin embargo, muchas normativas municipales consideran como periodo diurno directamente desde las 8h hasta las 22h, y nocturno el resto del día.

La Unión Europea propuso un indicador conjunto en función de los diferentes periodos de actividad a lo largo del día. Este índice se denomina **nivel sonoro día-tarde-noche**,  $L_{\text{den}}$  y se define mediante la siguiente fórmula:

$$L_{\text{den}} = 10 \log \left( \frac{1}{24} \left[ 12 \times 10^{L_{\text{día}}/10} + 4 \times 10^{L_{\text{tarde}}/10} + 8 \times 10^{L_{\text{noche}}/10} \right] \right) \quad (6.10)$$

Nótese que el factor multiplicativo en cada uno de los exponentes que incluyen a  $L$  sirve para ponderar el resultado final, según la importancia del ruido en cada momento del día.

Otros nivel que se emplea legislación española actual y definidos en el Anexo I del RD 1367/2007 del 19 de octubre es el índice de ruido continuo equivalente corregido,  $L_{\text{Keq,T}}$ , que evalúa niveles sonoros con correcciones por componentes tonales de baja frecuencia o ruido de carácter impulsivo. Se define de acuerdo a la expresión siguiente:

$$L_{\text{Keq,T}} = L_{\text{Aeq,T}} + K_t + K_f + K_i \quad (6.11)$$

donde  $K_t$ ,  $K_f$  y  $K_i$  son parámetros de corrección para evaluar la molestia de componentes tonales emergentes, de baja frecuencia o de carácter impulsivo, respectivamente (ver Anexo IV del RD 1367/2007 del 19 de octubre para saber el método de cálculo de los mismos).

Finalmente, un índice particularmente importante es  $L_{\text{aw}}$  que evalúa los niveles de vibración máximos en el espacio interior de edificios. Es índice, en dB, se determina mediante la expresión siguiente:

$$L_{\text{aw}} = 20 \log \frac{a_w}{a_0} \quad (6.12)$$

donde  $a_w$  es el máximo del valor eficaz (RMS) de la señal de aceleración, con ponderación de frecuencia  $w_m$  en el tiempo  $t$ ; mientras que  $a_0$  es la aceleración de referencia ( $10^{-6} \text{ m/s}^2$ ) El método de cálculo de evaluación del índice de vibraciones, incluidos los valores de ponderación  $w_m$  también pueden encontrarse en el Anexo IV del RD 1367/2007 del 19 de octubre, sección B.

### 6.3. Normativa sobre contaminación acústica

En este capítulo resumiremos algunos aspectos de la normativa española sobre contaminación acústica. Antes de comenzar con detalles propios de la legislación española, haremos un pequeño repaso al efecto que tienen el ruido en la salud de las personas. Es importante dejar claro que la contaminación acústica y la exposición al ruido afecta negativamente a la salud, para así entender la trascendencia de disponer de una legislación y una normativa exigente en este aspecto. Seguidamente realizaremos un resumen de la normativa vigente española en cuanto a la contaminación acústica: primero revisaremos la Ley del Ruido, que trata sobre la contaminación acústica ambiental y finalmente trataremos la normativa relativa a la exposición al ruido en el entorno laboral, en consonancia con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el Reglamento de Maquinas, etc.

Ahora hemos de comentar algunos términos se utilizarán en el texto y que resumimos por claridad. Primero, debemos dejar claros los siguientes puntos de carácter legal:

- **Disposición:** Se trata de un Reglamento, Directiva, Ley, Real Decreto o Disposición administrativa, aprobados por la autoridad competente y que tiene carácter vinculante.
- **Norma:** Es una especificación técnica, aprobada por un organismo normalizador, sin carácter vinculante.
- **Recomendación:** Especificación de una entidad de prestigio y tampoco tiene carácter vinculante.

Desde el punto de vista del ruido y su marco normativo hemos de aclarar los siguientes conceptos:

- **Emisión** de ruido es la radicación sonora de la fuente.
- **Inmisión** de ruido es el impacto del ruido en un punto determinado, donde se encuentra la persona afectada, por ejemplo.
- **Exposición** al ruido significa, como sabemos, el impacto que tiene el ruido sobre la persona afectada.

### 6.3.1. Ruido y salud

De entre los diferentes posibles mecanismos que expliquen la relación entre salud y ruido, el que proporciona una relación más directa es el de la pérdida de audición. Sin embargo, existen mecanismos intermedios entre la exposición al ruido y el efecto en la salud de las persona, de manera que los efectos tardan en aparecer. Este efecto sería una consecuencia del ruido como agente estresante en la persona. Por supuesto, este efecto puede venir influenciado por otros factores causales, así como la reacción subjetiva del individuo al ruido. En cualquier caso, podemos clasificar así los efectos del ruido sobre la salud como auditivos y no auditivos.

#### Efectos auditivos

Las vibraciones producidas por las ondas sonoras se perciben en el oído que se divide en tres partes: externo, medio e interno. El **oído externo** esta formado por el pabellón auditivo, que es un cartílago elástico recubierto por piel, y el conducto auditivo exterior que se extiende hasta el tímpano. Esta parte del oído sirve para la recepción y conducción de la onda sonora. A continuación, tenemos el **oído medio** que es la zona comprendida entre la membrana timpánica y la ventana oval que comunica con el oído interno. Entre ambas zonas se encuentra la cadena de huesecillos, esto es, martillo, yunque y estribo, los cuales son móviles y son los culpables de transformar las ondas acústicas en vibraciones mecánicas y de amplificar el sonido captado. Por último, tenemos el **oído interno**, que tiene apariencia de caracol, donde se encuentra el órgano de Corti y que está formado por las células ciliadas que son las encargadas de enlazar con el nervio acústico mediante la transformación de la energía mecánica. Estas células nerviosas son el verdadero órgano receptor auditivo y según la zona donde se encuentren recogen diferentes tonos.

Estas células no tienen capacidad regeneradora, de manera que cuando se lesionan, se pierde audición de forma irremediable. Cuando existe un exceso de ruido el daño se produce concretamente en estas células, primero perdiendo los cilios y posteriormente degradándose a medida que el ruido persiste.

Así, un ruido brusco o intenso, tal como una explosión un disparo de un arma de fuego, puede provocar una disminución de la capacidad auditiva, pudiendo llegar a la rotura del tímpano. Ruidos menos intensos pero persistentes también pueden producir daños auditivos.

Un fenómeno habitual es el “desplazamiento temporal del umbral auditivo” que consiste en la fatiga auditiva producida después de una exposición a altos niveles de ruido en un corto periodo de tiempo. Al cabo de un tiempo, gracias al descanso, se recupera la capacidad auditiva habitual. Sin embargo, si el oído no tiene tiempo de recuperarse entre una exposición y la siguiente puede aparecer una lesión permanente en el mismo y a esto se le denomina “desplazamiento permanente del umbral auditivo”, hipocausia, o más comúnmente, sordera. Este proceso se produce lentamente debido a la lesión progresiva de las células nerviosas del oído interno. Las primeras células dañadas son aquellas encargadas de detectar ruidos agudos de frecuencia próxima a los 4000 Hz para a continuación irse propagando el daño al resto de frecuencias. La lesión se puede haber producido ya, pero solamente somos conscientes de la misma cuando las células afectadas son aquellas que se encargan de las frecuencias conversacionales.

Para conocer el estado auditivo de una persona se realiza una prueba denominada audiometría. Dentro del entorno laboral, se considera la sordera como una enfermedad fruto de las actividades profesionales y producida por agente físicos. Esta se puede contraer en trabajos en los que los trabajadores estén sometidos a ruidos continuos de un nivel sonoro equivalente o superior a 80 dBA durante 8 horas diarias (o 40 horas semanales).

### **Efectos no auditivos**

Los niveles elevados de ruido tienen efectos sobre otros órganos del cuerpo, pudiendo alterar la salud de las personas. Para la mayor parte de estos efectos no se ha encontrado una relación clara dosis-respuesta que pueda establecer un conocimiento claro de la influencia de estos niveles en la salud ya que muchas veces estos efectos dependen del estado física, psíquico y psicológico de las personas afectadas, a veces generando simplemente una “molestia”. En cualquier caso, aunque la “molestia” pueda tratarse de un elemento relativamente subjetivo, sí que se ha encontrado una relación entre la intensidad y frecuencia de la onda sonora con el grado de molestia que percibe la persona expuesta.

Dentro de estos efectos sobre la salud del ruido tenemos la posibilidad de reacciones fisiológicas debido a la aparición de situaciones de estrés, algo que se relaciona con numerosas enfermedades cardiovasculares, alteraciones del aparato digestivo y del sistema endocrino. Otro conocido efecto es la interferencia con el sueño, algo que puede generar graves trastornos de salud en el afectado. Además, el ruido interfiere en actividades mentales habituales tales como la lectura, escritura, la concentración a la hora de realizar cualquier actividad, etc. El fondo acústico monótono producido por el ruido puede provocar somnolencia. La presencia del ruido puede suponer un factor que impida la correcta comunicación oral, generando, por ejemplo, alteraciones de garganta y laringe al tener que forzar la voz para poder hablar.

En definitiva, se considera que puede haber “molestias” pero no daño reflejado en pérdidas auditivas cuando la exposición es a niveles por debajo de 75 dBA como nivel equivalente diario. A menudo, las personas expuestas pueden llegar a afirmar que se han acostumbrado al ruido. Sin embargo, esto no supone una ventaja, sino un inconveniente en el sentido de que significa que el organismo se ha rendido al elemento agresivo exterior, eliminando la resistencia

consciente del sujeto. Por descontado, el daño físico o mental y los posibles efectos sobre la salud aparecerán igualmente independientemente de la percepción subjetiva de la persona.

### Medición del ruido

Para conocer la exposición al ruido se realizan una serie de medidas con los instrumentos adecuados que permitan a continuación realizar actuaciones preventivas. Los equipos que se empleen para estas mediciones dependerán de los datos que se quieran obtener y del tipo de ruido que se quiera medir. A continuación comentaremos algunos de los instrumentos más habituales, que básicamente son dos: sonómetros y dosímetros.

El **sonómetro** es un instrumento que trata de responder al sonido de una forma muy parecida a como lo haría el oído humano, generando medidas objetivas y reproducibles. La parte más importante de este dispositivo es un micrófono que transforma la energía sonora medida en energía eléctrica. El micrófono debe ser de campo libre y estará orientado en aquella dirección en que la respuesta en frecuencia sea más uniforme. Al inicio y al final de cada medición acústica debe efectuarse una comprobación del sonómetro, utilizando para ello un calibrador sonoro apropiado.

Así, este instrumento mide de forma directa el nivel de presión sonora de un fenómeno acústico. Presenta tres opciones de cara a la velocidad de respuesta al fenómeno de variación de la presión sonora: respuesta *lenta* (“Slow”) con una respuesta lenta de 1 segundo, *rápida* (“Fast”) con una respuesta rápida de 125 ms (milisegundos) o *estadística* (“Impulse”) con una respuesta de 35 ms.

Los sonómetros convencionales sólo se pueden emplear para la medición de nivel de presión acústica ponderada A,  $L_{pA}$  del ruido estable. La lectura promedio se considerará igual al nivel de presión continuo equivalente ponderado A,  $L_{Aeq}(T)$ , de dicho ruido, pudiéndose calcular a partir de este, el Nivel Diario Equivalente,  $L_{Aeq,d}$ . Existen unos sonómetros llamados integradores que pueden emplearse para la medición de  $L_{Aeq}(T)$  para cualquier tipo de ruido y así después poder obtener  $L_{Aeq,d}$ .

El otro instrumento básico en la detección de ruido es el **dosímetro**, que consiste en un medidor que acumula el ruido constantemente mediante el uso de un micrófono y circuitos similares a los medidores de presión sonora. La principal diferencia es que estos instrumentos son portátiles y el trabajador los puede llevar encima. Estos dispositivos llevan incorporado un sistema lector en el que se expresa la dosis acumulada en el tiempo de funcionamiento. De hecho, los aparatos modernos proporcionan lecturas de  $L_{Aeq}(T)$  y  $L_{Aeq,d}$ .

Para el caso de las vibraciones que, como sabemos, son una causa de contaminación acústica debido al inadecuado funcionamiento de máquinas o instalaciones, emplearemos **acelerómetros**. A estos instrumentos se les acopla un sonómetro que realiza las funciones de análisis y valoración. La magnitud de la vibración a medir por el aparato es la aceleración expresada como valor eficaz (rms) en m/s, y corregida mediante la aplicación de las ponderaciones (norma ISO-2631-1, apartado 3.5). Para cuantificar la intensidad de la vibración se puede emplear la lectura directa de la curva que corresponde a la vibración considerada o bien midiendo el espectro de la vibración considerada en bandas de tercio de octava (entre 1 y 80 Hz).

Otro punto en el que se deben realizar mediciones es el aspecto del aislamiento acústico, algo que se exige en los recintos de las edificaciones y que se realiza siguiendo las prescripciones establecidas en la norma UNE 74-040.



### Clasificación del ruido.

Teniendo en cuenta los aparatos de medición descritos anteriormente, es posible clasificar los ruidos de la siguiente forma, tal y como describe la Ley 7/1997, de 11 de agosto:

- Ruido continuo. Es aquel que se manifiesta ininterrumpidamente durante más de diez minutos. A su vez, dentro de este tipo de ruidos se diferencian tres categorías:
  - Ruido continuo uniforme. Es aquel ruido continuo con un nivel de presión acústica  $L_{pA}$ , medido empleando la posición de respuesta lenta, que se mantiene constante o bien los límites en que varía difieren en menos de  $\pm 3$  dB(A) en períodos de medición de dos minutos.
  - Ruido continuo variable. Cuando  $L_{pA}$  se mide con la respuesta lenta del equipo de medición y varía entre unos límites que difieren entre  $\pm 3$  y  $\pm 6$  dBA.
  - Ruido continuo fluctuante.  $L_{pA}$  se mide con posición de respuesta lenta del equipo de medición y varía entre unos límites que difieren en  $\pm 6$  dBA.
- Ruido transitorio. Es aquel que se manifiesta ininterrumpidamente durante un período de tiempo igual o menor de cinco minutos. A su vez, dentro de este tipo de ruido se diferencian tres categorías:
  - Ruido transitorio periódico. Es aquel ruido que se repite con mayor o menor exactitud, con una periodicidad de frecuencia que es posible determinar.
  - Ruido transitorio aleatorio. Es aquel ruido que se produce de forma totalmente imprevisible, por lo que para su correcta valoración es necesario un análisis estadístico de la variación temporal del nivel sonoro durante un tiempo suficientemente significativo.
  - Ruido de fondo. Es aquel ruido existente en un determinado ambiente o recinto con un nivel de presión acústica que supera el 90 % de un tiempo de observación suficientemente significativo en ausencia del ruido objeto de la inspección.

A fin de poder diferenciar y ponderar los diversos ruidos con mayor precisión y racionalidad, se efectúa una segunda clasificación del ruido, teniendo en cuenta la relación establecida entre la fuente sonora o vibrante causante de la molestia y el propietario o manipulador de dicha fuente. De este modo, se consideran dos tipos de ruidos que presentan características comunes:

- Ruido objetivo. Es aquel ruido producido por una fuente sonora o vibrante que funciona de manera automática, autónoma o aleatoria, sin que intervenga ninguna persona que pueda variar las condiciones de funcionamiento de la fuente.
- Ruido subjetivo. Es aquel ruido producido por una fuente sonora o vibrante con unas condiciones de funcionamiento que quedan supeditadas a la voluntad del manipulador o titular de dicha fuente.

### 6.3.2. Ley del Ruido

Sobre la contaminación acústica **ambiental**, la normativa actual se desarrolló a partir de la Directiva Europea 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de junio de 2002 sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental. Esta normativa establece los parámetros y las medidas que para la evaluación y gestión del ruido ambiental e incluye el ruido y las vibraciones sobre espacio interior de determinadas edificaciones.

La **directiva europea**, origen de la Ley española, marcó una nueva orientación respecto de la concepción de la contaminación acústica. Anteriormente, la reglamentación comunitaria se centraba en las fuentes del ruido, pero la comprobación de que diariamente inciden sobre el ambiente múltiples focos de emisiones sonoras, hizo necesario un nuevo enfoque del ruido ambiental. De esta forma, la normativa comunitaria define el ruido ambiental como un sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo y por ciertos emplazamientos de actividades industriales.

La disposición básica española en este terreno es la **Ley Española 37/2003**, de 17 de noviembre, del Ruido, que incorpora parcialmente al derecho interno las previsiones de la citada Directiva, definiendo la **contaminación acústica** como:

*“La presencia en el ambiente de ruido o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que implique molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, incluso cuando su efecto sea perturbar el disfrute de los sonidos de origen natural, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente”.*

Esta ley enlaza el problema de la contaminación acústica con los artículos 18.1 (intimidad personal y familiar), 43 (salud) y 45 (medio ambiente) de la Constitución Española de 1978. La ley establece los parámetros y las medidas para la evaluación y gestión del ruido ambiental, incluye el ruido y las vibraciones en el espacio interior de determinadas edificaciones. Así mismo, dota de mayor cohesión a la ordenación de la contaminación acústica a través del establecimiento de los instrumentos necesarios para la mejora de la calidad acústica de nuestro entorno.

Conviene aclarar que el alcance de esta Ley está fuera del entorno relacionado con la contaminación acústica originada en las actividades domésticas o vecindad. Tal y como dice el texto de la Ley: *“Parece ajeno al propósito de esta ley alterar este régimen de relaciones vecinales, consolidado a lo largo de siglos de aplicación, sobre todo teniendo en cuenta que el contenido de esta ley en nada modifica la plena vigencia de los tradicionales principios de convivencia vecinal”.* Algunas de las normativas locales son muy detalladas y cada municipio cuenta a su vez con una Ordenanza sobre contaminación acústica<sup>2</sup>. Además, la ley también excluye la regulación de la contaminación acústica en el entorno laboral, que veremos en la próxima sección.

La Ley del Ruido fue desarrollada a su vez por otros dos reglamentos, que precisan algunos conceptos y elaboran estrategias para conseguir los objetivos propuestos en la Ley del Ruido. En concreto se trata de estos dos RD:

- Real Decreto R.D 1513/2005

---

<sup>2</sup>Véase, como ejemplo, la de la ciudad de Madrid [http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calaire/contAcustica/ordenanza\\_proteccion.html](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calaire/contAcustica/ordenanza_proteccion.html)

- Real Decreto R.D.1367/2007

El primero de ellos, el **Real Decreto 1513/2005**, de 16 de diciembre, trata de la evaluación y gestión del ruido ambiental, y en él se completa la transposición de la Directiva 2002/49/CE y se precisan conceptos de ruido ambiental y sus efectos sobre la población, junto a una serie de medidas necesarias para la consecución de los objetivos previstos, tales como la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción o las obligaciones de suministro de información. En este RD, se especifica que la contaminación acústica es producida no sólo por el ruido ambiental, sino también por las vibraciones. Este RD sólo comprende la contaminación acústica derivada del ruido ambiental y la prevención y corrección, en su caso, de sus efectos en la población.

El segundo, el **Real Decreto 1367/2007**, de 19 de octubre, es referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Este desarrollo reglamentario va más allá de la directiva comunitaria y aborda un tratamiento generalizado de la contaminación acústica con especial atención a la actuación preventiva, la planificación acústica en la ordenación territorial y la incorporación de los conceptos de evaluación y gestión del ruido ambiental.

Esta nueva norma tiene como objetivo básico asegurar unos mínimos comunes de calidad acústica en el ámbito estatal. Sus puntos más reseñables son los siguientes:

- Mapas estratégicos del ruido: Estos mapas estratégicos de ruido aportan metodología, criterios e información estratégica que orientarán las políticas y estrategias que apliquen las CCAA y la administraciones locales en materia de planificación urbanística en relación a la contaminación acústica.
- Planes de acción: A partir de los mapas del ruido, y en un plazo de un año después de su elaboración, se elaboran planes de acción dirigidos a solucionar en el territorio afectado las cuestiones relativas al ruido.
- La evaluación de la contaminación acústica: se definen los índices del ruido y de vibraciones atendiendo a los distintos periodos temporales de evaluación. Así, en el caso del ruido ambiental, para las 24 horas del día, se fijan, siguiendo los criterios establecidos por la Unión Europea, tres periodos temporales de evaluación que son: día (d), tarde (e) y noche (n). Se contempla la caracterización del “clima sonoro” de un entorno, evaluado mediante promedios a largo plazo (un año).
- Objetivos de calidad acústica: se fijan los objetivos de calidad aplicables tanto a las áreas acústicas (espacio exterior) como al espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales. Se realiza una delimitación territorial de los distintos tipos de áreas acústicas de cada territorio y a cada una de estas áreas se le asocia un objetivo de calidad acústica. Las zonas acústicas se revisarán cada diez años desde la fecha de su aprobación.

De acuerdo a la Ley de Ruido se diferencia entre las construcciones nuevas de las existentes. Por ejemplo, si se trata de zonas del tipo área acústica residenciales de nuevo desarrollo urbanístico, se exige los niveles sonoros en las fachadas de las viviendas no superen los 60 dBA durante los periodos día y tarde y los 50 dBA durante el periodo noche. Por contra, en áreas urbanizadas existentes se exige 65 dBA día y tarde o bien los 55 dBA durante el periodo noche. En cualquier caso, se considera objetivo de calidad

acústica que los niveles se encuentren por debajo de los 60 dBA durante los periodos día y tarde y los 50 dBA durante el periodo noche.

En cuanto a los espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica, se establecerán objetivos de calidad acústica para cada caso en particular.

- Planes zonales: Se definen dos tipos de mapas de ruido:
  - Mapas estratégicos de ruido: para grandes ejes ferroviarios, grandes aeropuertos y aglomeraciones con poblaciones de más de 100.000 habitantes.
  - Mapas de ruido no estratégicos: Para áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los objetivos de calidad acústica.
- Planes de acción: Una vez aprobados los mapas del ruido, las administraciones elaborarán los correspondientes planes zonales específicos y los planes de acción necesarios. Las infraestructuras existentes deberán adoptar medidas para adaptarse a los objetivos de calidad acústica de 65 dBA durante el día y de 55 dBA durante la noche. Estos objetivos se lograrán mediante planes de acción que supongan la introducción de medidas técnicas correctoras tales como pantallas acústicas, pavimentos sono-reductores, aislamiento acústico, etc.
- Ruido de los emisores acústicos: Se fijan valores límite de inmisión de ruido aplicables para nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias, portuarias, así como instalaciones, establecimientos y actividades de naturaleza industrial, comercial, de servicios o de almacenamiento, etc. A las infraestructuras nuevas les serán exigibles unos valores límite de inmisión de 60 dBA durante el día y de 50 dBA durante la noche en las áreas acústicas residenciales.

Sobre vehículos de motor y ciclomotores, debido a la antigüedad de estos, se adopta una disposición transitoria que permite la determinación del nivel de emisión sonora a vehículo parado, transitoriedad que se extinguirá con la natural renovación del parque de vehículos.

- La creación de un Sistema Básico de Información de la Contaminación Acústica (SI-CA) <http://sicaweb.cedex.es> con toda la información clara y fácilmente accesible al público sobre el ruido.

### 6.3.3. Exposición laboral al ruido

Como hemos visto en la sección anterior, la normativa contra el ruido relativa al entorno laboral tiene su propia regulación. La primera normativa estatal en este sentido se basó en la adaptación una directiva europea en concreto la Directiva del Consejo 86/188/CEE de 12 de mayo de 1986 relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos debidos a la exposición al ruido durante el trabajo. La directiva fue transpuesta a nuestro ordenamiento jurídico mediante el **RD 1316/1989 de 27 de octubre**. Más adelante se adoptó la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, deroga a la Directiva 86/188/CEE, de 12 de mayo. Por tanto, el **286/2006, de 10 de marzo** deroga el Real Decreto 1316/1989 y se transpone al derecho español la Directiva 2003/10/CE.

Este decreto se encuentra en consonancia con la actual Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Este RD es la norma fundamental sobre el ruido en el lugar de trabajo. Básicamente, se encarga de regular:

- La inmisión de ruidos
- La medición del ruido y su comparación con los niveles de exposición
- La evaluación de la función auditiva de los trabajadores.

El campo de aplicación de esta normativa se extiende a todos los trabajadores por cuenta ajena, cualquiera que sea la naturaleza de su contrato. La responsabilidad de velar por la protección auditiva de los trabajadores recae sobre el empresario, el cual tiene una serie de obligaciones que se pueden resumir en las siguientes:

- Cumplir las obligaciones específicas de la norma.
- Tener en cuenta la reducción del ruido a la hora de construir y diseñar nuevos centros de trabajo.
- Reducir al máximo posible (técnica y razonablemente hablando) los riesgos derivados de la exposición al ruido.

Según cómo sea la exposición a la que está sometido el trabajador, el RD establece una serie de actuaciones que además tienen revisiones periódicas. Cuanto más elevada sea la exposición, más exigentes son las revisiones. Los valores límite de exposición, según el RD de 2006, son más restrictivos que los del decreto anterior y se establecen como:

- Valores límite de exposición:  $L_{Aeq, d} = 87$  dBA y  $L_{pico} = 140$  dBC
- Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:  $L_{Aeq, d} = 85$  dBA y  $L_{pico} = 137$  dBC
- Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción  $L_{Aeq, d} = 80$  dBA y  $L_{pico} = 135$  dBC

A la hora de realizar una evaluación del riesgo, según el decreto actual, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores.

A su vez, los órganos internos competentes en materia de seguridad e higiene, así como los representantes de los trabajadores tienen derecho, entre otras cosas, a estar presentes en el desarrollo de las evaluaciones y a ser informados acerca de las conclusiones de las mismas. Ambas organizaciones tienen también derecho a ser consultados acerca de la elección de los protectores auditivos que proporcione la empresa. Estos protectores deben conseguir que el trabajador tenga una exposición en el interior inferior a los límites de exposición.

La función auditiva de los trabajadores se controla bajo reconocimiento que son responsabilidad de un médico. Los controles deben incluir una otoscopia y una audiometría. La otoscopia consiste en una inspección del conducto auditivo externo, en busca de signos de infecciones externas, eczemas y tapones, así como una inspección de la membrana timpánica en busca de

posibles perforaciones, coloración anómala, etc. La audiometría consiste, como mínimo, en una audiometría de todos puros para la determinación de umbrales de audición por conducción aérea.

Tanto los resultados obtenidos en las evaluaciones de la exposición al ruido como los controles médicos de la función auditiva de los trabajadores deben ser registrados y archivados por el empresario durante un periodo de al menos treinta años.

### Otras normativas

Una de las formas de reducir la contaminación ambiental es la prevención en el origen, es decir controlar los productos o máquinas que generan ruido. Existen varias normativas europeas que aportan requisitos esenciales en términos de la emisión de ruido, con sus respectivas transposiciones a nuestro ordenamiento jurídico.

La Directiva del Consejo 89/392/CEE de 14 de julio de 1989 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las máquinas. Esta directiva fue adaptada mediante el **RD 1435/1992 de 27 de noviembre**. En esta normativa se reconoce al ruido como un peligro de las máquinas y exige que estas deban ser construidas de forma tal que los riesgos que resulten de la emisión del ruido se reduzcan al nivel más bajo posible de acuerdo con las posibilidades técnicas. Además, el fabricante debe incluir en el manual de instrucciones la “declaración del ruido aéreo” emitido por la máquina. De esta forma, el empresario que adquiere las máquinas puede calcular, a priori, como variará el nivel de inmisión de ruido en su fábrica cuando las instale. Así, podrá elegir la máquina más silenciosa y de esa forma los fabricantes diseñarán máquinas más silenciosas a su vez para mejorar las ventas.

A este respecto existen además una serie de 19 Directivas europeas relativas a la determinación y limitación de potencia acústica admisible de cierto material y maquinaria de obras públicas. Estas han sido transpuestas a través del **RD 245/1989 de 27 de febrero** y modificados por la Orden Ministerial (OM) de 17 de noviembre de 1989 y la OM de 18 de junio de 1991.

Por otro lado, también existe una normativa relacionada con los equipos de protección individual (EPI) contra la contaminación acústica. Por un lado se regula su comercialización (requisitos protectores, ensayos, medidas de atenuación) mediante la Directiva 89/686/CEE y por otro se regula su utilización (selección, uso, cuidado) mediante la Directiva 89/656/CEE. Hay que remarcar que sólo se podrán comercializar protectores auditivos que lleven el marcado CE y vayan acompañados de una declaración del fabricante indicando que el protector cumple los requisitos esenciales fijados en la Directiva y que han sido comprobados por un organismo acreditado.

## Autoevaluación

1. La sensibilidad del oído humano está comprendida entre los valores:

- a)  $20 \mu\text{Pa}$  -  $2 \text{ kPa}$
- b)  $2 \mu\text{Pa}$  -  $2 \text{ kPa}$
- c)  $2 \mu\text{Pa}$  -  $0.2 \text{ kPa}$
- d)  $20 \mu\text{Pa}$  -  $0.2 \text{ kPa}$

2. Supongamos dos fuentes sonoras que se detectan a una misma distancia. Si la segunda fuente tiene una intensidad el triple de la primera, el aumento en la presión sonora será de:
- a) 3 dB
  - b) 2 dB
  - c) 4,8 dB
  - d) 5,5 dB

**Soluciones:**

1. Respuesta D.
2.  $L_{p'} - L_p = 20 (1/2) \log 3 \sim 4,8 \text{ dB}$ .

